



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

# Universidad Nacional Autónoma de México

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

INSTITUTO DE INGENIERÍA

**“FACTORES QUE AFECTAN AL VIENTO Y SU RELACIÓN CON  
LOS HURACANES, CALENTAMIENTO GLOBAL Y EL FENÓMENO  
DEL NIÑO/LA NIÑA”**

**T E S I S**

PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN INGENIERÍA  
(ESTRUCTURAS)**

P R E S E N T A

**SANDRA ROSIO QUIROGA CUELLAR**

DIRECTOR DE TESIS: DR. EDUARDO REINOSO ANGULO

Ciudad Universitaria, México D.F. 2009



**Dedicado a:**

*Mis Padres Eduardo Quiroga Serrano y Carmen Cuellar de Quiroga, con toda mi admiración y profundo amor, porque son un ejemplo a seguir, porque ningún esfuerzo que haga podrá compararse con lo que ellos hicieron y hacen por su familia, porque ni la vida entera podrá agradecerles todos aquellos desvelos porque sus hijos realizaran sus sueños.*

*Mi hermano Carlos Eduardo, porque aunque la vida haya cambiado para los dos el siempre será mi segundo papa y mi más fiel ejemplo a seguir desde que estaba en la universidad, porque siempre va a ser mi hermano a costa de todo lo que nos suceda.*

*Mi esposo Javier Rodríguez González, por ser el ser más maravilloso que he conocido, por estar conmigo en los momentos más difíciles, porque con el he aprendido a ser más fuerte y enfrentar los problemas de la mejor manera, por ser la mejor compañía en todos los sentidos, porque te amo.*

*Mi sobrino David Andrés, porque es un motivo para sonreír cada día, porque es la felicidad de mi familia, por hacer que cada día se olviden las berreras y se abran los caminos para una mejor relación familiar y por el nuevo bebe, una nueva inspiración. Y Luna Camila que pronto nos colmara de mas bendiciones y alegrías.*

*Mis suegros José Ignacio González y Socorro Rodríguez por el apoyo incondicional que me ofrecen cada día y por acogerme en su familia como una hija mas, a mi cuñada Roció por ser una buena compañía.*

*MI familia en Colombia, a mi tía Pancha por ser la mejor amiga que nunca podre tener, a mis primos Santos Camacho, Porras Rojas, Quiroga Ferreira. A mi Abuela María del Rosario Jerez Medina y Heliodoro Cuellar Ferreira que están en el cielo, que los extraño mucho y que los llevo siempre en mi corazón.*

*Mi País Colombia, porque aunque este lejos de ella todo lo que pueda hacer por ella siempre será poco con lo mucho que me ha dado, los mejores amigos, la mejor familia del mundo y esa manera en que los colombianos siempre salimos adelante, por el empuje y la berraquera de su gente.*

**Agradecimientos:**

*A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Coordinación de Estructuras del Postgrado de la Facultad de Ingeniería, por ampliar mis conocimientos.*

*Al Instituto de Ingeniería, por darme la oportunidad de trabajar en sus proyectos y poder aportar un granito a esa gran labor de investigación.*

*A mis maestros y compañeros de la maestría.*

*A mi familia por el apoyo a seguir siempre adelante.*

*A mi hermano Carlos Eduardo por que sin él no hubiera podido llegar hasta aquí, por ser un ejemplo de trabajo.*

*A mi esposo por darme siempre alientos a seguir trabajando y ser mejor cada día, por sus consejos y por su apoyo incondicional.*

*Al Doctor Eduardo Reinoso Angulo por darme la oportunidad de trabajar a su lado, por el apoyo, consejos y por una guía en la realización de este trabajo.*

*A Paco por escucharme, aconsejarme y ayudarme.*

*A Ricardo por ayudarme a entender el punto de vista de los demás.*

*A mis amigos Benjamín, Paco, Marlene y Orlando con los que cada día convivo y que hacen la vida más llevadera, porque me dan siempre una sonrisa.*

## ÍNDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN.....</b>   | <b>7</b>  |
| <b>ALCANCES.....</b>   | <b>8</b>  |
| <b>CAPÍTULO 1.....</b>   | <b>9</b>  |
| <b>FACTORES QUE AFECTAN AL VIENTO.....</b>   | <b>9</b>  |
| 1.1 Descripción del fenómeno.....  | 9         |
| 1.1.1 Origen del viento.....   | 9         |
| 1.2 Estructuras sometidas a la acción del viento.....  | 10        |
| 1.3 Vulnerabilidad estructural.....  | 11        |
| Tipo estructural.....  | 12        |
| Posibles consecuencias de su falla.....  | 12        |
| 1.3.1 Factores que influyen en la vulnerabilidad de las estructuras por acción del viento.....                                 | 13        |
| 1.4 Comparación del Manual Comisión Federal de Electricidad (CFE) y las Normas Técnicas Complementarias (NTC) para viento..... | 19        |
| 1.4.1 Requisitos generales para el análisis y diseño estructural.....  | 20        |
| <b>CAPÍTULO 2.....</b>   | <b>29</b> |
| <b>CASOS DE ESTUDIO Y EJEMPLOS DE DISEÑO.....</b>  | <b>29</b> |
| 2.1 Islas Mariás.....  | 29        |
| 2.1.1 Descripción general.....   | 29        |
| 2.1.2 Huracán Lane.....  | 30        |
| 2.1.3 Fotos antes y después de Lane.....   | 32        |
| 2.1.4 Reporte de daños observados.....   | 36        |
| 2.1.5 Observaciones.....   | 42        |
| 2.2 Quintana Roo.....  | 44        |
| 2.2.1 Descripción general.....   | 44        |
| 2.2.2 Huracán Wilma.....   | 44        |
| 2.2.3 Análisis de daños a comercios.....   | 45        |
| 2.2.4 Análisis de daños a gasolineras.....   | 50        |
| 2.2.4 Conclusiones.....  | 54        |
| <b>ANEXO.....</b>  | <b>55</b> |



|  |            |
|--|------------|
| 2.3 Ejemplos de diseño.....  | 60         |
| 2.3.1 Estructura irregular.....  | 60         |
| 2.3.2 Espectacular.....  | 65         |
| 2.3.3 Nave industrial.....   | 71         |
| 2.4 Aportaciones.....  | 76         |
| <b>CAPÍTULO 3 .....</b>  | <b>77</b>  |
| <b>INFLUENCIA DEL CALENTAMIENTO GLOBAL EN LA VELOCIDAD DEL VIENTO y PRECIPITACIÓN.....</b>                               | <b>77</b>  |
| 3.1 Introducción.....  | 77         |
| 3.2 Análisis de la posible influencia del calentamiento global en la velocidad del viento registrada en México.....      | 79         |
| 3.2.1 Datos de velocidades de estaciones sinópticas de superficie (SMN).....   | 79         |
| 3.2.2 Datos de velocidades de estaciones meteorológicas automáticas (SMN-CNA).....                                       | 85         |
| 3.2.3 Fuente de datos de velocidades de viento del programa NCEP/NCAR de la NOAA.....                                    | 95         |
| 3.3 Influencia del calentamiento global en la precipitación.....   | 99         |
| 3.3.1 Datos de precipitación ERIC III (Extractor Rápido de Información Climatológica v.1.0 IMTA/CNA).....                | 99         |
| 3.3.2 Datos de precipitación de estaciones meteorológicas automáticas (SMN-CNA).....                                     | 102        |
| <b>CAPÍTULO 4 .....</b>  | <b>111</b> |
| <b>RELACIÓN DEL CALENTAMIENTO GLOBAL CON EL FENÓMENO DEL NIÑO/NIÑA Y LOS HURACANES.....</b>                              | <b>111</b> |
| 4.1 Sistema "El Niño" Oscilación Sur (ENOS).....   | 111        |
| 4.1.1 Causas y efectos de los eventos de El Niño.....  | 111        |
| 4.1.2 Fases del Niño.....  | 111        |
| 4.2 Sistema "La Niña".....   | 112        |
| 4.2.1 Consecuencias de La Niña al clima global.....  | 112        |
| 4.2.2 Fases de La Niña.....  | 112        |
| 4.3 Relación entre el índice del fenómeno de El Niño (Oceanic Niño Index, ONI) y los periodos del El Niño y La Niña..... | 113        |
| 4.4 Relación entre el calentamiento global y los huracanes.....  | 114        |
| 4.4.1 Ciclones tropicales a nivel mundial.....   | 114        |
| 4.4.2 Ciclones tropicales que han impactado a México.....  | 120        |
| <b>CONCLUSIONES.....</b>   | <b>126</b> |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| Capitulo 2.....             | 126        |
| Capitulo 3.....             | 127        |
| Capitulo 4.....             | 128        |
| Conclusiones generales..... | 129        |
| <b>REFERENCIAS .....</b>    | <b>131</b> |

## INTRODUCCIÓN

Las fuerzas que se pueden generar por acción del viento pueden convertirse en daños a estructuras, es por esto que se presenta una breve descripción de las generalidades del fenómeno del viento y los factores que lo afectan, ya que las construcciones sometidas a las acciones de vientos fuertes o durante la ocurrencia de algún evento hidrometeorológico pueden sufrir daños totales o parciales. Si bien los códigos fijan procedimientos de cálculo adecuados para tratar de protegerlos, existen daños producidos por errores de proyecto o fallas constructivas que no siempre resultan confiables. Por esto se presento una comparación entre el Manual Comisión Federal de Electricidad (CFE) y las Normas Técnicas Complementarias (NTC) para evaluar las diferencias entre los criterios de diseño de cada uno, basándose en condiciones actuales. También se anexo algunos ejemplos de diseño de estructuras irregulares como hoteles, espectaculares y naves industriales con el fin de observar la diferencia entre los valores de momentos y fuerzas cortantes dependiendo su ubicación, como por ejemplo zona costera (Chetumal) y zona centro (D.F).

Se presentaron dos casos de estudio: Islas Marías y el huracán Wilma. Sobre las Islas Marías, se realizó un reporte de los daños observados debidos al huracán Lane en la Colonia Penal Federal ubicada en las Islas Marías y recomendaciones sobre la parte estructural y de contenidos de las estructuras. Para el caso de Wilma se realizó una descripción sobre los daños que ocasionó el huracán en octubre del 2005 en Cancún, Quintana Roo, un análisis de daños en estructuras de uso comercial, se estimaron pérdidas observadas a los edificios y a los contenidos, mediante la recopilación de información de empresas aseguradoras, además de utilizar un programa para obtener la historia de velocidades de cada punto geográfico a lo largo del huracán Wilma por la península de Yucatán y poder relacionar los daños obtenidos con la velocidad del viento.

Debido a que el calentamiento global podría afectar al fenómeno del viento, lo cual se relaciona a continuación:

Actualmente es un hecho científico que el clima global está siendo alterado significativamente como resultado del aumento de concentraciones de gases de efecto invernadero tales como el dióxido de carbono, metano, óxidos nitrosos y clorofluorocarbonos. Como respuesta a esto, algunos científicos, estiman que los patrones de precipitación global y corrientes marinas también van a ser alteradas. Aunque no existe aún un acuerdo general sobre estas conclusiones, hay una gran incertidumbre con respecto a las magnitudes y las tasas de cambio a escalas regionales. Aun así, hay una considerable incertidumbre con respecto a las implicaciones del cambio climático global y las respuestas de los ecosistemas, que a su vez, pueden traducirse en desequilibrios económicos. Estas conclusiones han llevado a una reacción gubernamental mundial, se ha expresado en numerosos estudios y conferencias, incluyendo tratados enfocados a enfrentar y en lo posible solucionar la crisis. En este trabajo se analiza la problemática del calentamiento global, las bases teóricas, sus posibles efectos futuros sobre las velocidades de viento y precipitación en México y su relación con los huracanes y los cambios en su intensidad y frecuencia. Todo esto a fin de dar conclusiones sobre la relación del Cambio Climático con los eventos meteorológicos y el fenómeno de El Niño y La Niña.

## **ALCANCES**

Debido a que el tema que se trata en esta tesis es muy extenso y que los datos año con año se modifican debido a los desastres naturales que se presentan, en este trabajo se realizó un análisis sobre las tendencias en el incremento del viento a consecuencia del cambio climático y se analizó si afectaría o no al diseño de las estructuras ante el viento sobre todo en los códigos de construcción. Se presentó información acerca del calentamiento global y la frecuencia de riesgos naturales hidrometeorológicos, se estudiaron estaciones climatológicas en zonas costeras donde hay actividad de huracanes y donde no es muy común, con el fin de relacionar el viento con el calentamiento global. Se observaron casos particulares de desastres por huracanes y las pérdidas y daños que estas representan para las estructuras, así como una relación con los factores que afectan al viento.

Este trabajo es sólo la parte inicial para futuras investigaciones en la aplicación estructural, como la incorporación en el reglamento sobre el diseño de recubrimientos (cálculo del área de aberturas, materiales y sistemas estructurales) a manera de reforzar los conocimientos acerca de las fuerzas del viento y lo que puede pasar si éstas aumentaran con efectos naturales, antropogénicos o en el caso del calentamiento global y cómo podemos modificar o complementar nuestros códigos para hacer menos vulnerable a las estructuras ante estos fenómenos.

## FACTORES QUE AFECTAN AL VIENTO

Se considera el viento al movimiento de las masas de aire de la atmósfera debido a la constante variación de la temperatura, presión en la atmósfera y otros factores como la rotación y curvatura de nuestro planeta. La tierra funciona como una gran máquina térmica que transforma parte del calor solar en energía cinética del viento. La energía eólica tiene como ventajas la de ser inagotable, gratuita y no lesiva al medio ambiente, pero cuenta también con los grandes inconvenientes de ser dispersa y aleatoria. Bajo la acción de la presión, el aire de la atmósfera se desplaza de un lugar a otro a diferentes velocidades, dando lugar al viento. Las causas principales del origen del viento son: la radiación solar que es más importante sobre la línea del Ecuador que en los polos, la rotación de la tierra que provoca desviaciones hacia la derecha en el Hemisferio Norte y hacia la izquierda en el Hemisferio Sur y por último las perturbaciones atmosféricas.

Los vientos huracanados pueden causar destrucción parcial o total a estructuras tales como casas, naves industriales, edificios, puentes, instalaciones marinas, torres de transmisión eléctrica y anuncios, entre otros. El potencial de daños ocasionados por el viento está directamente relacionado con su velocidad, la cual puede provocar pérdidas económicas importantes a la infraestructura. Las pérdidas económicas que se pueden presentar son las producidas por el daño a la infraestructura y las pérdidas debidas a la falta de operación de algunos servicios como la interrupción de energía eléctrica, obstrucción de carreteras, mal estado de hospitales y centros de atención inmediata y cierre temporal de negocios entre otros.

Los vientos de mayor intensidad en México son los que se producen durante huracanes cada año y que amenazan las costas del país. Por tanto, estas zonas son las que presentan una mayor exposición ante los efectos del viento. Debido a importantes pérdidas económicas sufridas anteriormente en México y otros países debido a la ocurrencia de fuertes vientos, es que es necesario estudiar algunos de los factores que más influyen en la vulnerabilidad de las estructuras ante la incidencia del viento.

### 1.1 Descripción del fenómeno

#### 1.1.1 Origen del viento

El sol irradia calor que se trasmite en el espacio y alcanza a la atmósfera terrestre. La superficie de la Tierra no recibe por igual la misma energía, la superficie que se encuentra en el ecuador se calienta más por la acción solar que la de los polos debido a que recibe más cantidad de radiación por unidad de superficie. Esto origina que se produzca intercambios térmicos entre las zonas más calientes y las más frías para establecer el equilibrio: el aire caliente se desplaza hacia los polos y el aire frío hacia el ecuador. De este modo, las masas de aire se nivelan y suavizan el clima en la Tierra y establecen los principios de la circulación general. Al presentarse el movimiento del aire caliente hacia arriba se genera un centro de baja presión, el cual absorbe el aire frío de la atmósfera, fortaleciendo este ciclo.

La energía calorífica de la radiación solar es la que genera todos los procesos meteorológicos y climáticos que se dan en la Tierra. Al incidir sobre el planeta, atraviesa el gas atmosférico sin apenas calentarlo; en cambio sí calienta la superficie terrestre que es la que finalmente transmite el calor al aire atmosférico en contacto con ella.

En el caso de los ciclones, en un centro de bajas presiones el viento tiende a desplazarse hacia el centro, donde se acumula y asciende verticalmente. Al elevarse, la masa de aire se expande, pierde energía y se enfría. Si se dan las condiciones de temperatura y humedad necesarias, el vapor de agua del aire se condensa generando las nubes. En los centros de alta presión o anticiclones ocurre lo contrario, el viento tiende a dispersarse desde el centro del sistema hacia el exterior, se produce un movimiento descendente y como consecuencia una compresión y un calentamiento. Esto explica que en los anticiclones no hay nubes.

La República Mexicana debido a su ubicación geográfica y por la gran extensión de sus litorales, es afectada por ciclones tropicales tanto en las costas del Océano Pacífico, como en las del Golfo de México y el mar Caribe. Las áreas afectadas regularmente abarcan más del 60% del territorio nacional, por lo que es de suma importancia estudiar los efectos de este fenómeno.

## 1.2 Estructuras sometidas a la acción del viento

Una estructura que se encuentra ubicada dentro de un campo de viento, está sujeta a fuerzas aerodinámicas, las cuales se distribuyen sobre y a través de la estructura dependiendo de sus características; estas fuerzas aerodinámicas ocasionan presiones y succiones sobre los elementos que recubren la estructura y estos a su vez sobre los elementos resistentes. Si se considera que el viento está soplando en dirección perpendicular a la fachada anterior de la estructura, esta se presiona directamente y las ráfagas de viento se desvían por ambos costados y por el techo (figura 1.1) ocasionando fuerzas de succión en el techo, las paredes laterales y la fachada.

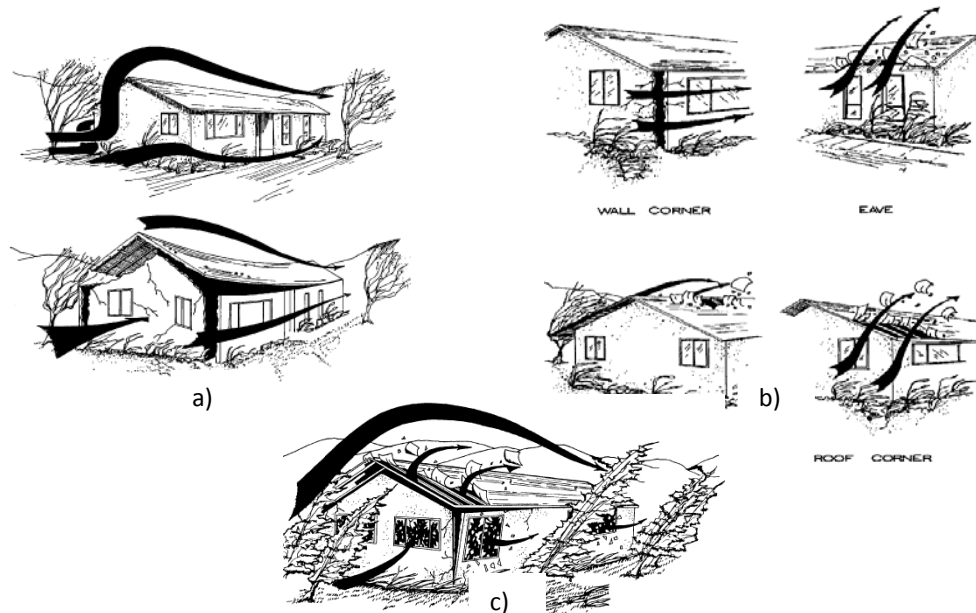


Figura 1.1 Presiones totales, locales e internas (Mehta K., 2008)

Cuando el viento logra romper las ventanas y puertas de la fachada, el flujo de aire entra violentamente al interior de la edificación, incrementando las fuerzas de succión en las paredes y el techo de la estructura, ocasionando que este se dañe de manera severa o que colapse.

La manera en que una estructura se comporta dentro de un flujo de viento depende de varios factores relacionados con sus características y propiedades estructurales, entre las más

importantes se encuentran el área de aberturas, dimensiones, esbeltez, forma y tipo de la cubierta, material de construcción, irregularidades, forma geométrica, entre otras.



(a) Presiones totales



(b) Presiones locales



(c) Presiones internas

Figura 1.2 Efecto de las presiones (a) totales, (b) locales, (c) internas sobre las estructuras (Mehta K., 2008)

### 1.3 Vulnerabilidad estructural

La vulnerabilidad se puede definir como la predisposición intrínseca de un sujeto o elemento a sufrir daño debido a posibles acciones externas (en este caso la acción del viento), y por lo tanto su evaluación contribuye en forma fundamental al conocimiento del riesgo mediante interacciones del elemento susceptible con el ambiente peligroso. La parte más vulnerable de una construcción es la cubierta, sobre todo cuando ésta es de lámina delgada que puede ser levantada por la succión ejercida por vientos de alta velocidad. Las cubiertas ligeras son comunes en las construcciones industriales o comerciales de grandes dimensiones que en ocasiones pierden su techo por vientos intensos.

En muchas ocasiones aunque los edificios sean sólidos y robustos en su estructura, sus fachadas y revestimientos pueden ser frágiles y dañarse por el empuje del viento. Este es el caso de los inmuebles con grandes ventanales de vidrio que pueden llegar a romperse con el empuje de los vientos extraordinarios como los asociados a los huracanes. Además del peligro que representa para los ocupantes el desprendimiento de trozos de vidrio, la rotura de éste permite la entrada del viento, produciendo graves daños a los acabados e instalaciones. Una causa de daños severos por

vientos intensos es el impacto de diversos objetos que son levantados y desprendidos por el viento, que pueden golpear las fachadas y cubiertas de los edificios, así como romper vidrios y paredes delgadas. Por ejemplo, las ramas de los árboles, láminas y materiales desprendidos del revestimiento de las construcciones, se vuelven proyectiles peligrosos en los vientos intensos. Los elementos urbanos más vulnerables a la acción del viento son los llamados anuncios espectaculares, los cuales presentan generalmente una estructura metálica ligera y una importante superficie expuesta a la acción del viento. Estos elementos constituyen un peligro importante para otras edificaciones y para los transeúntes, ya que sus partes pueden ser transportadas a distancias considerables y golpear con violencia.

Es por eso que la vulnerabilidad de un inmueble sometido a un campo de vientos depende principalmente de factores como: ubicación, tipo estructural, características estructurales e impacto de objetos arrastrados por las fuerzas del viento.

Una manera de cuantificar la vulnerabilidad es a través de funciones de vulnerabilidad. Una función de vulnerabilidad es una expresión matemática que relaciona las consecuencias posibles de un fenómeno sobre una construcción, una obra de ingeniería, o un conjunto de bienes o sistemas expuestos con la intensidad de dicho fenómeno que podría generarlas. La forma en que se describan las consecuencias dependerá del tipo de sistema expuesto y de las aplicaciones que se tengan en mente. Para fines de aseguramiento o para la creación de fondos para reparación y reconstrucción es necesario expresar las consecuencias en términos de indicadores económicos. La construcción de funciones de vulnerabilidad implica una clasificación de los sistemas expuestos, en función de las consecuencias y la intensidad de un fenómeno determinado. De acuerdo con esto, los sistemas expuestos se pueden clasificar en (Instituto de Ingeniería UNAM- CENAPRED, 2003):

### **Tipo estructural**

- Tipo I. Casas para habitación unifamiliar, construidas con muros de mampostería simple o reforzada, adobe, madera o sistemas prefabricados.
- Tipo II. Edificios para vivienda, oficinas y escuelas, construidos con concreto reforzado, acero, mampostería reforzada o sistemas prefabricados. También pertenecen a este tipo las chimeneas, los tanques elevados y otros tipos de construcciones cuyos modos dominantes de falla puedan relacionarse con la ocurrencia de desplazamientos excesivos de su extremo superior.
- Tipo III. Construcciones especiales: teatros y auditorios, iglesias, naves industriales, construcciones antiguas, y construcciones que presenten riesgo significativo de falla en modos que no impliquen necesariamente la ocurrencia de desplazamientos excesivos en su extremo superior.
- Tipo IV. Sistemas de gran extensión o con apoyos múltiples: puentes.
- Tipo V. Tuberías superficiales o enterradas

### **Posibles consecuencias de su falla**

- Grupo A. Construcciones cuya falla estructural podría causar la pérdida de un número elevado de vidas o pérdidas económicas o culturales excepcionalmente altas, tales como estadios, teatros, auditorios e iglesias, o que constituyan un peligro significativo por contener sustancias tóxicas o explosivas, así como construcciones cuyo funcionamiento es esencial a raíz de una emergencia urbana, como: hospitales, escuelas, terminales de transporte, estaciones de bomberos, centrales eléctricas y de telecomunicaciones, y construcciones que alojen archivos y registros públicos de particular importancia.



- Grupo B. Construcciones ordinarias usadas como vivienda, oficinas y locales comerciales, hoteles y construcciones comerciales e industriales no incluidas en el Grupo A.

Asimismo, de acuerdo con su tipo, los sistemas estructurales y las obras de ingeniería en general pueden experimentar distintas formas de falla o de daños físicos, entre las formas de falla o de daños físicos más frecuentes están:

- Colapso debido a la falla de la estructura o de la cimentación
- Daños en elementos estructurales
- Daños en elementos no estructurales
- Daños en instalaciones, equipo y contenidos
- Inclinaciones remanentes y deformaciones residuales
- Fugas en tuberías superficiales o enterradas

Los modos de falla condicionan fuertemente la forma de una función de vulnerabilidad. Por ejemplo, si una construcción es altamente vulnerable alcanzará su colapso para velocidades de viento relativamente bajas, en tanto que una construcción con baja vulnerabilidad lo alcanzará para velocidades altas.

### 1.3.1 Factores que influyen en la vulnerabilidad de las estructuras por acción del viento

El movimiento del viento a velocidades elevadas (por encima de los 150 km/h), genera fuerzas que se distribuyen en las construcciones como se observa en la figura 1.3. De acuerdo con esta distribución, las fuerzas y elementos estructurales más vulnerables con los muros y los techos.

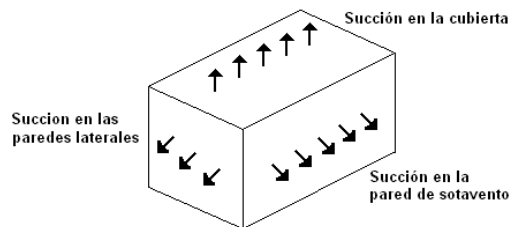


Figura 1.3 Efecto del viento en una vivienda

Las características estructurales más relevantes ante la vulnerabilidad de una edificación a efectos del viento son: la ubicación, tipo estructural, características estructurales y la posibilidad de ser golpeado por objetos arrastrados por el viento. Cada de estas características presentan una serie de sub-características que influyen en su vulnerabilidad.

#### **Ubicación**

Influyen principalmente la topografía y el tipo del terreno.

#### **Topografía**

La topografía de una región puede incidir considerablemente en el comportamiento del viento. En general, las colinas y los terrenos escarpados pueden generar aceleraciones repentinas de la velocidad del viento, de manera que en determinadas circunstancias las cargas del viento pueden aumentar hasta en un 80%. Estos incrementos dependerán de varios factores, entre otros, la ubicación de la estructura y los efectos de atenuación horizontal y vertical. Cada tipo de topografía

puede determinar una respuesta particular para el viento. En segundo lugar, la naturaleza del flujo incidente juega un papel importante en determinar la respuesta que se produce frente a determinado accidente topográfico. La intensidad y dirección del viento, y la estabilidad estática o estratificación son características muy importantes del flujo incidente.

En el caso de montañas o colinas o cuando la topografía bloquea el flujo del aire, la respuesta de la atmósfera cuando el flujo no es lo suficientemente fuerte como para pasar al otro lado del obstáculo topográfico es el bloqueo del flujo por parte de la topografía. Esta situación ocurre cuando la atmósfera está muy estratificada o el flujo hacia la barrera montañosa es relativamente débil. Si observamos la corriente de flujo arriba de una montaña, normalmente veremos que existe una fuerte estratificación y quizás una inversión térmica (aumento de la temperatura con la latitud) y un flujo entre flojo y moderado hacia la barrera montañosa. El bloqueo no debe interpretarse como un evento instantáneo, sino que se establece con el tiempo a medida que el flujo comienza a interactuar con la barrera montañosa. La interpretación más sencilla del bloqueo del flujo es que el aire debajo de la montaña en el lado a barlovento debe quedar estancado, sin vientos hacia la montaña.

La figura 1.4 ilustra esta situación: el aire debajo del aire estable fue detenido por la barrera.



Figura 1.4 Modelo bidimensional simple. (Interacción entre flujo y topografía, [www.ucar.edu/](http://www.ucar.edu/))

Para considerar la respuesta del flujo a una barrera tridimensional considere la situación de un flujo cerca de la superficie que encuentra una barrera montañosa ancha, como la que se representa en la figura 1.5

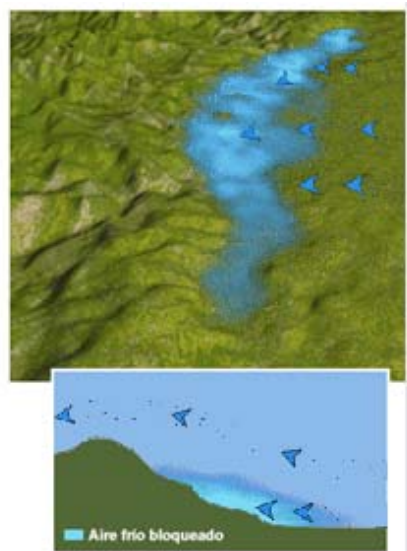


Figura 1.5 Barrera tridimensional compuesta de una cadena montañosa y la interacción con el (Interacción entre flujo y topografía, [www.ucar.edu/](http://www.ucar.edu/))

A una distancia suficiente de las montañas, el flujo en la gran escala proviene del Este y está esencialmente en equilibrio con la distribución de la presión, de modo que no "siente" la presencia de las montañas. En esta región, las velocidades del viento a menudo son coherentes con el equilibrio geostrófico, es decir, las fuerzas del gradiente de presión y de coriolis están casi equilibradas. Cuando consideramos la situación en un lugar más cerca de las montañas, vemos que la barrera obliga al aire a subir, de modo que pierde velocidad debido al trabajo que debe hacer contra la gravedad a medida que trepa la montaña. La disminución de la velocidad reduce la fuerza de coriolis al punto que deja de ser suficiente para equilibrar la fuerza del gradiente de presión. Por consiguiente, el viento debe soplar hacia la baja presión cerca de la montaña. Este efecto ocurre a una clara distancia corriente arriba. Resulta útil considerar lo que ocurre con el aire a medida que se acerca a la montaña desde el este. En algún punto corriente arriba comienza a sentir los efectos de la montaña y empieza a bajar de velocidad. A medida que la velocidad del aire disminuye, la fuerza del gradiente de presión se vuelve más intensa que la fuerza de coriolis y el viento debe virar hacia la baja presión. Cuando ocurre esto, la fuerza del flujo hacia la montaña se reduce y el aire ya no cuenta con energía cinética suficiente como para superar la barrera, de modo que vira aún más hacia la presión baja. Si bien esto resulta útil para visualizar los procesos físicos, la evolución real del flujo a medida que se desarrolla alrededor de la barrera requiere que cerca de la montaña se genere una estructura en el aire diferente a la del aire corriente arriba.

Ahora consideremos ahora lo que ocurre cuando no hay una larga barrera montañosa, sino más bien una montaña aislada. En este caso, la extensión espacial del efecto de bloqueo puede ser muy limitada, ya que el aire puede fluir a ambos lados de la montaña. La figura 1.6 ilustra esta situación, y muestra la forma triangular de la región de bloqueo justo corriente arriba de la montaña.

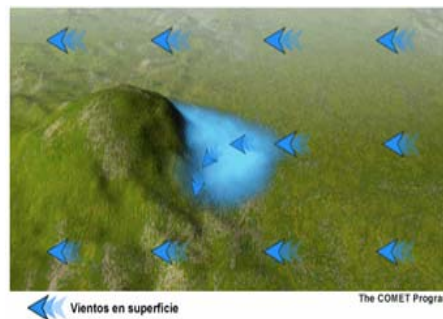


Figura 1.6 Montaña aislada y su efecto en el flujo del viento (Interacción entre flujo y topografía, [www.ucar.edu/](http://www.ucar.edu/))

Este efecto es responsable de la producción de características tales como ondas frontales alrededor de islas montañosas o rocas en los ríos. Estos tipos de efectos también suelen conducir a la canalización del flujo alrededor de montañas complejas y no suelen atribuirse al bloqueo, aunque la estratificación que forzaría el bloqueo es necesaria para producir una fuerte canalización del flujo. Típicamente, el bloqueo se asocia con las barreras montañosas alargadas y no con las montañas aisladas.

### Tipo del terreno

El movimiento de las masas de aire se ve restringido por la fricción con la superficie del terreno, lo cual origina que la velocidad sea prácticamente nula en contacto con el mismo, y crezca con la altura hasta alcanzar la velocidad del flujo no perturbado, llamada velocidad gradiente. La rapidez con que la velocidad crece con la altura y, por tanto, la altura a la que se alcanza la velocidad gradiente, depende de la rugosidad de la superficie del terreno. Para un terreno muy liso, como en campo abierto con vegetación muy baja como en el caso de la costa (figura 1.7), el viento mantiene velocidad muy alta aún muy cerca de la superficie, mientras que en el centro de grandes ciudades con edificaciones altas como las zonas urbanas, la velocidad disminuye rápidamente desde una altura de varias decenas de metros hasta la superficie del terreno.

La figura 1.7 muestra la variación de la velocidad del viento con la altura obtenida experimentalmente para distintas condiciones de terreno. Se aprecia que la velocidad gradiente se alcanza a una altura del orden de 250 metros en campo abierto, mientras que en el centro de una gran ciudad se alcanza cerca de los 500 metros.

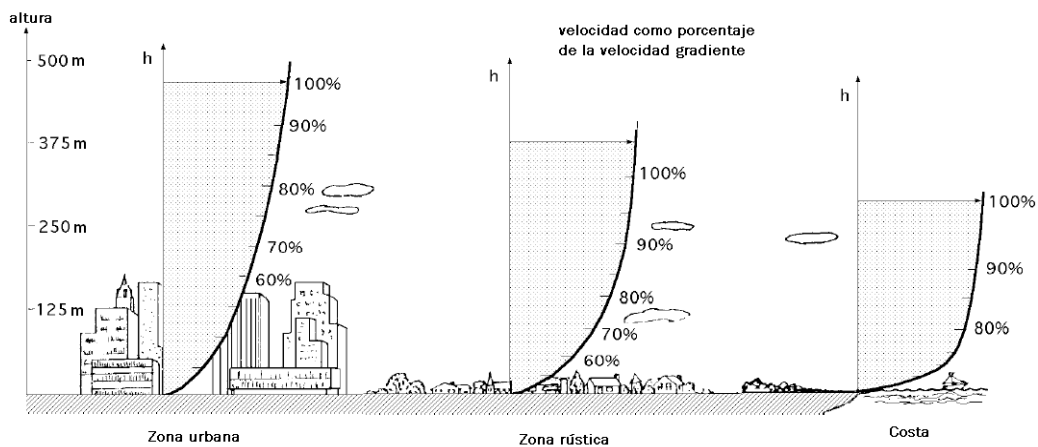


Figura 1.7 Variación de la velocidad del viento con la altura y sobre terrenos de diferente rugosidad (Fernández D. Pedro, 1997)

Existen diferentes tipos de terreno que son considerados representativos para el cálculo de la velocidad del viento en la República Mexicana. El terreno tipo “abierto plano”, corresponde a franjas costeras planas, campos aéreos, pastizales y tierras de cultivo, donde el viento encuentra muy poca restricción a su paso, el tipo “plano u ondulado con pocas obstrucciones”, se asocia con campos de cultivo o granjas con pocas obstrucciones tales como bardas alrededor, árboles y construcciones dispersas, el terreno cubierto por numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas que se asocia con áreas urbanas, suburbanas y de bosques; en estas zonas el viento encuentra una importante obstrucción a su paso y por último el terreno con numerosas obstrucciones largas, altas y estrechamente espaciadas, el cual se refiere al centro de grandes ciudades y complejos industriales; en estas zonas el viento presenta una gran obstrucción a su paso, lo cual provoca la generación de vórtices o remolinos al pasar el viento entre construcciones de diferente forma y altura.

### Ubicación y obstrucciones

La ubicación de una edificación frente a las acciones de fuertes vientos, así como la presencia de otras edificaciones de menor tamaño, pueden contribuir a acelerar la velocidad del viento y suscitar turbulencias que afecten tanto la sección frontal (muros a barlovento) como la sección posterior de

la edificación (muros a sotavento), con un consiguiente aumento considerable de la presión eólica básica. Otros factores, como aberturas en la parte inferior de los edificios, conllevan un inusual incremento de la velocidad del viento y de las turbulencias en la parte posterior del edificio. Lo propio sucede con las edificaciones de techos a dos aguas en donde el viento origina turbulencias en los techos de sotavento y en las paredes posteriores y laterales.

### **Tipo estructural**

De acuerdo a su configuración estructural y vulnerabilidad ante efectos del viento, las edificaciones en la República Mexicana se pueden clasificar en los siguientes tipos (figura 1.8): muros de carga de mampostería (a), marcos y muros (b), muros (c), industrial no rigidizada con cubierta ligera (d), industrial rigidizada con cubierta ligera (e), industrial no rigidizada con cubierta pesada e industrial rigidizada con cubierta pesada.



*Figura 1.8 Tipos estructurales representativos de las edificaciones en México (www.google.com.mx/)*

Cada una de ellas se comporta de manera particular ante los efectos del viento, de los cuales el tipo industrial con cubierta ligera, presenta una mayor vulnerabilidad debido al poco peso de sus elementos de recubrimiento y al gran área expuesta.

### **Características estructurales**

Entre las características estructurales que repercuten en la vulnerabilidad de una edificación sometida a la acción están: las dimensiones, el área de las aberturas, la forma y tipo de cubierta, los materiales de construcción y la geometría. A continuación se describen cada una de las características mencionadas.

#### **Dimensiones**

Estructuras en que la relación entre la altura y dimensión menor en planta (relación de aspecto), sea mayor a 5 o cuyo periodo natural de vibración sea mayor o igual a 1 segundo. Estas serán estructuras serán sensibles a ráfagas de corta duración del viento, lo cual favorece la ocurrencia de oscilaciones importantes.

#### **Área de aberturas**

Las estructuras con ventanales o aberturas muy amplias, recubiertas con cristales o materiales ligeros son muy vulnerables ante la acción de fuertes vientos, ya que los recubrimientos pueden romperse o desprenderse, provocando la entrada del viento al interior de la construcción, el cual ocasiona presiones interiores que cuando se combinan con las presiones exteriores ocasionan que los muros, techo y elementos de recubrimiento de la estructura se encuentren sometidos a esfuerzos mayores que los que se presentarían si la estructura se encontrara totalmente cerrada.

### Forma y tipo de cubierta

En las cubiertas horizontales se presentan succiones sobre toda el área; al incrementar el ángulo de inclinación de la cubierta, en el lado de sotavento se presenta una succión constante sobre toda el área (figura 1.9a), para el lado de barlovento, cuando la inclinación es pequeña, se presentarán succiones correspondientes a un techo horizontal, pero al incrementar el ángulo de inclinación, entre 30° y 40°, se presentarán presiones iguales que las que se presentan en un muro vertical. Para cubiertas curvas existe también una gran variación de las presiones de viento en distintos puntos. Se distingue aquí una zona de barlovento correspondiente al primer cuarto del arco, una de sotavento correspondiente al último cuarto y una zona central (figura 1.9b).

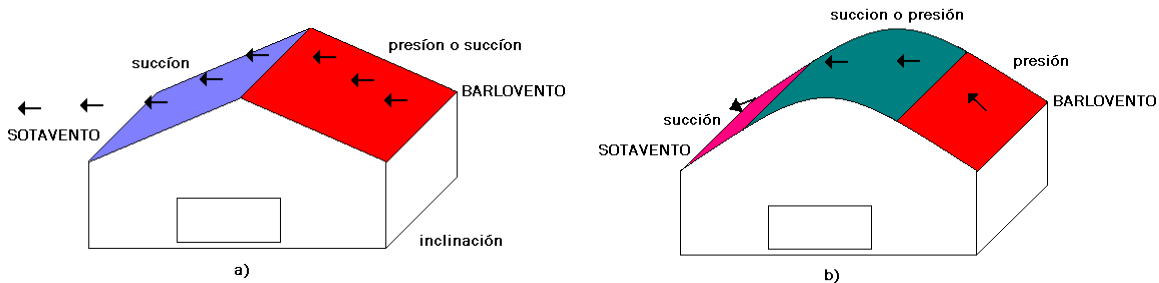


Figura 1.9 Estructuras con diferente tipo de cubierta

### Materiales de construcción

Las estructuras recubiertas con materiales ligeros (naves industriales) presentan una mayor vulnerabilidad ante fuertes vientos, debido a su gran área expuesta y al poco peso de sus materiales de recubrimiento. En este tipo de estructuras la primera falla ante la acción de fuertes vientos, puede ser el desprendimiento de algunos sujetadores de las láminas de recubrimiento, lo que haría que una porción de un panel se doblara aumentando su área expuesta al viento, bajo estas condiciones el panel completo de lámina se desprendería formando así un boquete permitiendo que el viento ejerza fuerzas sobre otros paneles, dichas fuerzas no hubieran existido sin la falla inicial. Otra falla podría ocurrir, si sobre la cara del edificio en que actúa el viento el boquete es amplio, aumentaría la presión dentro de la estructura provocando un colapso total hacia el exterior. Se contempla también materiales comunes como tabique, madera y vidrio en el análisis de una estructura por viento.

### Geometría

La irregularidad en planta y elevación de las construcciones genera vórtices (remolinos) que provocan fuerzas y vibraciones transversales a la dirección del flujo de viento. En estas estructuras pueden presentarse amplificaciones dinámicas de la respuesta estructural, lo cual incrementa su vulnerabilidad ante la acción del viento, ya que dichas amplificaciones dinámicas puede provocar el colapso de estructuras.

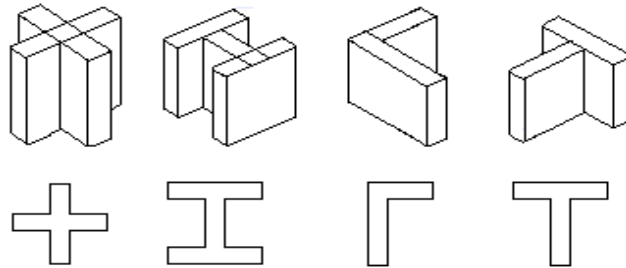


Figura 1.10 Estructuras con geometría irregular en planta

### Altura de la edificación

La viscosidad que se produce entre un fluido en movimiento y una superficie sólida hace que se generen esfuerzos cortantes en el sentido opuesto a la dirección del fluido en movimiento. Un efecto similar ocurre con la interface entre la superficie de la tierra y el viento que sopla sobre ella: la viscosidad reduce la velocidad del aire casi a cero en la proximidad de la superficie de la tierra. A medida que aumenta la altura, también aumenta la velocidad del viento hasta alcanzar una velocidad constante que es independiente de la irregularidad del terreno. La esbeltez es un problema debidos a edificios muy altos con poca área de construcción, produciendo desplazamientos horizontales que varían a mayor altura, lo que hace el edificio inestable.

### Objetos arrastrados por el viento

La fuerza que los objetos que son arrastrados por las fuerzas del viento, se pueden comportar como proyectiles suspendidos que al chocar contra una estructura pueden ocasionar daños. En un inmueble las fachadas son la parte más vulnerable al impacto de objetos arrastrados por el viento, los vidrios se pueden romper, los elementos no diseñados adecuadamente o los elementos ligeros pueden ser arrastrados con facilidad por el viento, convirtiéndose en proyectiles que impactan otras partes del edificio u otro inmueble, por lo que las características de los materiales de recubrimiento, la colocación de objetos que se puedan desprender con facilidad en azoteas o terrazas, la cercanía con árboles o anuncios espectaculares, son algunos de los elementos que incrementan la vulnerabilidad de una estructura ante la acción del viento. Estos eventos son comunes en fenómenos naturales como huracanes, tornados y pueden traer consigo grandes pérdidas humanas y económicas.

En la figura 1.11 se muestra la peligrosidad de los objetos arrastrados por el viento, en la figura 1.11a y 1.11b se observa el impacto de un trozo de madera y una hoja de triplay que atravesó el tronco de una palmera. En la figura 1.11c se muestra un edificio recubierto con cristales que resultó dañado por objetos lanzados por el viento, si bien el daño a la estructura del edificio no fue importante, los mayores daños ocurrieron en el interior del edificio al romperse la ventanería y crearse fuertes y caóticas corrientes de viento en el interior (figura 1.11d). Los muebles y papeles de oficina son arrastrados por estas corrientes, pudiendo generar pérdidas económicas importantes no asociadas con destrucción física de objetos, sino por la paralización de las actividades normales de oficinas o negocios. Los edificios modernos con ventanas grandes de piso a techo y divisiones internas puramente aparentes (tablarroca, plafones falsos, divisores de cubículos prefabricados, etc.) son especialmente sensibles a este tipo de daños.



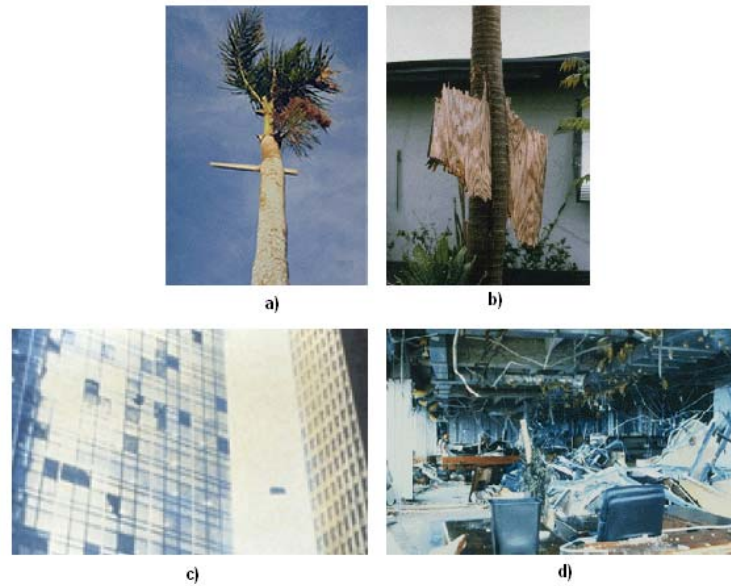


Figura 1.11 Impacto de objetos arrastrados por el viento (Fuertes vientos, [www.atlas.snet.gob.sv/](http://www.atlas.snet.gob.sv/))

#### 1.4 Comparación del Manual Comisión Federal de Electricidad (CFE) y las Normas Técnicas Complementarias (NTC) para viento

Estos manuales contienen los procedimientos necesarios para determinar las velocidades de diseño por viento y las fuerzas mínimas por viento que deben emplearse en el diseño de diferentes tipos de estructuras. En el caso de puentes colgantes y estructuras marinas alejadas de las costas, deberán diseñarse conforme a los lineamientos establecidos para cada caso particular o mediante estudios que comprueben la seguridad y buen funcionamiento de los mismos.

En la determinación de las velocidades de diseño se consideran solo los efectos de los vientos que ocurren normalmente durante todo el año en el país y los causados por huracanes en las costas del Pacífico y del Golfo de México y del Caribe. No se toma en cuenta la influencia de los vientos generados por tornados, por esta razón en las localidades en donde se considere que el efecto de los tornados es significativo, deberán tomarse las previsiones necesarias.

Las recomendaciones hechas en estos documentos se deberán aplicar para revisar la seguridad del sistema estructural principal ante el efecto de las fuerzas que generan las presiones (empujes o succiones) producidas por el viento sobre las superficies de la construcción y que son transmitidas al sistema. Estas recomendaciones se utilizarán así mismo en el diseño local de los elementos expuestos de manera directa a la acción del viento, tanto los que forman parte del sistema estructural (cuerdas y diagonales) como a los que constituyen solo un recubrimiento (laminas de cubierta, elementos de fachadas o vidrios).

##### 1.4.1 Requisitos generales para el análisis y diseño estructural

En el manual de la CFE se especifican los requisitos básicos correspondientes sobre el análisis y diseño estructural de una estructura cualquiera. Estos requisitos son:



1. Dirección de análisis, suponiendo que el viento puede actuar por lo menos en dos direcciones horizontales perpendiculares e independientes entre sí y se elegirán las condiciones que sean las más desfavorables para la estabilidad de la estructura.
2. Factores de carga y resistencia
3. Seguridad contra el volteo
4. Seguridad contra el deslizamiento
5. Presiones interiores, el efecto de estas presiones será combinada con las presiones exteriores de tal manera que para el diseño se tomen las condiciones más desfavorables.
6. Seguridad durante la construcción
7. Efecto de construcciones vecinas, ya que la proximidad y la disposición de ellas puede generar presiones locales adversas y estas a su vez ocasionar colapsos.
8. Análisis estructural
9. Interacción suelo-estructural

### ***Criterios de diseño***

### **Clasificación de las estructuras**

Para la clasificación de acuerdo con su importancia las normas de la CFE las clasifican en 3 grupos (A, B y C), siendo más explícitas en su descripción comparándolas con las NTC. Según la NTC, las estructuras se clasifican en dos grupos, A y B, según el artículo 139 del Reglamento.

*Tabla 1.1 Clasificación de las estructuras según su importancia, manual CFE*

|         |   |
|---------|---|
| GRUPO A | Estructuras para las que se recomienda un grado de seguridad elevado. Pertenecen a este grupo aquellas que en caso de fallar causarían la pérdida de un número importante de vidas, o perjuicios económicos o culturales excepcionalmente altos; así mismo, las construcciones y depósitos cuya falla implique un peligro significativo por almacenar o contener sustancias tóxicas a inflamables, así como aquellas cuyo funcionamiento es imprescindible y debe continuar después de la ocurrencia de vientos fuertes tales como los provocados por huracanes. Quedan excluidos los depósitos y las estructuras enterradas. Ejemplos de este grupo son las construcciones cuya falla impida la operación de plantas termoeléctricas, hidroeléctricas y nucleares; entre estas, pueden mencionarse las chimeneas, las subestaciones eléctricas y las torres y postes que formen parte de líneas de transmisión principales. Dentro de esta clasificación también se cuentan las centrales telefónicas e inmuebles de telecomunicaciones principales, puentes, estaciones terminales de transporte, estaciones de bomberos, de rescate y de policía, hospitales e inmuebles médicos con áreas de urgencias, centros de operación en situaciones de desastre; escuelas, estadios, templos y museos. Del mismo modo pueden considerarse los locales, las cubiertas y los paraguas que protejan equipo especialmente costoso, y las áreas de reunión que puedan alojar a más de doscientas personas, tales como salas de espectáculos, auditorios y centros de convenciones. |
| GRUPO B | Estructuras para las que se recomienda un grado de seguridad moderado. Se encuentran dentro de este grupo aquellas que en caso de fallar, representan un bajo riesgo de pérdida de vidas humanas y que ocasionarían daños materiales de magnitud intermedia. Este es el caso de las plantas industriales, bodegas ordinarias, gasolineras (excluyendo los depósitos exteriores de combustibles pertenecientes al grupo A), comercios, restaurantes, casas para habitaciones, viviendas, edificios de apartamentos u oficinas, hoteles, bardas cuya altura sea mayor que 2.5 metros y todas las construcciones cuya falla por viento pueda poner en peligro a otras de esta clasificación o de la anterior. Se incluyen también salas de reunión y espectáculos y estructuras de depósitos, urbanas o industriales, no incluidas en el grupo A, así como todas aquellas construcciones que forman parte de plantas generadoras de energía y que, en caso de fallar, no paralizarían su funcionamiento. Asimismo, se consideran en este grupo las subestaciones eléctricas y las líneas y postes de transmisión de menor importancia que las del grupo A.   |
| GRUPO C | Estructuras para las que se recomienda un bajo grado de seguridad. Son aquellas cuya falla no implica graves consecuencias, ni pueden causar daños a construcciones de los grupos A y B. Abarca, por ejemplo, no solo bodegas provisionales, cimbras, carteles, muros aislados y bardas con altura no mayor que 2.5 metros, sino también recubrimientos, tales como cancelerías y elementos estructurales que formen parte de las fachadas de las construcciones, siempre y cuando no representen un peligro que pueda causar daños corporales o materiales importantes en caso de desprendimiento. Si por el contrario, las consecuencias de su desprendimiento son graves, dichos recubrimientos se analizarán utilizando las presiones de diseño de la estructura principal.   |

*Tabla 1.2 Clasificación de las estructuras según su importancia, normas NTC*

|        |   |
|--------|---|
| TIPO 1 | Grupo A: Edificaciones cuya falla estructural podría constituir un peligro significativo por contener sustancias tóxicas o explosivas, así como edificaciones cuyo funcionamiento es esencial a raíz de una emergencia urbana, como: hospitales, escuelas, terminales de transporte, estaciones de bomberos, centrales eléctricas y de telecomunicaciones, estadios, depósitos de sustancias inflamables o tóxicas, museos y edificios que alojen archivos y registros públicos de particular importancia, y otras edificaciones a juicio de la Secretaría de Obras y Servicios.  |
| TIPO 2 | Grupo B: Edificaciones comunes destinadas a viviendas, oficinas y locales comerciales, hoteles y construcciones comerciales e industriales no incluidas en el Grupo A, las que se subdividen en: <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Subgrupo B1: Edificaciones de más de 30 m de altura o con más de 6,000 m<sup>2</sup> de área total construida, ubicadas en las zonas I y II a que se aluden en el artículo 170 de este Reglamento, y construcciones de más de 15 m de altura o más de 3,000 m<sup>2</sup> de área total construida, en zona III; en ambos casos las áreas se refieren a un solo cuerpo de edificio que cuente con medios propios de desalojo: acceso y escaleras, incluyendo las áreas de anexos o que pueden ser los propios cuerpos de escaleras. El área de un cuerpo que no cuente con medios propios de desalojo se adicionará a la de aquel otro a través del cual se desaloje;</li> <li>b) Edificios que tengan locales de reunión que puedan alojar más de 200 personas, templos, salas de espectáculos, así como anuncios autosoportados, anuncios de azotea y estaciones repetidoras de comunicación celular y/o inalámbrica, y</li> <li>c) Subgrupo B2: Las demás de este grupo.</li> </ul> |

Para la clasificación de acuerdo con su respuesta ante la acción del viento las normas de CFE y NTC presentan la misma clasificación (tablas 1.3).

*Tabla 1.3 Clasificación de las estructuras según su respuesta ante la acción del viento, manual NTC*

|        |   |
|--------|---|
| TIPO 1 | Comprende las estructuras poco sensibles a las ráfagas y a los efectos dinámicos de viento. Incluye las construcciones cerradas techadas con sistemas de cubierta rígidos; es decir, que sean capaces de resistir las cargas debidas a viento sin que varíe esencialmente su geometría. Se excluyen las construcciones en que la relación entre altura y dimensión menor en planta es mayor que 5 o cuyo período natural de vibración excede de 1 segundo. Se excluyen también las cubiertas flexibles, como las de tipo colgante, a menos que por la adopción de una geometría adecuada, la aplicación de presfuerzo u otra medida, se logre limitar la respuesta estructural dinámica |
| TIPO 2 | Comprende estructuras como las definidas en el Tipo 2 en que, además, la forma de la sección transversal propicia la generación periódica de vórtices o remolinos de ejes paralelos a la mayor dimensión de la estructura. Son de este tipo las estructuras o componentes aproximadamente cilíndricos, tales como tuberías, chimeneas y edificios con planta circular.  |
| TIPO 3 | Comprende estructuras como las definidas en el Tipo 2 en que, además, la forma de la sección transversal propicia la generación periódica de vórtices o remolinos de ejes paralelos a la mayor dimensión de la estructura. Son de este tipo las estructuras o componentes aproximadamente cilíndricos, tales como tuberías, chimeneas y edificios con planta circular.  |
| TIPO 4 | Comprende las estructuras que por su forma o por lo largo de sus períodos de vibración presentan problemas aerodinámicos especiales. Entre ellas se hallan las cubiertas colgantes, que no pueden incluirse en el Tipo 1.   |

### **Efectos del viento que se deben considerar**

De acuerdo a la CFE y NTC existen efectos que según el tipo de construcción se deberán tomar en cuenta en el diseño de estructuras sometidas a la acción del viento:

1. Empujes medios
2. Empujes dinámicos en la dirección de viento
3. Vibraciones transversales al flujo
4. Inestabilidad aerodinámica

Al igual que hay que tener en cuenta estos efectos, también existen consideraciones según el tipo de estructura. Para el diseño de las estructuras Tipo 1 bastará tener en cuenta los efectos estáticos del viento, calculados de acuerdo con el Capítulo 3 (métodos simplificado y estático para diseño por viento).

Para el diseño de las estructuras Tipo 2 deberán incluirse los efectos estáticos y los dinámicos causados por turbulencia. El diseño podrá efectuarse con un método estático equivalente, de acuerdo con las secciones correspondientes de los Capítulos 3 y 5 (métodos simplificado y estático para diseño por viento y empujes dinámicos paralelos al viento, respectivamente), o con un procedimiento de análisis que tome en cuenta las características de la turbulencia y sus efectos dinámicos sobre las estructuras.

Las estructuras Tipo 3 deberán diseñarse de acuerdo con los criterios especificados para las de Tipo 2, pero además deberá revisarse su capacidad para resistir los efectos dinámicos de los vórtices alternantes, según se especifica en el Capítulo 6 (efecto de vórtices sobre estructuras prismáticas). Para estructuras Tipo 4 los efectos de viento se valuarán con un procedimiento de análisis que tome en cuenta las características de la turbulencia y sus efectos dinámicos, pero en ningún caso serán menores que los especificados por el Tipo 1. Los problemas de inestabilidad aeroelástica ameritarán estudios especiales que deberán ser aprobados por la Administración.

### **Determinación de la velocidad de diseño, $V_D$**

Para el cálculo de la velocidad de diseño las normas NTC y CFE, presentan la misma ecuación para su desarrollo:

$$V_D = F_{TR} F_{\alpha} V_R \quad (3.1)$$

donde

$F_{TR}$  factor correctivo que toma en cuenta las condiciones locales relativas a la topografía y a la rugosidad del terreno en los alrededores del sitio de desplante;

$F_{\alpha}$  factor que toma en cuenta la variación de la velocidad con la altura; y

$V_R$  velocidad regional según la zona que le corresponde al sitio en donde se construirá la estructura.

*Figura 1.12 Velocidad de diseño, manual NTC*

Para cada una de las normas existen diferentes ecuaciones y consideraciones en el cálculo de la velocidad de diseño. Por esta razón estudiaremos las formas de calcular de cada uno (CFE y NTC)

### **Factor de topografía local FT o FTR**

Este factor toma en cuenta el efecto topográfico local del sitio en donde se desplantara la estructura.

Tabla 1.4 Factor de topografía local  $F_T$ , manual CFE

| Sitios     | Topografía   | $F_T$ |
|------------|--|-------|
| Protegidos | Base de promontorios y faldas de serranías del lado de sotavento.  | 0.8   |
|            | Valles cerrados.   | 0.9   |
| Normales   | Terreno prácticamente plano, campo abierto, ausencia de cambios topográficos importantes, con pendientes menores que 5% .                          | 1.0   |
| Expuestos  | Terrenos inclinados con pendientes entre 5 y 10%, valles abiertos y litorales planos.  | 1.1   |
|            | Cimas de promontorios, colinas o montañas, terrenos con pendientes mayores que 10%, cañadas cerradas y valles que formen un embudo o cañón, islas. | 1.2   |

Tabla 1.5 Factor correctivo por topografía  $F_{TR}$ , manual NTC

| Tipos de topografía (fig. 3.2)   | Rugosidad de terrenos en alrededores |                 |                 |
|--|--------------------------------------|-----------------|-----------------|
|  | Terreno tipo R2                      | Terreno tipo R3 | Terreno tipo R4 |
| T1 Base protegida de promontorios y faldas de serranías del lado de sotavento  | 0.80                                 | 0.70            | 0.66            |
| T2 Valles cerrados   | 0.90                                 | 0.79            | 0.74            |
| T3 Terreno prácticamente plano, campo abierto, ausencia de cambios topográficos importantes, con pendientes menores de 5% (normal) | 1.00                                 | 0.88            | 0.82            |
| T4 Terrenos inclinados con pendientes entre 5 y 10%  | 1.10                                 | 0.97            | 0.90            |

### Factor de exposición, $F_\alpha$

Este factor refleja la variación de la velocidad del viento con respecto a la altura, así mismo considera el tamaño de la construcción o de los elementos de recubrimientos y características de exposición. Para la CFE este factor es resultado de un cálculo que tiene en cuenta el tamaño de la construcción y la variación de la velocidad con la altura (figura 1.13)

$$F_\alpha = F_c F_{rz}$$

en donde:

$F_c$  es el factor que determina la influencia del tamaño de la construcción, adimensional, y

$F_{rz}$  el factor que establece la variación de la velocidad del viento con la altura Z en función de la rugosidad del terreno de los alrededores, adimensional.

Figura 1.13 Factor de exposición, manual CFE

Los coeficientes  $F_c$  factor de tamaño, es el que toma en cuenta el tiempo en el que la ráfaga del viento actúa de manera efectiva sobre la construcción de dimensiones dadas. Considerando la clasificación de las estructuras según su tamaño (tabla 1.6). El factor de rugosidad y alturas  $F_{rz}$ ,

establece la variación de la velocidad del viento con la altura Z, dicha variación está en función de la categoría del terreno y del tamaño de la construcción (figura 1.14).

Tabla 1.6 Factor de tamaño, manual CFE

| Clase de estructura | F <sub>c</sub> |
|---------------------|----------------|
| A                   | 1.0            |
| B                   | 0.95           |
| C                   | 0.90           |

$$F_{rz} = 1.56 \left[ \frac{10}{\delta} \right]^{\alpha} \quad \text{si } Z \leq 10$$

$$F_{rz} = 1.56 \left[ \frac{Z}{\delta} \right]^{\alpha} \quad \text{si } 10 < Z < \delta$$

$$F_{rz} = 1.56 \quad \text{si } Z \geq \delta$$

en donde:

- δ es la altura, medida a partir del nivel del terreno de desplante, por encima de la cual la variación de la velocidad del viento no es importante y se puede suponer constante; a esta altura se le conoce como altura gradiente; δ y Z están dadas en metros, y
- α el exponente que determina la forma de la variación de la velocidad del viento con la altura y es adimensional.

Figura 1.14 Factor de tamaño, manual CFE

Los coeficientes α y δ están en función de la rugosidad del terreno (tabla 1.1) y del tamaño de la construcción (tabla 1.2). En la tabla 1.7 se consignan los valores que se aconsejan para estos coeficientes.

Tabla 1.7 Valores de δ y α, manual CFE

| Categoría de terreno | α                   |       |       | δ (m) |
|----------------------|---------------------|-------|-------|-------|
|                      | Clase de estructura |       |       |       |
|                      | A                   | B     | C     |       |
| 1                    | 0.099               | 0.101 | 0.105 | 245   |
| 2                    | 0.128               | 0.131 | 0.138 | 315   |
| 3                    | 0.156               | 0.160 | 0.171 | 390   |
| 4                    | 0.170               | 0.177 | 0.193 | 455   |

Para el caso de las normas NTC, las ecuaciones y tablas que se utilizan para la determinación de VD, vienen especificadas según la zonificación eólica, tipo de topografía y zonas (diferentes delegaciones) del distrito federal (figuras 1.15, 1.16 y tabla 1.10).

Tabla 1.8 Categoría del terreno según su rugosidad, manual CFE

| Cat. | Descripción  | Ejemplos   | Limitaciones   |
|------|--|--|--|
| 1    | Terreno abierto, prácticamente plano y sin obstrucciones                     | Franjas costeras planas, zonas de pantanos, campos aéreos, pastizales y tierras de cultivo sin setos o bardas alrededor. Superficies nevadas planas.                                       | La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 2000 m o 10 veces la altura de la construcción por diseñar, la que sea mayor.  |
| 2    | Terreno plano u ondulado con pocas obstrucciones                             | Campos de cultivo o granjas con pocas obstrucciones tales como setos o bardas alrededor, árboles y construcciones dispersas.   | Las obstrucciones tienen alturas de 1.5 a 10 m, en una longitud mínima de 1500 m.  |
| 3    | Terreno cubierto por numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas        | Áreas urbanas, suburbanas y de bosques, o cualquier terreno con numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas. El tamaño de las construcciones corresponde al de las casas y viviendas. | Las obstrucciones presentan alturas de 3 a 5 m. La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 500 m o 10 veces la altura de la construcción, la que sea mayor.   |
| 4    | Terreno con numerosas obstrucciones largas, altas y estrechamente espaciadas | Centros de grandes ciudades y complejos industriales bien desarrollados.   | Por lo menos el 50% de los edificios tiene una altura mayor que 20 m. Las obstrucciones miden de 10 a 30 m de altura. La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser la mayor entre 400 m y 10 veces la altura de la construcción. |

Tabla 1.9 Clase de estructura según su tamaño, manual CFE

| Clase | Descripción  |
|-------|--|
| A     | Todo elemento de recubrimiento de fachadas, de ventanerías y de techumbres y sus respectivos sujetadores. Todo elemento estructural aislado, expuesto directamente a la acción del viento. Asimismo, todas las construcciones cuya mayor dimensión, ya sea horizontal o vertical, sea menor que 20 metros. |
| B     | Todas las construcciones cuya mayor dimensión, ya sea horizontal o vertical, varíe entre 20 y 50 metros.   |
| C     | Todas las construcciones cuya mayor dimensión, ya sea horizontal o vertical, sea mayor que 50 metros.  |

$$\begin{aligned}
 F_{\alpha} &= 1.0; & \text{si } z \leq 10 \text{ m} \\
 F_{\alpha} &= (z/10)^{\alpha}; & \text{si } 10 \text{ m} < z < \delta \\
 F_{\alpha} &= (\delta/10)^{\alpha}; & \text{si } z \geq \delta
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

donde

$\delta$  altura gradiente, medida a partir del nivel del terreno de desplante, por encima de la cual la variación de la velocidad del viento no es importante y se puede suponer constante;  $\delta$  y  $z$  están dadas en metros; y

$\alpha$  exponente que determina la forma de la variación de la velocidad del viento con la altura.

Figura 1.15. Factor de variación con la altura  $F_{\alpha}$ , manual NTC

Tabla 1.10 Factor FTR (factor de topografía y rugosidad), manual NTC

| Tipos de topografía (fig. 3.2)  | Rugosidad de terrenos en alrededores |                 |                 |
|---|--------------------------------------|-----------------|-----------------|
|   | Terreno tipo R2                      | Terreno tipo R3 | Terreno tipo R4 |
| T1 Base protegida de promontorios y faldas de serranías del lado de sotavento   | 0.80                                 | 0.70            | 0.66            |
| T2 Valles cerrados  | 0.90                                 | 0.79            | 0.74            |
| T3 Terreno prácticamente plano, campo abierto, ausencia de cambios topográficos importantes, con pendientes menores de 5 % (normal) | 1.00                                 | 0.88            | 0.82            |
| T4 Terrenos inclinados con pendientes entre 5 y 10 %  | 1.10                                 | 0.97            | 0.90            |
| T5 Cimas de promontorios, colinas o montañas, terrenos con pendientes mayores de 10 %, cañadas o valles cerrados                    | 1.20                                 | 1.06            | 0.98            |

edificaciones que se encuentran en un radio de 500 m alrededor de la estructura en estudio tiene altura superior a 20 m

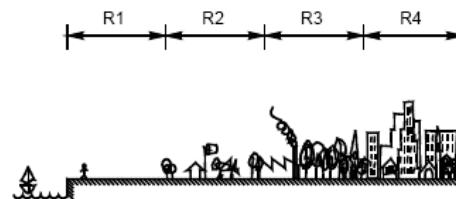


Figura 1.16 Rugosidad del terreno, manual NTC

El terreno R1, según se define en la tabla 1.9 se tomara en todos los casos como 1.

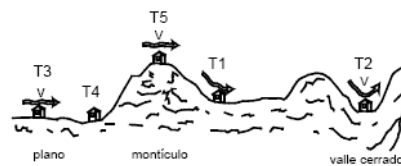


Figura 1.17 Formas topográficas locales

### Velocidad Regional, VR

Para las CFE, este factor es calculado con la ayuda de los mapas de isotacas (figura 1.18) que es la máxima velocidad media probable que se puede presentar con un cierto periodo de ocurrencia en una zona o región determinada del país. Estos mapas incluyen varios periodos de retorno, dichas velocidades se refieren a condiciones homogéneas correspondientes a 10 m sobre la superficie del suelo en terreno plano según las categorías de la tabla 3, no se consideran las características de rugosidad locales del terreno ni la topografía específica del sitio. Dicha velocidad

se asocia con ráfagas de 3 segundos y toma en cuenta la posibilidad de que se presenten vientos debidos a huracanes en las zonas costeras.

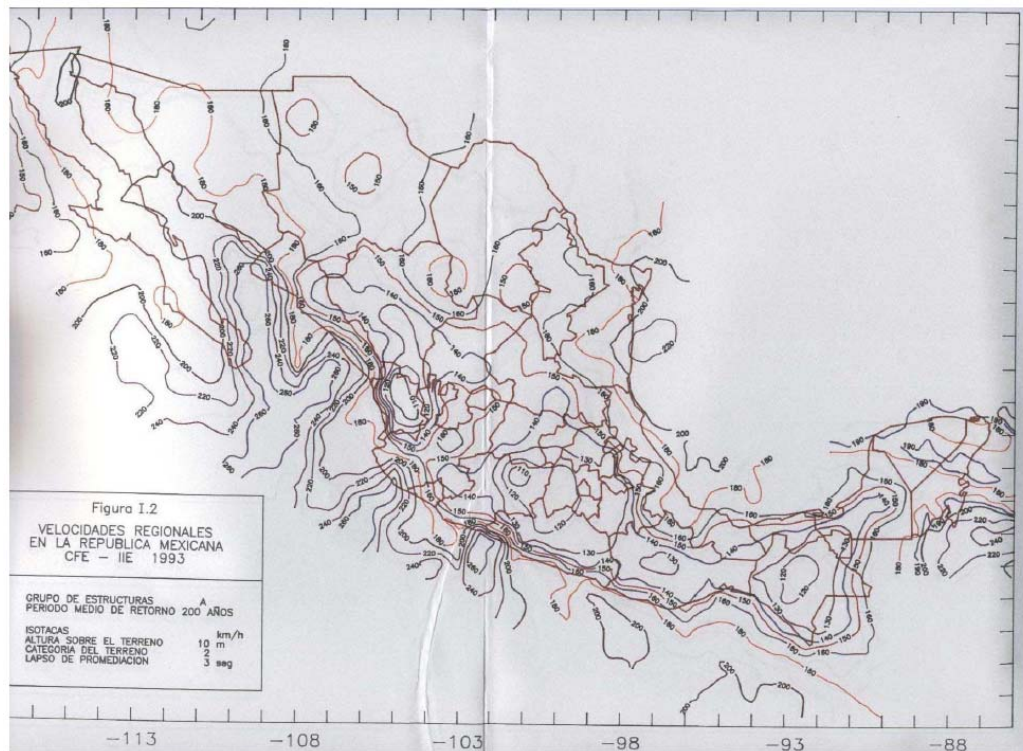


Figura 1.18 Mapas de isotacas para estructuras tipo A y con tiempo de retorno de 200 años, manual CFE

Para las NTC la velocidad regional depende de la importancia de construcción y zonificación eólica del distrito federal.

Tabla 1.11 Velocidad  $V_R$ , manual NTC

| Periodo de retorno, años  | Importancia de la construcción |    |          |
|---|--------------------------------|----|----------|
|   | A                              | B  | Temporal |
| 200   | 50                             | 36 | 10       |
| Zona I: Delegaciones de Alvaro Obregón, Azcapotzalco, Benito Juárez, Coyoacán, Cuauhtémoc, G.A. Madero, Iztacalco, Iztapalapa, Miguel Hidalgo y Venustiano Carranza | 39                             | 36 | 31       |
| Zona II: Delegaciones de Magdalena Contreras, Cuajimalpa, Milpa Alta, Tlalban v Xochimilco  | 35                             | 32 | 28       |

### Determinación de la $P_z$ y $q_z$

Esta presión que es generada cuando el viento actúa sobre un obstáculo, genera presiones sobre su superficie que varían según la intensidad de la velocidad y la dirección del viento. Esta presión



en el caso de la CFE viene relacionada con un factor de corrección por temperatura y por altura con respecto al nivel del mar (figura 1.19), caso contrario a las NTC que solo se relacionan con un coeficiente CP dependiente del tipo de estructura (edificios y construcciones con arco, paredes aisladas y anuncios, estructuras reticulares, chimeneas, silos y similares o antenas y torres con celosía) y la velocidad de diseño (figura 1.20).

$$q_z = 0.0048 G v_D^2$$

en donde:

- G es el factor de corrección por temperatura y por altura con respecto al nivel del mar, adimensional,
- $v_D$  la velocidad de diseño, en km/h, definida en el inciso 4.6, y
- $q_z$  la presión dinámica de base a una altura Z sobre el nivel del terreno, en  $kg/m^2$ .

El factor de 0.0048 corresponde a un medio de la densidad del aire y el valor de G se obtiene de la expresión:

$$G = \frac{0.392 \Omega}{273 + \tau}$$

en donde:

- $\Omega$  es la presión barométrica, en mm de Hg, y
- $\tau$  la temperatura ambiental en °C.

Figura 1.19 Ecuación cálculo de la presión dinámica de base, manual CFE

Tabla 1.12 Relación entre altitud y presión barométrica, manual CFE

| Altitud (msnm) | Presión barométrica (mm de Hg) |
|----------------|--------------------------------|
| 0              | 760                            |
| 500            | 720                            |
| 1000           | 675                            |
| 1500           | 635                            |
| 2000           | 600                            |
| 2500           | 565                            |
| 3000           | 530                            |
| 3500           | 495                            |

Luego de determinar la presión dinámica de base  $q_z$ , se hace el cálculo de la presión actuante  $P_z$  (figura 9).

$$P_z = C_p q_z$$

Donde los valores de  $C_p$  vienen especificados en tablas según su forma estructural.

El cálculo de presiones para las NTC como se vienen diciendo es mas especificado y mas practico, tiene en cuenta los factores, excepto la corrección por temperatura y altura.

$$p_z = 0.47 C_p V_D^2 \quad (3.3)$$

$$( p_z = 0.048 C_p V_D^2 )$$

donde

$C_p$  coeficiente local de presión, que depende de la forma de la estructura; y

$V_D$  velocidad de diseño a la altura  $z$ , definida en la sección 3.1.

*Figura 1.20 Ecuación cálculo de la presión de diseño, manual NTC*

De esta manera se puede observar que las dos normas NTC y CFE, son similares. Lo único que puede diferir es que el reglamento de la CFE es mucho mas explicito ya que presenta todos los factores que integran las ecuaciones y para las NTC es mas resumido y ya presenta los valores especificos para cada caso.

## CASOS DE ESTUDIO Y EJEMPLOS DE DISEÑO

## 2.1 Islas Marías

## 2.1.1 Descripción general

Las Islas Marías son un archipiélago de cuatro islas localizadas en el Océano Pacífico a 112 km de las costas del estado de Nayarit, del cual forma parte. La mayor de las islas, *Isla Madre* con 126.4 km<sup>2</sup> tiene una altura máxima de 616 metros sobre el nivel del mar, y alberga a la Colonia Penal Federal Islas Marías. Las otras 3 islas son *María Magdalena* con 86.6 km<sup>2</sup>, *María Cleofás* con 27.3 km<sup>2</sup> y *San Juanito* con 12.3 km<sup>2</sup>, la más pequeña e ignorada, la superficie total de las islas es de 252.6 km<sup>2</sup>.

El 12 de mayo de 1905 por decreto emitido por el presidente de México Porfirio Díaz, fue destinada la *Isla Madre* a servir como colonia penitenciaria. En la actualidad la Colonia Penal federal Islas Marías, es una prisión de bajo perfil o de baja seguridad, que puede albergar no más de 3000 reos o colonos, los colonos viven con sus familias en casas provistas por la administración local. Los reos/colonos prisioneros deben trabajar en las granjas agrícolas o ganaderas o donde sea necesario. Es una cárcel sin rejas, existen en la colonia penitenciaria todos los servicios, desde escuelas para los hijos de los reos/colonos hasta cine, biblioteca, coliseo, bodega, comedor, centro de salud, iglesia, fuente de sodas o lugar para consumir aguas gaseosas y cancha deportiva (fútbol, baloncesto, pelota vasca). Existen caminos de terracería que bordean y atraviesan la isla. En la zona principal, la isla cuenta con talleres, telefonía, correo, escuelas y servicio médico. Para la entrada y salida de personas a la isla se dispone de una pista de aterrizaje y de un muelle, que es utilizado también para el suministro de alimentos y materia prima necesaria para las actividades de los internos. Suelen desarrollarse algunas actividades comerciales a partir de la pesca y de la elaboración de artesanías. La Isla María Madre está organizada en campamentos, los cuales se distribuyen en todo el territorio así: Puerto Balleto, Rehilete, Nayarit, Bugambillas (CICA), Camarón, Morelos, Papelillo y Laguna del Toro como se muestra en la figura 2.1.

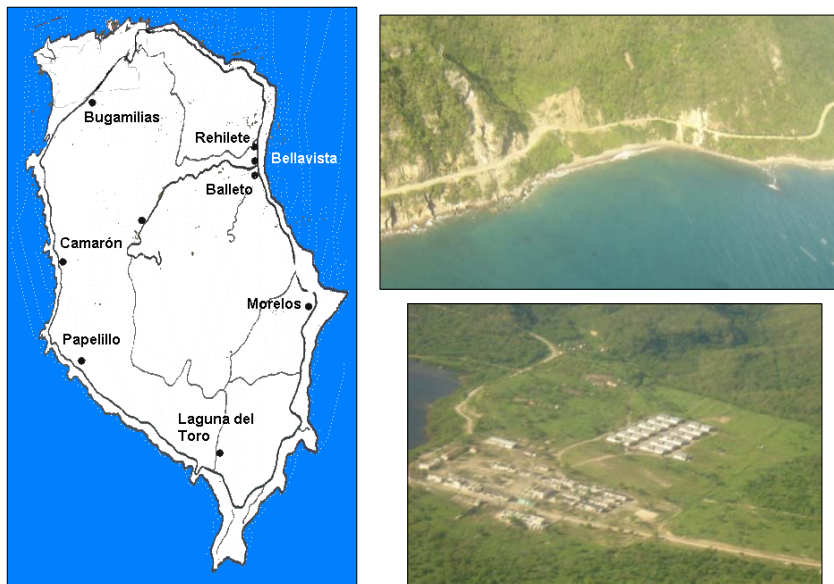


Figura 2.1 Distribución de los campamentos principales y vías de acceso a los campamentos.

Estos campamentos cuentan con viviendas para el albergue de los reos/colonos y cada vivienda cuenta con los servicios básicos necesarios: energía y agua potable. Se distinguen dos tipos comunes de unidades habitacionales, diferenciadas por tamaño y ocupación; las más pequeñas son asignadas a los internos solteros y las más grandes para los internos que conviven con sus familias.

### 2.1.2 Huracán Lane

La mañana del 5 de septiembre del 2006, se formó la depresión tropical No. 14-E de la temporada de ciclones en el Océano Pacífico Nororiental; se inició aproximadamente a 345 km al Sur-Suroeste de Manzanillo, Col. con vientos máximos sostenidos de 55 km/h, rachas de 75 km/h y presión mínima de 1005 hPa. Por la tarde, cuando se encontraba a 450 km al Suroeste de Manzanillo, el sistema se incrementó a la tormenta tropical Lane, la cual presentó vientos máximos de 65 km/h con rachas de 85 km/h. Durante la mayor parte del día 6, Lane presentó vientos máximos de 90 km/h con rachas de 110 km/h, mientras alternaba momentos de desplazamiento lento con otros en que se mantenía casi estacionaria. El día 7 por la noche, a una distancia aproximada de 520 km al Sureste de Isla Socorro, Col., la tormenta tropical Lane se degradó a depresión tropical con vientos máximos de 55 km/h y rachas de 75 km/h. En la madrugada del día 8, cuando se encontraba casi estacionario a 450 km al Sureste de Isla Socorro y a 585 km al Suroeste de Manzanillo, la depresión tropical Lane se desarrolló nuevamente a tormenta tropical, presentando vientos máximos sostenidos de 65 km/h con rachas de 85 km/h y al final del día se intensificó a huracán con vientos máximos sostenidos de 120 km/h y rachas de 150 km/h. Durante el día 9, el huracán Lane siguió aumentando su fuerza, por lo que al final del día alcanzó la categoría II de la escala Saffir-Simpson cuando se encontraba a 390 km al Suroeste de Cabo San Lucas, BCS, con vientos máximos sostenidos de 160 km/h y rachas de 195 km/h. El día 10 por la tarde, cuando se encontraba a 490 km al Suroeste de Puerto Cortés, BCS., el huracán Lane disminuyó ligeramente su fuerza, por lo que llegó a la categoría I de la escala Saffir-Simpson. Lane siguió perdiendo fuerza por lo que el día 11 por la tarde, a una distancia aproximada de 680 km al Suroeste de Punta Eugenia, BCS, se debilitó a tormenta tropical con vientos máximos sostenidos de 110 km/h y rachas de 140 km/h. Durante el día 12, Lane se mantuvo como tormenta tropical mientras se desplazaba hacia el Noroeste disminuyendo su fuerza. Al final del día presentó vientos máximos de 75 km/h con rachas de 90 km/h. Por la mañana del día 13, cuando su centro se encontraba a 470 km al Oeste de Isla Guadalupe, la tormenta tropical Lane se degradó a depresión tropical, presentando vientos máximos de 55 km/h con rachas de 75 km/h. Finalmente, en las últimas horas de este día, la depresión tropical Lane se desplazaba hacia el Nor-Noreste con vientos máximos de 45 km/h con rachas de 65 km/h a una distancia aproximada de 460 km al Oeste de Tijuana, BC., ya en plena etapa de disipación.

En su etapa inicial, Lane describió un rizo en sentido contrario a las manecillas del reloj y después adoptó una trayectoria más regular en forma paralela a las costas nacionales. El mayor acercamiento de este ciclón a las costas nacionales fue durante su formación, no obstante, durante la mayor parte de su trayectoria estuvo afectando con entrada de humedad, viento y oleaje fuerte a los estados costeros del Pacífico, causando la caída de algunas construcciones por socavamiento en Manzanillo, Col. y en Barra de Navidad, Jal. Lane tuvo una duración de 204 horas, tiempo en el que recorrió una distancia aproximada de 3,770 km, a una velocidad promedio de 18 km/h. El Servicio Meteorológico Nacional mantuvo la vigilancia del huracán Lane mediante la emisión de 17 avisos de alerta, 26 boletines de alerta preventiva y 19 boletines de vigilancia permanente.

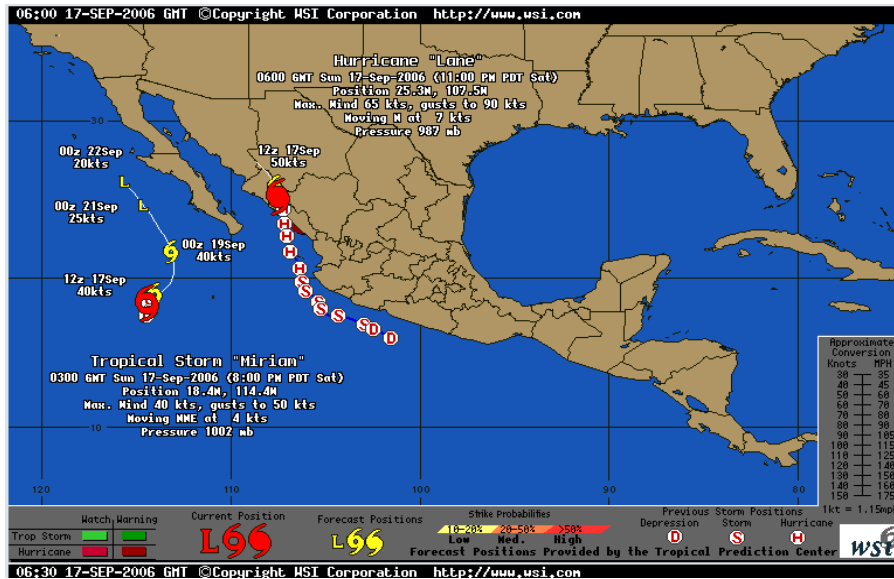


Figura 2.2 Trayectoria Huracán Lane (<http://www.usi.com>).

### Velocidades del Lane en la Isla María Madre

La figura 2.3 presenta la ubicación de la coordenada correspondiente a un punto cercano al mar en el poblado principal de la Isla María Madre. Tabla 2.1 contiene el registro calculado de la velocidad de viento del huracán Lane. Para la realización del análisis de velocidades se utilizó un programa basado en el artículo Reinoso et al. 2006, donde se describe un modelo de viento para obtener las máximas velocidades para la República Mexicana. Este programa como más adelante se detallara no considera las condiciones locales del terreno.



Figura 2.3 Ubicación coordenada del punto de cálculo de la velocidad del huracán Lane

Tabla 2.1 Cálculo de Registro de Velocidad de Viento para el huracán Lane

| FECHA            | VELOCIDAD (km/h) | FECHA            | VELOCIDAD (km/h) |
|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 13/09/2006 14:00 | 0                | 15/09/2006 11:00 | 42               |
| 13/09/2006 15:00 | 0                | 15/09/2006 12:00 | 49               |
| 13/09/2006 16:00 | 0                | 15/09/2006 13:00 | 57               |
| 13/09/2006 17:00 | 0                | 15/09/2006 14:00 | 67               |
| 13/09/2006 18:00 | 0                | 15/09/2006 15:00 | 79               |
| 13/09/2006 19:00 | 0                | 15/09/2006 16:00 | 92               |
| 13/09/2006 20:00 | 0                | 15/09/2006 17:00 | 108              |
| 13/09/2006 21:00 | 0                | 15/09/2006 18:00 | 120              |
| 13/09/2006 22:00 | 0                | 15/09/2006 19:00 | 0                |
| 13/09/2006 23:00 | 0                | 15/09/2006 20:00 | 0                |
| 14/09/2006       | 0                | 15/09/2006 21:00 | 0                |
| 14/09/2006 01:00 | 0                | 15/09/2006 22:00 | 0                |
| 14/09/2006 02:00 | 0                | 15/09/2006 23:00 | 0                |
| 14/09/2006 03:00 | 0                | 16/09/2006       | 138              |
| 14/09/2006 04:00 | 0                | 16/09/2006 01:00 | 126              |
| 14/09/2006 05:00 | 0                | 16/09/2006 02:00 | 114              |
| 14/09/2006 06:00 | 0                | 16/09/2006 03:00 | 103              |
| 14/09/2006 07:00 | 2                | 16/09/2006 04:00 | 92               |
| 14/09/2006 08:00 | 2                | 16/09/2006 05:00 | 82               |
| 14/09/2006 09:00 | 3                | 16/09/2006 06:00 | 73               |
| 14/09/2006 10:00 | 3                | 16/09/2006 07:00 | 65               |
| 14/09/2006 11:00 | 3                | 16/09/2006 08:00 | 57               |
| 14/09/2006 12:00 | 4                | 16/09/2006 09:00 | 50               |
| 14/09/2006 13:00 | 4                | 16/09/2006 10:00 | 44               |
| 14/09/2006 14:00 | 4                | 16/09/2006 11:00 | 39               |
| 14/09/2006 15:00 | 4                | 16/09/2006 12:00 | 34               |
| 14/09/2006 16:00 | 5                | 16/09/2006 13:00 | 30               |
| 14/09/2006 17:00 | 5                | 16/09/2006 14:00 | 27               |
| 14/09/2006 18:00 | 5                | 16/09/2006 15:00 | 24               |
| 14/09/2006 19:00 | 6                | 16/09/2006 16:00 | 21               |
| 14/09/2006 20:00 | 6                | 16/09/2006 17:00 | 18               |
| 14/09/2006 21:00 | 7                | 16/09/2006 18:00 | 16               |
| 14/09/2006 22:00 | 8                | 16/09/2006 19:00 | 13               |
| 14/09/2006 23:00 | 9                | 16/09/2006 20:00 | 12               |
| 15/09/2006       | 10               | 16/09/2006 21:00 | 10               |
| 15/09/2006 01:00 | 11               | 16/09/2006 22:00 | 9                |
| 15/09/2006 02:00 | 12               | 16/09/2006 23:00 | 8                |
| 15/09/2006 03:00 | 14               | 17/09/2006       | 6                |
| 15/09/2006 04:00 | 16               | 17/09/2006 01:00 | 5                |
| 15/09/2006 05:00 | 18               | 17/09/2006 02:00 | 4                |
| 15/09/2006 06:00 | 21               | 17/09/2006 03:00 | 3                |
| 15/09/2006 07:00 | 24               | 17/09/2006 04:00 | 3                |
| 15/09/2006 08:00 | 27               | 17/09/2006 05:00 | 2                |
| 15/09/2006 09:00 | 32               | 17/09/2006 06:00 | 2                |
| 15/09/2006 10:00 | 37               | 17/09/2006 07:00 | 1                |

### 2.1.3 Fotos antes y después de Lane

Las siguientes fotos del antes del huracán Lane fueron tomadas durante una visita a las instalaciones del penal en octubre del 2004.





(a) Antes (octubre del 2004)



(b) Después (septiembre del 2006)

Figura 2.4 Parte posterior de la sala audiovisual



(a) Antes (octubre del 2004)



(b) Después (septiembre del 2006)

Figura 2.5 Muelle



(a) Antes (octubre del 2004)



(b) Después (septiembre del 2006)

Figura 2.6 Biblioteca



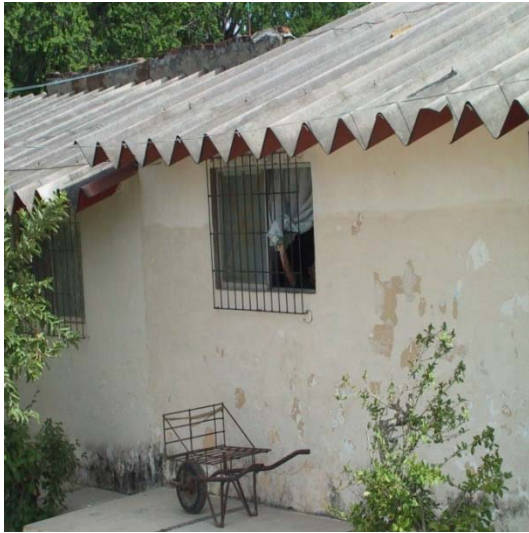
(a) Antes (octubre del 2004)



(b) Después (septiembre del 2006)

Figura 2.7 Habitaciones





(a) Antes (octubre del 2004)



(b) Después (septiembre del 2006)

Figura 2.8 Habitaciones



(a) Antes (octubre del 2004)



(b) Después (septiembre del 2006)

Figura 2.9 Muro rompeolas

#### 2.1.4 Reporte de daños observados

En general los daños ocasionados por el huracán Lane fueron no estructurales. Las cubiertas de todos los tipos de edificaciones (viviendas, bodegas, oficinas, coliseo, escuelas, iglesias) fueron desprendidas parcial o totalmente (figura 2.10). Los tinacos fueron derribados de los techos de las casas. La cristalería y cancelería se vieron muy afectadas por efecto de las corrientes de viento y por los objetos que impactaban contra ellas (rocas, tejas y ramas de árboles – figura 2.11). Las antenas de las escuelas, las del centro meteorológico y las de la central telefónica también presentaron daños parciales o totales, al igual que algunos módulos destinados al aprovechamiento de la energía solar (aunque en el momento del huracán se encontraban en desuso).



Figura 2.10 Desprendimiento de las cubiertas (parcial y total)



Figura 2.11 Ejemplos de cristalería y cancelería afectadas





*Figura 2.12 Tinacos y antenas desprendidos*



*Figura 2.13 Antenas y paneles solares afectados*

La inundación de algunos recintos importantes como lo son: la planta eléctrica y las casetas de bombeo de agua, interrumpieron el suministro de energía y agua potable a lo que se sumó el desplome de postes de energía y líneas telefónicas. Las carreteras de terracería se convirtieron en cauces de agua favoreciendo el transporte masivo de rocas y sedimentos. Algunos árboles arrancados desde la raíz terminaron por ubicarse sobre las vías. La restauración de las vías de comunicación principales tardó aproximadamente un mes.



*Figura 2.14 Vías de acceso afectadas por árboles y por depósitos de roca.*



*Figura 2.15 Líneas de energía y de teléfono afectadas*

La filtración a través de las cubiertas y el ingreso de agua y corrientes de aire a través de las ventanas rotas, generó la pérdida de una cantidad considerable de contenidos (televisores, computadoras, impresoras, libros, etc.)



*Figura 2.16 Contenidos afectados*

En el coliseo y la sala de audiovisuales el agua salada ocasionó el deterioro de los elementos que se encontraban dentro, así como de la duela de madera y los falsos plafones (ver figura 2.17)



*Figura 2.17 Deterioro de la duela de madera del coliseo*



Dentro de los daños que pueden considerarse estructurales se destaca el reporte de dos colapsos de unidades habitacionales, la socavación y consecuente rotación del muro rompe olas que se encuentra frente a la biblioteca (ver figura 2.18), el asentamiento por socavación alrededor de la biblioteca y del gimnasio (ver figura 2.19) y el efecto de punzonamiento de los pilares del muelle sobre la losa.



*Figura 2.18 Muro rompeolas afectado por la socavación*



*Figura 2.19 Asentamiento alrededor de la biblioteca y la sala de audiovisuales (zona aledaña al rompeolas)*



*Figura 2.20 Estado de algunos pilares al final del muelle*

Además de estos daños se observó que el efecto de viento sobre los arboles y palmeras fue considerable (figura 2.21 y 2.22).



*Figura 2.21 Desprendimiento de arboles por acción del viento*





*Figura 2.22 Barrido de arboles y desprendimiento del follaje de los arboles*

La topografía de esta isla, como se observa en la figura 2.23, muestra que la topografía existente en esta parte afectada permite que la acción del flujo del viento no tenga ningún obstáculo y pegue de manera directa contra la infraestructura existente. Además cabe resaltar que la presencia de arboles en los alrededores de las viviendas son de gran peligro ya que con la fuerza del viento estas pueden llegar a formar proyectiles con las ramas y partes de los arboles que se pueden desprender con las fuertes ráfagas.



*Figura 2.23 Vista aérea del campamento principal*

### **2.1.5 Observaciones**

En la zona principal de la isla (Balleto) se encuentran las instalaciones para eventos a la comunidad (salón de audiovisuales, coliseo, biblioteca y centros deportivos) y a partir de los daños



reportados se encontró que estas instalaciones tienen acabados bastante vulnerables, principalmente la cristalería, la cancelería y las cubiertas. Se debería evitar el uso de elementos muy esbeltos y disminuir las alturas de los vidrios que sirven de fachada al menos a la mitad de la altura actual, que para algunas edificaciones llega a ser de 2.40 m (p.e. la biblioteca). La cancelería utilizada para los accesos a los edificios y en las fachadas es muy frágil, por lo que convendría utilizar elementos más resistentes y más rígidos, o asegurarlos mejor a los muros de los que se sujeta.

Las cubiertas se vieron muy afectadas, con desprendimientos parciales o totales en todos los campamentos. Se Sugiere fijar mejor el sistema de cubierta y todos sus elementos (tejas de barro, de asbesto cemento y lámina metálica) a lo largo de los elementos de soporte (muros, viguetas, armaduras, etc.), con el fin de evitar no solo el daño de la edificación a la que pertenezcan, sino también de las edificaciones vecinas; ya que las tejas sueltas fueron la causa principal de los daños en cristalería.

Con relación al muro rompeolas es importante hacer una reparación a tiempo y prevenir la socavación. También se debería hacer un seguimiento al asentamiento que se presentó en los alrededores de la biblioteca, la sala de audiovisuales y el coliseo con el fin de tomar medidas preventivas.

En el muelle convendría disminuir las maniobras de camiones hacia la parte final del mismo (ver figura 2.24), ya que las condiciones en esta zona no son muy favorables. Nótese que algunos pilares de soporte están ejerciendo un efecto de punzonamiento sobre la losa, por lo cual sería conveniente hacer un estudio minucioso sobre las condiciones de unión actuales entre los pilares y la losa. En la figura 2.19 se aprecia que en algunas uniones pilar-losa se ha perdido continuidad en el concreto y los aceros están expuestos. Estas condiciones se observaron hacia el final de la estructura, donde desembarcan los buques; en la primera parte y en la zona intermedia la estructura se encuentra en buen estado.

Es importante comentar que pese a que las velocidades máximas de viento según el cálculo, no fueron mayores a 138 km/h, los daños observados en esta parte de la isla demostraron la proximidad de esta a la costa, el estado en que se encontraban y la manera en que algunas estructuras fueron diseñadas no fueron las optimas para soportar las fuerzas del viento. También cabe destacar que como se menciona anteriormente la topografía también tomo un papel importante.

Como se menciona en el capítulo uno, en este caso la vulnerabilidad de las construcciones de este penal, se vieron reflejadas en la ubicación (topografía de la zona) por su proximidad con la línea de la costa, el tipo estructural, materiales de construcción (estructuras débiles ya que contaban con elementos muy frágiles como vigas de madera y amarres con alambρόn) y los objetos que eran arrastrados por el viento. Se recomienda seguir las normas técnicas complementarias en su capítulo de diseño por viento.



Figura 2.24 Vista aérea de la zona del muelle y campamento Balleto.

## 2.2 Quintana Roo

### 2.2.1 Descripción general

Quintana Roo es uno de los 31 estados que junto con el Distrito Federal conforman las 32 entidades federativas de México. Se ubica al este de la Península de Yucatán, en la frontera con Centroamérica. Colinda con los estados de Yucatán hacia el noroeste y Campeche al oeste; al norte con el Golfo de México; al sur el Río Hondo delimita su frontera con Belice y unas señales de piedra colocadas en su sierra (*Las Mojoneras*) delimitan su frontera con Guatemala. Las playas al oriente de su territorio son bañadas por las aguas del Mar Caribe, es por ello que este estado es conocido en el mundo como El "Caribe Mexicano".

### 2.2.2 Huracán Wilma

La segunda semana de octubre de 2005, una gran y compleja zona de bajas presiones se desarrolló sobre el Atlántico oeste y el este del Caribe con varias zonas de tormenta eléctrica. Esta área de clima perturbado, al suroeste de Jamaica, se fue organizando lentamente hasta convertirse en una depresión tropical al cabo de 24 horas, el 15 de octubre. Para el 17 de octubre ya se consideró como tormenta tropical. El movimiento de la tormenta fue lento por las aguas que fue cobrando fuerza continuamente hasta llegar a la categoría de huracán el 18 de octubre de ese mismo año.

En el periodo del 18 al 19 de octubre Wilma alcanzo los 110 km/h de una tormenta tropical hasta llegar a ser un potente huracán de Categoría 5 con vientos que llegaban a 280 km/h.



Figura 2.25 Trayectoria del huracán Wilma NOAA Coastal Services Center, Historical Hurricane Tracks, <http://maps.csc.noaa.gov/hurricanes/viewer.html?QE=NAME&ATLBASIN=1354, 2008>)

El 21 de octubre Wilma tocó tierra en la península de Yucatán como un poderoso huracán categoría 4, con vientos por encima de 250 Km./h. El ojo del huracán pasó primero sobre la isla de Cozumel antes de tener su primer contacto "oficial" sobre la península cerca de Playa del Carmen, en el estado de Quintana Roo. Algunas partes de Cozumel experimentaron la calma en el ojo de Wilma por varias horas, con cielos azules y algunos momentos soleados. El ojo se movió lentamente hacia el norte, pasando justo al oeste de Cancún, donde se presentaron vientos de huracán por más de 24 horas consecutivas, con un recorrido de 6 km/h lo cual prolongó el tiempo de este huracán dentro de Cancún. Wilma comenzó a acelerar en las primeras horas del 23 de octubre, abandonó la península por su extremo noreste y se internó en el Golfo de México como un huracán categoría 2.

El impacto económico del huracán Wilma fue uno de los mayores en la historia de México. Su reconstrucción significó un corte económico y temporal desmesurado, los sectores más afectados por esta catástrofe fueron el turismo y la agricultura.

### 2.2.3 Análisis de daños a comercios

Los datos que se utilizaron para obtener los porcentajes de daños a contenidos y edificios fueron recopilados por empresas aseguradoras.

### Ubicación de los comercios

La zona de estudio para el análisis de daños a las estructuras de comercios se muestra en la figura 2.26 en la plataforma del ArcMap.



Figura 2.26 localización de cada uno de los comercios, mostrados por su número de clave

### Cálculo de velocidades

Para la realización del análisis de velocidades se utilizó un programa basado en el artículo Reinoso et al. 2006, donde se describe un modelo de viento para obtener las máximas velocidades para la República Mexicana. Este programa depende información como: posición del ojo del huracán, presión central, velocidad máxima del viento sostenida en el ojo del huracán y radio ciclostrofico, conocido también como radio de máximo gradiente (todos estos parámetros pueden ser encontrados en boletines climatológicos), el radio ciclostrofico fue necesario determinarlo mediante la expresión (Silva et al., 2002):

$$R = 0.4785 P_o - 413.01$$

Donde  $R$  es el radio ciclostrofico (Km) y  $P_o$  es la presión central (mb).

El modelo paramétrico de ciclones tropicales empleado en este estudio fue desarrollado por Silva et al (2002), el cual está compuesto por los submodelos de presión y viento.

El modelo de presión está representado por la siguiente relación:

$$P_r = P_0 + (P_N - P_0) e^{-R/r}$$

Donde  $P_0$  es la presión en el centro del huracán,  $P_r$  es la presión a una distancia radial  $r$ ,  $P_N$  es la presión normal (1013 mb) y  $R$  es el radio de máximos vientos ciclostróficos. La presión está dada en milibares y la distancia en Km. Esta expresión es válida para presiones centrales superiores a 888 milibares.

El máximo gradiente de vientos  $U_R$  (Km/h), para un ciclón estacionario puede ser evaluado a través de la siguiente relación:

$$U_R = 21.8 \sqrt{P_N - P_0} - 0.5 f R$$

Donde  $f$  es el parámetro de la fuerza de Coriolis:

$$f = 2\omega \sin \phi$$

Donde  $\omega$  es la velocidad angular de la tierra, la cual es aproximadamente  $\omega \approx 0.2618$  rad/h y  $\phi$  es la latitud.

La velocidad del viento es evaluada a diez metros sobre el nivel del mar, en Km/h, para un ciclón en movimiento y para una distancia  $r$  medida desde el centro del ciclón, está dada por:

$$W = 0.886 (F_v U_R + 0.5 V_F \cos(\theta + \beta))$$

Donde  $W$  es la velocidad del viento sostenida a 10 m sobre el nivel del mar,  $V_F$  es la velocidad de desplazamiento del huracán,  $(\theta + \beta)$  es el ángulo formado por la dirección de desplazamiento del ciclón y un punto a una distancia  $r$ ,  $F_v = U_r / U_R$ , el cual se calcula mediante la calibración del modelo para ser empleado en las costas mexicanas, con la siguiente ecuación:

$$\log_{10}(F_v) = aX + bX^2 + cX^3 + dX^4$$

Donde  $X = \log_{10}(r/R)$ ; los coeficientes  $a$ ,  $b$ ,  $c$  y  $d$  se obtienen de la tabla 1 donde  $Nc$  es el número de Coriolis ciclostrófico, el cual se representa de la siguiente manera:

$$Nc = \frac{fR}{U_R}$$

Tabla 2.2 Parámetros  $a$ ,  $b$ ,  $c$  y  $d$  para el cálculo del número de coriolis ciclostrófico

| $X \leq 0$   | $X > 0$                      |  |
|--------------|------------------------------|--|
|              | $Nc \leq 0.005$              | $Nc > 0.005$                                     |
| $a = -0.233$ | $0.033 - 16.1Nc + 161.9Nc^2$ | $-0.175 - 0.76Nc + 11.7Nc^2 - 28.1Nc^3 + 17Nc^4$ |
| $b = -12.91$ | $-0.43 + 38.9Nc - 316Nc^2$   | $0.235 + 2.71Nc - 67.6Nc^2 + 189Nc^3 - 155Nc^4$  |
| $c = -19.38$ | $0.113 - 28.6Nc + 71.1Nc^2$  | $-0.468 - 9Nc + 87.8Nc^2 - 224Nc^3 + 183Nc^4$    |
| $d = -8.311$ | $1.818Nc + 80.6Nc^2$         | $0.082 + 3.33Nc - 26Nc^2 + 63.8Nc^3 - 51.4Nc^4$  |

El modelo descrito previamente nos permite calcular la velocidad de viento a 10 m sobre la superficie del mar y promediada a 8 minutos (Silva et al, 2006), por lo que es necesario realizar correcciones para estimar la velocidad de viento promediada a 1 minuto, tal como se reporta en los boletines meteorológicos. Para el cálculo de las expresiones (Avelar, 2006) que permiten modificar el intervalo de promediación.

La expresión para el Océano Atlántico que nos permite modificar el intervalo de promediación de la velocidad de viento calculada con el modelo paramétrico, a la velocidad de viento reportada en los boletines meteorológicos es (Avelar, 2006).

$$V_c = 0.0012V_m^2 + 1.1114V_m$$

Donde  $V_c$  es la velocidad máxima de viento en Km/h reportada en el catálogo de huracanes,  $V_m$  es la velocidad máxima de viento calculada con el modelo paramétrico. Para el Pacífico la relación es:

$$V_c = 0.002 V_m^2 + 0.9953 V_m$$

Como se acaba de explicar, los resultados del programa representan velocidades de viento "homogéneas" en campo conocido como "tipo 2: arboles o construcciones dispersas", a 10 m de altura sobre el nivel del terreno, esto es un estándar de diseño, tal como está en el manual de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) o el reglamento del DF. Lo que falta por considerar en este programa son los efectos locales:

$$V = F_T F_\alpha V_V$$

Para esto se debería considerar  $Z=10$  m en ecuación donde se calcula el  $F_{RZ}$ , (10 m) como estándar para comparar velocidades.

$$F_{RZ} = 1.56 \left( \frac{10}{\delta} \right)^\alpha \quad \text{si } Z \leq 10 \text{ m}$$

$$F_{RZ} = 1.56 \left( \frac{Z}{\delta} \right)^\alpha \quad \text{si } 10 < Z < \delta$$

$$F_{RZ} = 1.56 \quad \text{si } Z \geq \delta$$

Se tomarán los factores  $\alpha$  y  $\delta$  de la tabla 2.3, dependiendo del tipo de suelo en que se encuentre la estructura, en el caso de Cancún es Tipo 1 para las construcciones frente al mar, y Tipo 4 para las construcciones en el centro de la ciudad.

Tabla 2.3 Valores  $\alpha$  y  $\delta$  para los tipos de terreno más comunes en México (MDOC-CFE)

| Tipo | Descripción   | $\alpha$ | $\delta$ (m) |
|------|---|----------|--------------|
| 1    | <b>Campo abierto plano</b><br>(terreno abierto, prácticamente plano y sin obstrucciones, tal como franjas costeras planas, zonas de pantanos, campos aéreos, pastizales, tierras de cultivo sin bardas alrededor y superficies nevadas planas)    | 0.099    | 245          |
| 2    | <b>Árboles o construcciones dispersas</b><br>(campos de cultivo o granjas con pocas obstrucciones tales como bardas alrededor, árboles y construcciones dispersas)  | 0.128    | 315          |
| 3    | <b>Arbolado, lomeríos, barrio residencial</b><br>(terreno cubierto por numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas, por ejemplo áreas urbanas, suburbanas y de bosques; el tamaño de las construcciones corresponde al de casas y viviendas) | 0.156    | 390          |
| 4    | <b>Muy accidentada, centro de ciudad</b><br>(terreno con numerosas obstrucciones largas, altas y estrechamente espaciadas como el centro de grandes ciudades y complejos industriales bien desarrollados)   | 0.170    | 455          |

De la tabla 2.4 el tipo de topografía sería plano para la península de Yucatán (FT=1.0).

Estos factores son que faltarían por incluir para poder tomar en cuenta las condiciones locales de exposición en el cálculo de las velocidades.

Para el cálculo de las velocidades por el programa, se utilizan las coordenadas de las direcciones de cada uno de los comercios. Posteriormente se formula una base de datos con las coordenadas geográficas de cada comercio, se indica el huracán del cual se quiere calcular la historia de velocidades en cada punto. Al terminar la evaluación, se obtiene la historia del Huracán Wilma sobre dichas coordenadas a lo largo del tiempo en que estuvo presente dicho fenómeno hidrometeorológico.

Tabla 2.4 Factor de topografía

| Sitio     | Topografía  | F <sub>T</sub> |
|-----------|---|----------------|
| Protegido | Valles cerrados   | 0.80           |
| Plano     | Terreno prácticamente plano, campo abierto, ausencia de cambios topográficos importantes, con pendientes menores que 5% | 1.0            |
| Expuesto  | Cimas de promontorios, colinas o montañas, islas, terrenos con pendientes mayores que 5%                                | 1.2            |

### ***Daños a los contenidos de los inmuebles comerciales***

A partir de la recopilación de información proporcionada por las empresas aseguradoras, se obtuvieron los porcentajes de los daños a edificios y contenidos. En la tabla 2.5 se muestran los porcentajes de daños obtenidos como el cociente de los montos ajustados entre los montos asegurados para cada uno de ellos.



Tabla 2.5 Porcentaje de daño a edificio y velocidad en contenidos de cada comercio

| CLAVE | % EDIFICIOS | VELOCIDAD (km/h) | CLAVE | % EDIFICIOS | VELOCIDAD (km/h) |
|-------|-------------|------------------|-------|-------------|------------------|
| C-1   | 0%          | 194              | C-33  | 76%         | 198              |
| C-2   | 4%          | 198              | C-34  | 0%          | 200              |
| C-3   | 0%          | 198              | C-35  | 53%         | 204              |
| C-4   | 0%          | 199              | C-36  | 96%         | 202              |
| C-5   | 84%         | 200              | C-37  | 0%          | 201              |
| C-6   | 50%         | 198              | C-38  | 0%          | 212              |
| C-7   | 37%         | 198              | C-39  | 53%         | 204              |
| C-8   | 0%          | 202              | C-40  | 37%         | 201              |
| C-9   | 0%          | 204              | C-41  | 9%          | 201              |
| C-10  | 95%         | 213              | C-42  | 3%          | 201              |
| C-11  | 0%          | 202              | C-43  |             | 202              |
| C-12  | 2%          | 198              | C-44  | 0%          | 210              |
| C-13  | 0%          | 202              | C-45  | 0%          | 205              |
| C-14  | 29%         | 198              | C-46  | 0%          | 200              |
| C-15  | 3%          | 199              | C-47  | 0%          | 198              |
| C-16  | 0%          | 203              | C-48  | 0%          | 202              |
| C-17  | 1%          | 202              | C-49  | 0%          | 198              |
| C-18  | 13%         | 200              | C-50  | 0%          | 192              |
| C-19  | 0%          | 206              | C-51  | 0%          | 199              |
| C-20  | 26%         | 199              | C-52  | 0%          | 198              |
| C-21  | 1%          | 199              | C-53  | 0%          | 199              |
| C-22  | 13%         | 199              | C-54  | 0%          | 204              |
| C-23  | 0%          | 199              | C-55  | 0%          | 201              |
| C-24  | 0%          | 199              | C-56  | 100%        | 197              |
| C-25  | 0%          | 202              | C-57  | 8%          | 161              |
| C-26  | 6%          | 198              | C-58  | 4%          | 200              |
| C-27  | 13%         | 199              | C-59  | 0%          | 200              |
| C-28  | 10%         | 199              | C-60  | 3%          | 199              |
| C-29  | 0%          | 200              | C-61  | 14%         | 199              |
| C-30  | 0%          | 207              | C-62  | 15%         | 198              |
| C-31  | 2%          | 199              | C-63  | 0%          | 201              |
| C-32  | 32%         | 201              | C-64  | 0%          | 200              |

La tabla 2.5 muestra las velocidades obtenidas por el programa, se observa que la velocidad máxima alcanzada es la correspondiente a la clave C-10 con un valor de 213 Km/h, y la mínima para la clave C-57 con una velocidad de 161 Km/h.

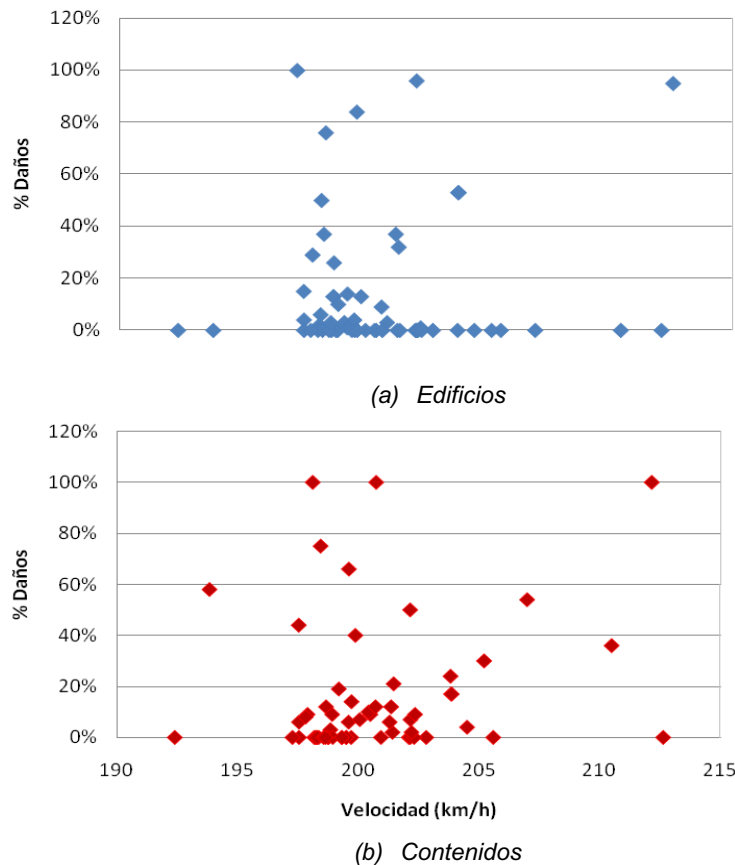


Figura 2.27 Relación de los daños a edificios (a) y a contenidos (b) con la velocidad máxima del viento

Como se observa en la relación de daños para edificios (figura 2.27a) existen velocidades de 192 a 213 km/h que no representan pérdidas. Las mayores pérdidas se encuentran en el rango de 198 a 204 km/h. La variación en los porcentajes de daño se debe a diferencias en los materiales de construcción, elementos de recubrimiento y características estructurales particulares que presentan los comercios analizados. En el caso de los daños en contenidos (figura 2.27b) se observa el mismo rango de velocidades que para los edificios (entre 192 y 213 Km/h). En el caso de contenidos se observa que el porcentaje de pérdidas posee un rango mayor de velocidades entre 194 y 212 km/h y una mayor disparidad en los datos.

#### 2.2.4 Análisis de daños a gasolineras

Al igual que para comercios los datos que fueron proporcionados por empresas aseguradoras y los valores de velocidades se obtuvieron del programa basado en el artículo Reinoso et al. 2006.

##### **Ubicación de las gasolineras**

La figura 2.28 muestra la ubicación de las gasolineras dentro de Cancún, en la plataforma del ArcMap.

Cada gasolinera se componen de un minisuper, baños, espectaculares y la zona de carga de combustible Algunas veces también cuenta con oficinas y bodegas,

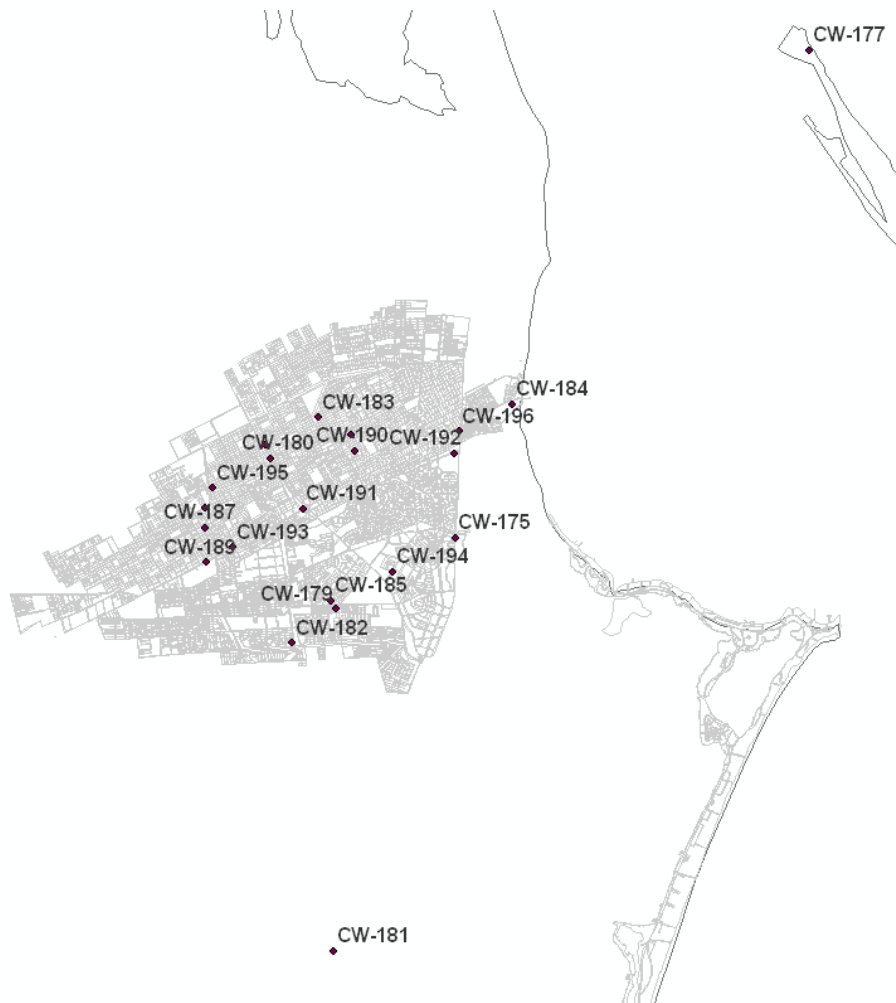


Figura 2.28 localización de cada uno de las gasolineras, mostrados por su número de clave

### ***Daños al minisuper***

En la tabla 2.6 se muestran los porcentajes de daños a vidrios, anuncio, muros y pintura de cada minisuper. Los porcentajes de daños resultaron como el cociente de los montos ajustados y los montos asegurados para cada uno de ellos. Se observo que tanto para las velocidades altas (210, 218 y 223 km/h) como para el resto de velocidades (mayores a 200 km/h), las perdidas mas considerables se vieron reflejadas en vidrios, y pintura.

Como se observa en la figura 2.29, se realizo una escala de daño, basada en los daños observados en las fotos proporcionadas por las aseguradoras. La ruptura de vidrios para cada minisuper de las gasolineras en general fue alta ya que en su mayoría correspondían a más de un 40% del área total, además que todas sin excepción presentaron daños en los vidrios. Para

anuncio, pintura y muros el daño fue medio en su mayoría. Esto represento que la mayoría de los minisuper tuvieron que cerrarse durante las reparaciones, quedando por algunos días fuera de servicio.

Tabla 2.6 Porcentaje de daños y velocidad en contenidos de cada minisuper

| GASOLINERA | DAÑOS AL MINISUPER (%) |         |       |         | VELOCIDAD (km/h) |
|------------|------------------------|---------|-------|---------|------------------|
|            | VIDRIOS                | ANUNCIO | MUROS | PINTURA |                  |
| 1G         | 100                    | 0       | 71    | 85      | 193              |
| 3G         | 100                    | 79      | 71    | 85      | 200              |
| 4G         | 100                    | 79      | 71    | 85      | 200              |
| 5G         | 100                    | 79      | 0     | 0       | 201              |
| 6G         | 100                    | 79      | 71    | 85      | 202              |
| 8G         | 100                    | 79      | 0     | 85      | 202              |
| 9G         | 100                    | 0       | 71    | 0       | 202              |
| 10G        | 100                    | 79      | 0     | 85      | 203              |
| 17G        | 100                    | 0       | 0     | 0       | 204              |
| 18G        | 100                    | 79      | 71    | 85      | 204              |
| 19G        | 100                    | 79      | 71    | 85      | 206              |
| 20G        | 100                    | 79      | 71    | 85      | 210              |
| 23G        | 100                    | 79      | 0     | 85      | 218              |
| 24G        | 100                    | 79      | 71    | 85      | 223              |

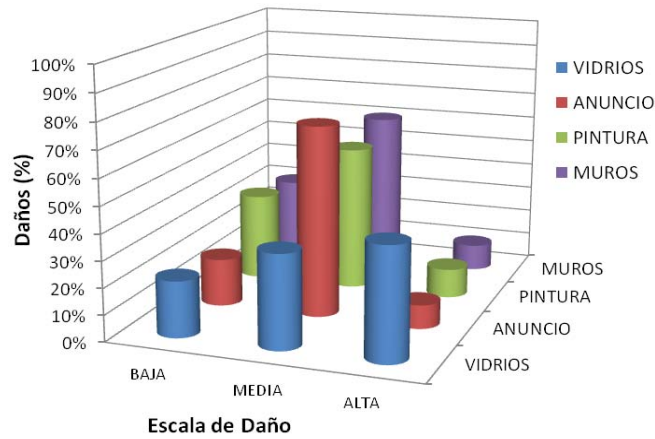


Figura 2.29 Relación de daños a vidrios, anuncio, pintura y muros de cada uno de las gasolineras

Un ejemplo del daño en los vidrios, se observa en la figura 2.30, esta minisuper corresponde a la gasolinera con número de clave 10G. Este minisuper obtuvo daños en un costado lateral y en la parte frontal en la cual la mayoría del muro era de ventanales. La única parte que no se vio afectada en gar medida fue el anuncio y el muro de mampostería.



Figura 2.30 Daños en minisuper de la gasolinera 10G

### Análisis de daños en minisuper

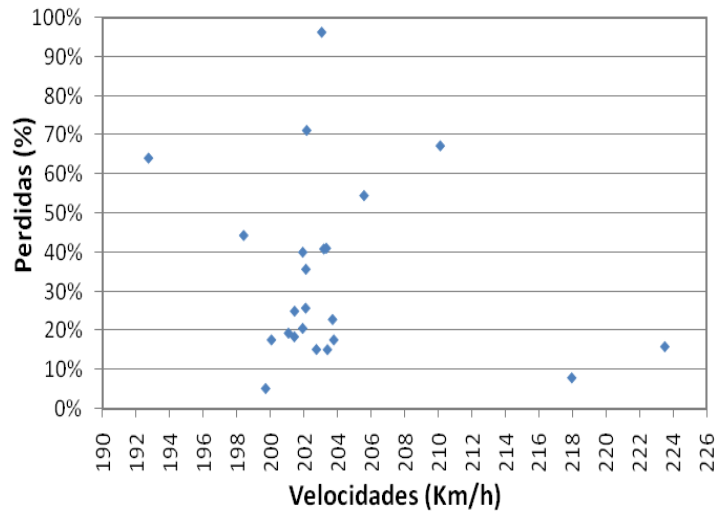


Figura 2.31 Localización de daños a edificios de cada uno de los minisuper, correspondiente a cada gasolinera con la velocidad máxima del viento

En la figura 2.31 se observa que las velocidades estuvieron alrededor de 200 a 206 km/h en su mayoría. Las pérdidas en cuanto a daños en edificio fue para la mayoría menores al 40%, aunque se manifestaron pérdidas mayores al 70% para las velocidades de 200 a 206 km/h y en algunas ocasiones mayores a 206 km/h.

**Daños al espectacular**

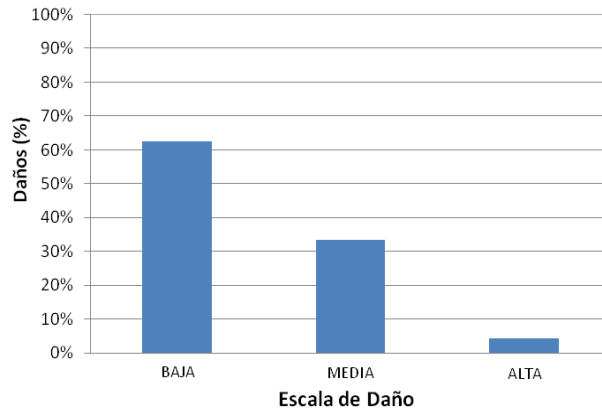


Figura 2.32 Relación de daños en espectaculares de cada una de las gasolineras

En la figura 2.32 se observa que para los espectaculares de cada gasolinera sus daños representaron una escala baja. Según el registro fotográfico, los daños se vieron reflejados en el desprendimiento de algunas láminas para la mayoría y en algunas ocasiones en que el daño fue alto, el desplome del espectacular. La figura 2.33 muestra estos dos ejemplos, la gasolinera 3G (a) con 50% de pérdidas y la 15G (b) con pérdida total.

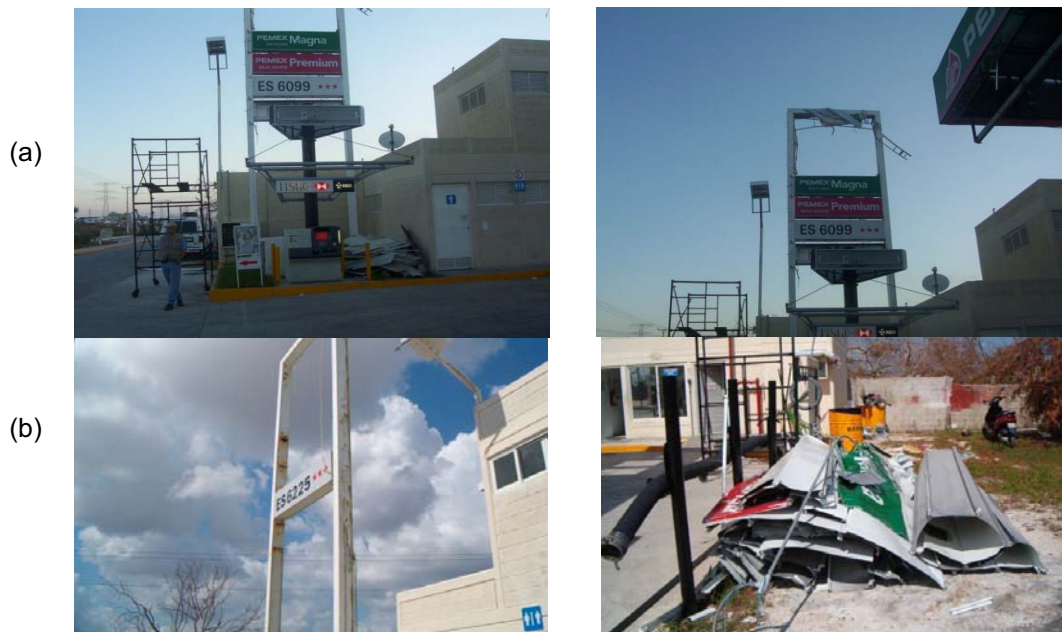


Figura 2.33 Daños en los espectaculares gasolinera 3G(a y 15G(b)

**2.2.4 Conclusiones**

Las pérdidas más significativas fueron en contenidos aunque en su estructura no haya tenido daños significativos. Los daños en contenidos representan pérdidas económicas más considerables que en otros usos. En general se observa que para velocidades de más de 198 km/h



no existe una diferencia clara entre la ocurrencia de daños tanto en contenidos como en edificios. Se observa en caso de los minisuper, los componentes más afectados fueron los vidrios, seguidos por el anuncio y los muros. En cuanto a la velocidad se observó que las pérdidas fueron mayores para velocidades mayores a 200 km/h. Para el caso de los espectaculares estos tuvieron un daño en escala de medio ya que solo se vieron afectados en su totalidad los que se encontraban situados en espacios abiertos, lo que afectaba más la estructura ya que las fuerzas del viento no tenían obstrucciones cercanas de otras estructuras, además de que algunas fueron impactadas por ramas de árboles que fueron lanzadas por el viento. Para estos casos no se observó una relación directa de los daños con la velocidad del viento del modelo, esto se debe a que las estructuras de los comercios y los minisuper cambian en su diseño y arquitectura asociado al uso, lo cual es significativo al cuantificar las pérdidas monetarias. Para los espectaculares estos fueron directamente relacionados con la rugosidad y topografía de la zona en que se ubicaron.

## ANEXO

A fin de analizar el factor de topografía y rugosidad con las velocidades máximas y observar si se pueden relacionar, se escogió 5 ejemplos de comercios.

### COMERCIO C-11

#### Dirección

Calle Chalchoapa No. 25 C, Mz 5 Col. Zona Industrial, Quintana Roo

#### Velocidad del viento del modelo

202 Km/h



Figura 2.34 Localización del comercio C-11 (Machado, 2007)



**Uso**

Equipos de cómputo, copiado y papelería

**Daños**

Tabla 2.7 Porcentaje de daños del comercio C-11 (Machado, 2007)

| Tipo de Daño | Porcentaje |
|--------------|------------|
| Edificio     | 0%         |
| Contenidos   | 0%         |

**COMERCIO C-61**

**Dirección**

Boulevard Kukulcán Km 6.5 Terminal Marina Playa Tortugas, Cancún Quintana Roo

**Velocidad del viento del modelo**

198 Km/h



Figura 2.35 Localización del comercio C-61(Machado, 2007)

**Uso**

Centro comercial y oficinas

**Daños**

Tabla 2.8 Porcentaje de daños del comercio C-61 (Machado, 2007)

| Tipo de Daño | Porcentaje |
|--------------|------------|
| Edificio     | 14%        |
| Contenidos   | 0%         |

**COMERCIO C-53**

**Dirección**

Av Kukulcán km9 col.Plaza Lagunas Local 83, Cancún Quintana Roo

**Velocidad del viento del modelo**

198 Km/h

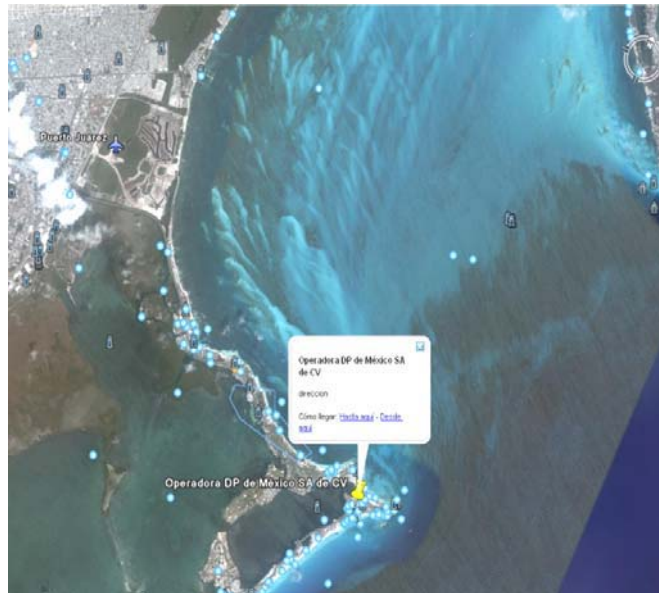


Figura 2.36 Localización del comercio C-53 (Machado, 2007)

**Uso**

Venta de pizza

**Daños**

Tabla 2.9 Porcentaje de daños del comercio C-53 (Machado, 2007)

| Tipo de Daño | Porcentaje |
|--------------|------------|
| Edificio     | 0%         |
| Contenidos   | 0%         |

**COMERCIO C-54**

**Dirección**

Bldv. Kukulkán km 12-5 Zona Hotelera centro torres sur piso2 local E-1, Cancún Quintana Roo

**Velocidad del viento del modelo**

204 Km/h

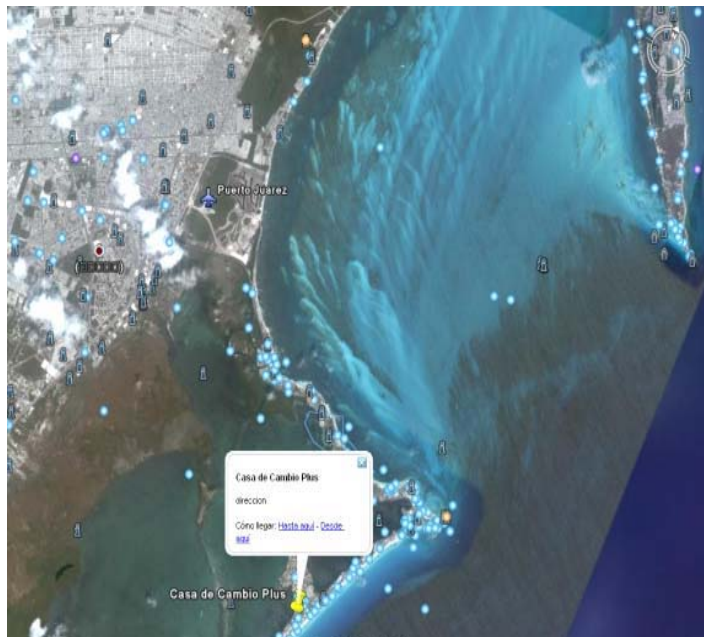


Figura 2.37 Localización del comercio C-54 (Machado, 2007)

**Uso**

Casa de cambio

**Daño**

Tabla 2.10 Porcentaje de daños del comercio C-54 (Machado, 2007)

| Tipo de Daño | Porcentaje |
|--------------|------------|
| Edificio     | 0%         |
| Contenidos   | 4%         |

**COMERCIO C-44**

**Dirección**

Carretera Aeropuerto Km 17, lote 507, 2a etapa C.Abastos, Cancún Quintana Roo

**Velocidad del viento del modelo**

210 Km/h

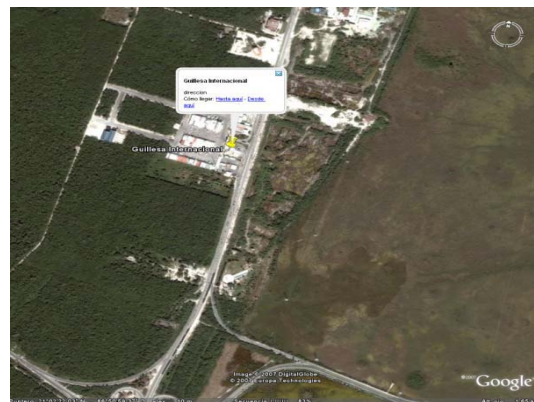
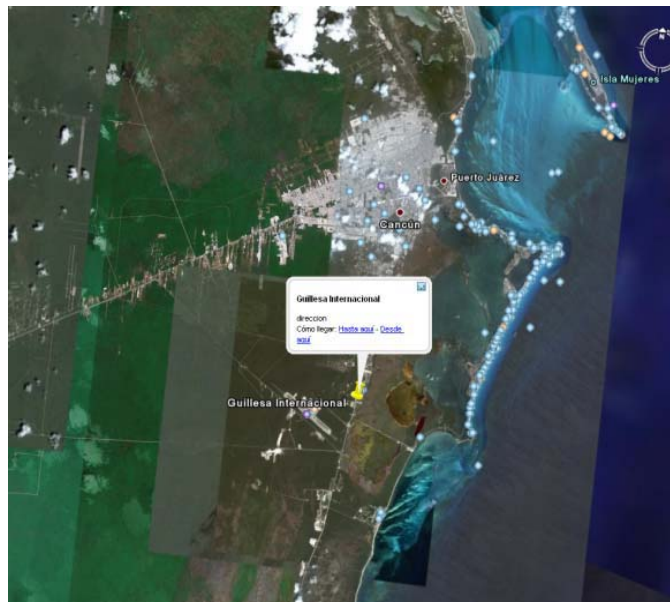


Figura 2.38 Localización del comercio C-44 (Machado, 2007)

**Uso**

Bodega de alimentos y oficinas

**Daños**

Tabla 2.11 Porcentaje de daños del comercio C-44 (Machado, 2007)

| Tipo de Daño | Porcentaje |
|--------------|------------|
| Edificio     | 0%         |
| Contenidos   | 36%        |

Después de analizar las velocidades de viento con la topografía y rugosidad adjunta a cada comercio se puede observar que en el caso del comercio C-11 que se encuentra rodeado de edificios adjuntos su velocidad máxima correspondió a 202 km/h, los comercios C-61 y C-53 y C-54 que se encuentran en zona costera las velocidades fueron de 198 km/h, 198 km/h y 204 km/h. Para el caso del comercio C-45 ubicado en una zona lejana a la costa y donde no se encuentra ningún obstáculo que afectara las fuerzas del viento del modelo, se presentó una velocidad máxima de 210 km/h. Esto pone en manifiesto que para zonas despobladas de vegetación, edificios y una topografía que favorece el choque de las fuerzas de viento, las velocidades son más altas que en las demás ubicaciones.

Convendría que para los elementos no-estructurales como plafones, puertas, barandales y elementos localizados en áreas de gran exposición a las fuerzas del viento estén más fijos para que se puedan comportar de mejor manera, ya que cuando estos se desprenden se convierten en proyectiles que pueden llegar a incrementar de forma significativa los daños en los edificios y ser de potencial riesgo para la sociedad civil. Así mismo es importante la parte arquitectónica ya que aquellas que cuentan con entrantes y salientes pronunciadas, con geometrías que encierran corrientes de viento que forman vórtices de gran intensidad, construcciones con recubrimientos y elementos exteriores fáciles de desprender y con escalonamientos en sus elevaciones producen desviaciones de los flujos de viento que incrementan sus velocidades.

**2.3 Ejemplos de diseño**

A Continuación se verán 3 tipos de ejemplos: estructuras irregulares que podrían asimilarse a las configuraciones geométricas de algunos hoteles, espectaculares y naves industriales. Para cada ejemplo, se diseñó con las Normas Técnicas Complementarias para viento. Se hicieron dos ejercicios, uno ubicando las estructuras en la zona centro (D.F.) y en zona costera (Cozumel) para ver la diferencia de valores en los cálculos de cada zona y la importancia de un buen diseño. La velocidad para la costa (Cozumel) se sacó de los mapas de isotacas de la Comisión Federal de Electricidad con un periodo de retorno de 50 años.

**2.3.1 Estructura irregular**

Estructura ubicada en zona plana y sin obstáculos.

**DF (Tlalpan)**

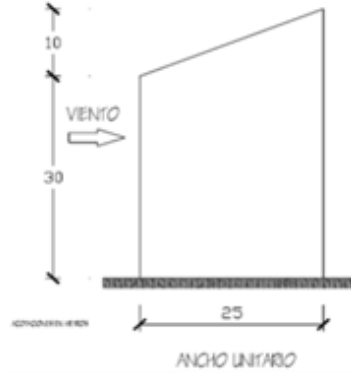
Estructura ubicada en Iztapalapa, clasificada dentro del grupo B (por su importancia) y dentro del Tipo I (por su respuesta).



**1. DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE DISEÑO**

$$VD = FTRF\alpha VR$$

VR= 32 m/s R2 Y T3  
 F $\alpha$ = 1.19  $\alpha$ = 0.128  
 $\delta$ = 315 m  
 FTR= 1  
 VD= 38.21 m/s



**2. DETERMINACION DE LA PRESION DE DISEÑO**

$$PZ = 0.048CPVD^2$$

**Pared barlovento**

Z= 10 m  
 F $\alpha$ = 1  
 CP= 0.8  
 VD= 32 m/s  
 PZ= 39.32 kg/m<sup>2</sup>

Z= 30 m  
 F $\alpha$ = 1.15  
 CP= 0.8  
 VD= 36.83 m/s  
 PZ= 52.09 kg/m<sup>2</sup>

**Techo inclinado lado barlovento**

Z= 30 m  
 F $\alpha$ = 1.15  
 VD= 36.83 m/s  
 $\theta$ = 21.8 grados  $\text{sen}(\theta) = 0$   $\text{cos}(\theta) = 0.928$   
 CP= 0.04 $\theta$ -1.6  
 CP= -0.73 succion  
 CP= 0.73  
 PZ= 47.53 kg/m<sup>2</sup>

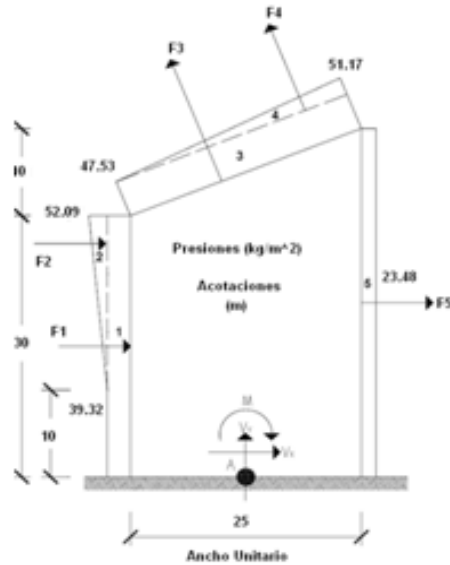
Z= 40 m  
 F $\alpha$ = 1.19  
 VD= 38.21 m/s  
 CP= 0.73

**Pared sotavento**

Zmedia= 20 m  
 Fz= 1.09  
 VD= 34.97 m/s  
 CP= 0.40 succion

PZ= 23.48 kg/m<sup>2</sup>

**3. DETERMINACION DE LOS ELEMENTOS MECANICOS EN LA BASE DE LA ESTRUCTURA**



Fuerza actuante= Volumen de presiones= Area X ancho unitario

longitud del techo inclinado

L= 26.93

F1= 1180 kg  
 F2= 128 kg  
 F3= 1280 kg

f3x= -475 kg *es negativa debido a la direccion de F3*  
 f3y= 1188 kg

F4= 49 kg

f4x= -18 kg *es negativa debido a la direccion de F4*  
 f4y= 45 kg

F5= 939 kg

Vtotalx= 1753 kg  
 1.75 ton

Vtotaly= 1234 kg  
 1.23 ton

Momento flexionante= Fuerza actuante X brazo de palanca

M centro de base= 21965 kg.m  
 21.96 ton.m

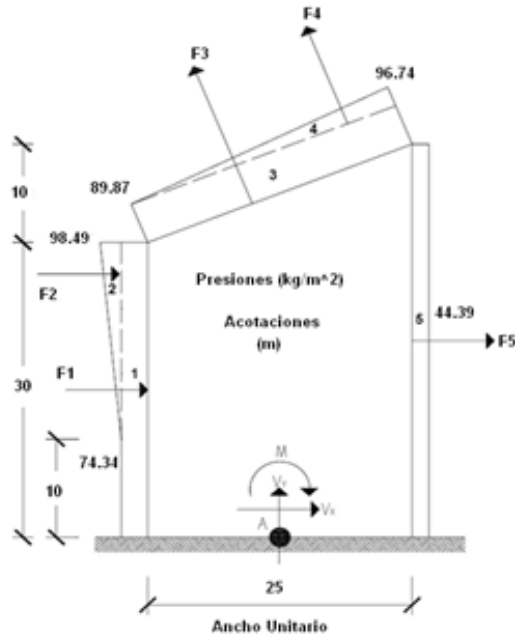




$F\alpha = 1.09$   
 $VD = 48.08 \text{ m/s}$   
 $CP = 0.40 \text{ succion}$

$$PZ = 44.39 \text{ kg/m}^2$$

### 3. DETERMINACION DE LOS ELEMENTOS MECANICOS EN LA BASE DE LA ESTRUCTURA



longitud del techo inclinado

$$L = 26.93$$

$F1 = 2230 \text{ kg}$   
 $F2 = 241 \text{ kg}$   
 $F3 = 2420 \text{ kg}$

$f3x = -899 \text{ kg}$  es negativa debido a la direccion de F3  
 $f3z = 2247 \text{ kg}$

$F4 = 92 \text{ kg}$

$f4x = -34 \text{ kg}$  es negativa debido a la direccion de F4  
 $f4z = 86 \text{ kg}$

$F5 = 1776 \text{ kg}$

$V_{totalx} = 3314 \text{ kg}$   
 $3.31 \text{ ton}$

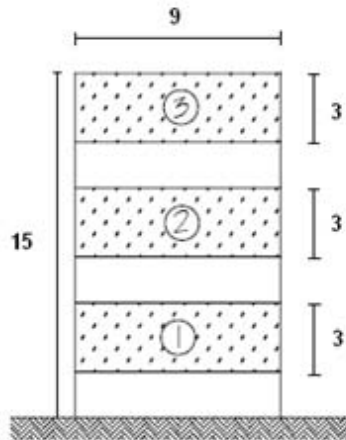
$V_{totalz} = 2333 \text{ kg}$   
 $2.33 \text{ ton}$

$M \text{ centro de base} = 41527 \text{ kg.m}$   
 $41.53 \text{ ton.m}$

### 2.3.2 Espectacular

Estructura clasificada dentro del grupo B (por su importancia) y dentro del Tipo I (por su respuesta).

#### DF (Iztapalapa)



#### 1. DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE DISEÑO

$$VD = FTR \alpha VR$$

$$VR = 36 \quad \text{m/s}$$

R2  
R2 Y T3

$$F\alpha = 1.05$$

$$\alpha = 0.128$$

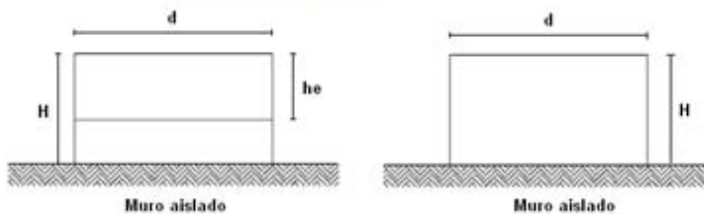
$$\delta = 315 \text{ m}$$

$$FTR = 1$$

$$VD = 37.92 \quad \text{m/s}$$

#### 2. DETERMINACION DE LA PRESION DE DISEÑO

$$PZ = 0.048CPVD^2$$



si  $he/H > 0.7$  el anuncio se tratara como muro aislado

Análisis con el viento en dirección normal al anuncio

$$d = 9$$

$d = 9$

$h_e = 3$

**Nivel 3**

$H = 15$   
 $d/h_e = 3$        $1 < d/h_e < 20$        $1 < 3 < 20$       CUMPLE  
 $h_e/H = 15$

$C_p = 1.5$

$z = 12$       m

$F_a = 1.02$

$VD = 36.85$       m/s

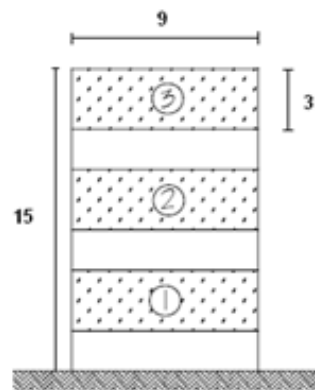
$PZ = 97.77$       kg/m<sup>2</sup>

$z = 15$       m

$F_a = 1.05$

$VD = 37.92$       m/s

$PZ = 103.52$       kg/m<sup>2</sup>



**Nivel 2**

$H = 10$   
 $h_e/H = 0.3$

$C_p = 1.5$

$F_a = 1.00$

$VD = 36.00$       m/s

$PZ = 93.31$       kg/m<sup>2</sup>

Nivel 1

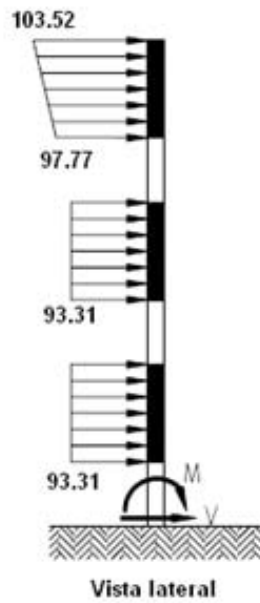
F1= 2110      kg  
2.11          ton

Fuerza cortante en la base

V= 7.35      ton

Momento en la base

M= 65.72     ton.m



## Cozumel

### 1. DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE DISEÑO

$$VD = FTR F_{\alpha} V_R$$

$$V_R = 44 \quad \text{m/s}$$

$$F_{\alpha} = 1.05$$

$$\alpha = 0.128$$

$$\delta = 315 \text{ m}$$

$$FTR = 1$$

$$VD = 46.34 \quad \text{m/s}$$

### 2. DETERMINACION DE LA PRESION DE DISEÑO

$$PZ = 0.048 C P V_D^2$$

Análisis con el viento en dirección normal al anuncio

$$d = 9$$

$$h_e = 3$$

Nivel 3

$$H = 15$$

$$d/h_e = 3$$

$$h_e/H = 15$$

$$1 < d/h_e < 20$$

$$1 < 3 < 20$$

CUMPLE

$$C_p = 1.5$$

$$z = 12$$

$$\text{m}$$

$$F_{\alpha} = 1.02$$

$$VD = 45.04$$

$$\text{m/s}$$

$$PZ = 146.05$$

$$\text{kg/m}^2$$

$$z = 15$$

$$\text{m}$$

$$F_{\alpha} = 1.05$$

$$VD = 46.34$$

$$\text{m/s}$$

$$PZ = 154.64$$

$$\text{kg/m}^2$$

Nivel 2

$$H = 10$$

$$h_e/H = 0.3$$

$$C_p = 1.5$$

$$F_{\alpha} = 1.00$$

$$VD = 44.00$$

$$\text{m/s}$$

$$PZ = 139.39$$

$$\text{kg/m}^2$$

**Nivel 1**

H= 5  
 $h_e/H= 0.6$

$C_p= 1.5$

$F_{\alpha}= 0.92$   
 $VD= 40.26$

m/s

$PZ= 116.73$  kg/m<sup>2</sup>

**3. CALCULO DEL MOMENTO Y FUERZA CORTANTE EN LA BASE**

**Nivel 3**

$F_{3,1}= 3943$  kg  
 3.94 ton

$Pz=12m \cdot A3$

$F_{3,2}= 116$  kg  
 0.12 ton

$((Pz=15m - Pz=12m)/2) \cdot A3$

**Nivel 2**

$F_2= 3764$  kg  
 3.76 ton

**Nivel 1**

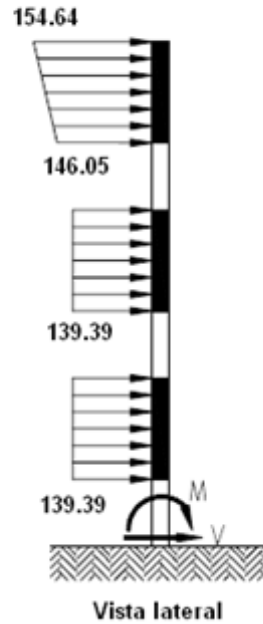
$F_1= 3152$  kg  
 3.15 ton

Fuerza cortante en la base

$V= 10.97$  ton

Momento en la base

$M= 98.17$  ton.m

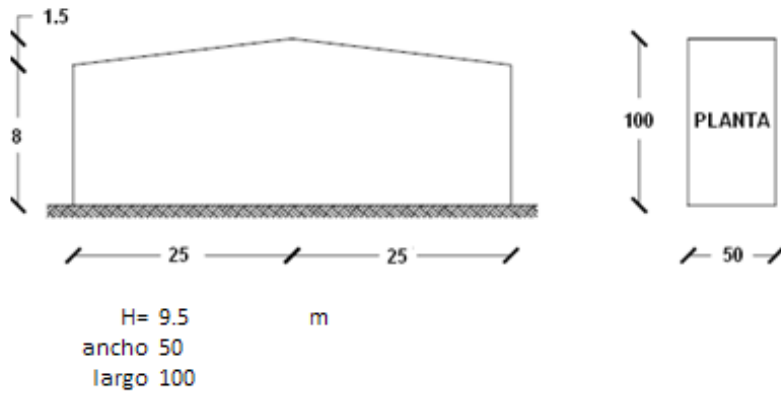




### 2.3.3 Nave industrial

Estructura clasificada dentro del grupo B (por su importancia) y ubicada en terreno abierto

**DF (Tlalpan)**



#### 1. DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE DISEÑO

$$VD = FTR \alpha VR$$

|         |     |               |       |
|---------|-----|---------------|-------|
| VR= 32  | m/s | R2<br>R2 Y T3 |       |
| Fα= 1.0 |     | α=            | 0.128 |
|         |     | δ=            | 315 m |
| FTR= 1  |     |               |       |
| VD= 32  | m/s |               |       |

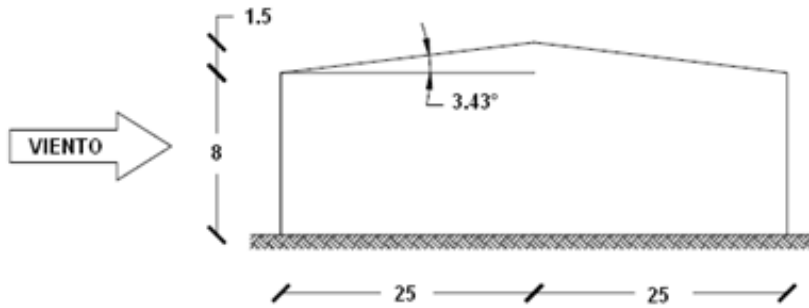
#### 2. DETERMINACION DE LA VELOCIDAD Y PRESION DE DISEÑO

$$PZ = 0.048CPVD^2$$

Calculo del angulo de inclinacion  $\theta$  del techo

$$\theta = 3.43 \text{ grados}$$

Analisis de viento



**Pared barlovento**

VD= 32.00 m/s  
 Cp= 0.8  
 PZ= 39.32 kg/m<sup>2</sup>

**Techo inclinado lado barlovento**

VD= 32.00 m/s  
 CP= 0.048-1.6  
 CP= -1.46 succion  
 CP= 0.80 Rige  
 PZ= 39.32 kg/m<sup>2</sup>

**Techo inclinado lado sotavento**

VD= 32.00 m/s  
 CP= 0.70  
 PZ= 34.41 kg/m<sup>2</sup>

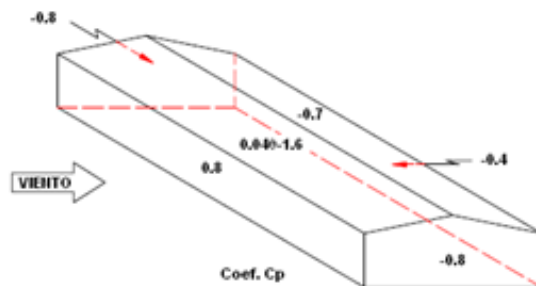
**Pared sotavento**

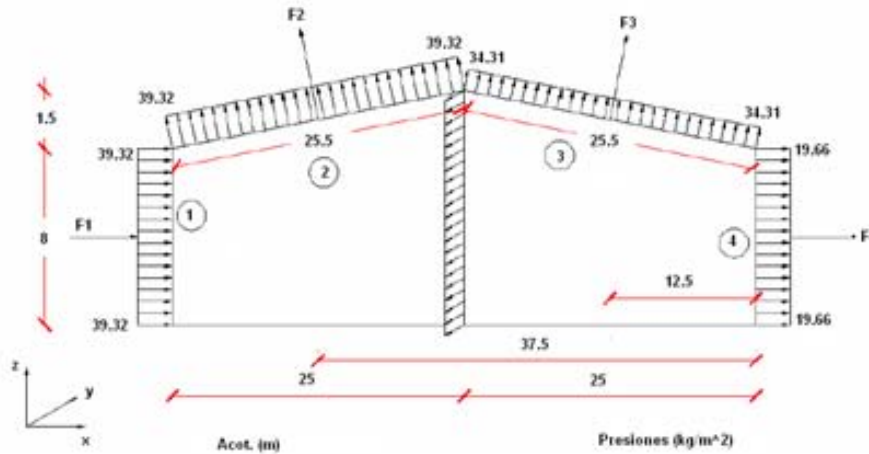
Zmedia= 4.75 m  
 Fa= 1.00  
 VD= 32.00 m/s  
 CP= 0.40 succion

**Paredes laterales (muros cabeceros)**

VD= 32.00 m/s  
 CP= 0.80  
 PZ= 19.66 kg/m<sup>2</sup>

PZ= 39.32 kg/m<sup>2</sup>





**Calculo del momento de volteo**

$$M1 = 125829 \text{ kg.m}$$

$$125.83 \text{ ton.m}$$
  

$$M4 = 62915 \text{ kg.m}$$

$$62.91 \text{ ton.m}$$

podemos despreciar las proyecciones de F2 y F3 por ser un angulo muy pequeño

$$M2 = 3760128 \text{ kg.m}$$

$$3760.13 \text{ ton.m}$$
  

$$M3 = 1096704 \text{ kg.m}$$

$$1096.70 \text{ ton.m}$$

**Calculo del momento resistente**

peso propio= 100 kg/m<sup>2</sup>  
 instalaciones= 10 kg/m<sup>2</sup>  
 Plafond= 15 kg/m<sup>2</sup>  
 TOTAL 125 kg/m<sup>2</sup>

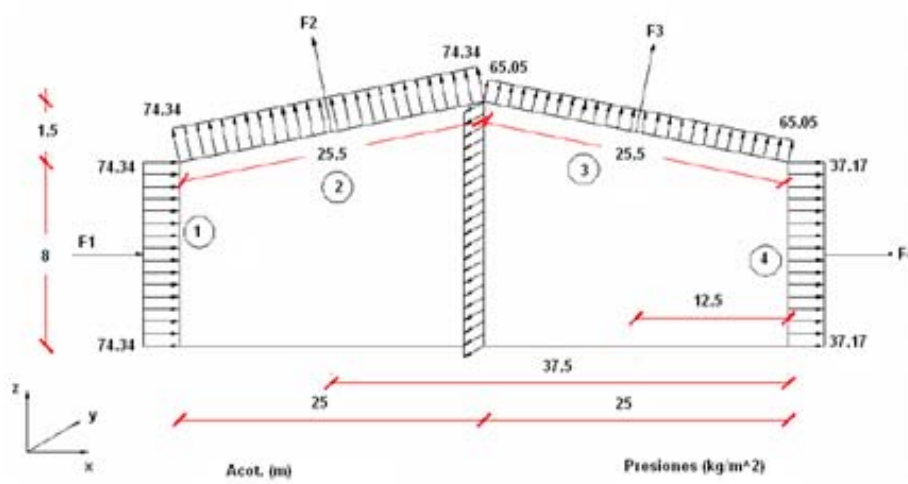
$$MR = 15625000 \text{ kg/m}^2$$

$$15625 \text{ ton.m}$$

**Calculo del factor de seguridad**

$$F.S = 3.10$$





**Calculo del momento de vuelco**

M1= 237896 kg.m  
237.90 ton.m

M4= 118948 kg.m  
118.95 ton.m

podemos despreciar las proyecciones de F2 y F3 por ser un ángulo muy pequeño

M2= 7108992 kg.m  
7108.99 ton.m

M3= 2073456 kg.m  
2073.46 ton.m 9539.29

**Calculo del momento resistente**

|                |     |                   |
|----------------|-----|-------------------|
| peso propio=   | 100 | kg/m <sup>2</sup> |
| instalaciones= | 10  | kg/m <sup>2</sup> |
| Plafond=       | 15  | kg/m <sup>2</sup> |
| TOTAL          | 125 | kg/m <sup>2</sup> |

MR= 15625000 kg/m<sup>2</sup>  
15625 ton.m

**Calculo del factor de seguridad**

F.S= 1.64

Se propone una metodología para facilitar el diseño de las estructuras más comunes de las zonas costeras, así mismo comparar los coeficientes que se sugieren para zona costera y ciudad.

Se hace notar la diferencia de valores de las fuerzas actuantes y presiones en la zona costera, lo que hace más cuidadoso el diseño para estas zonas.

## 2.4 Aportaciones

- Complementar las Normas Técnicas Complementarias en cuanto al diseño por viento, ya que no tiene en cuenta los elementos de recubrimiento, las áreas correspondientes a las aberturas como lo son las ventanas y las puertas, además del material del que se conforman. Las presiones externas que reciben las ventanas o aberturas en ciertas ocasiones pueden ser tan fuertes que provocan la falla total de las mismas y recomendaciones para la construcción y refuerzo ante el impacto del viento. A sí mismo se podría establecer una clasificación de acuerdo al tipo estructural y el material ya que se pueden comportan de diferente forma ante la acción del viento.
- Mejorar el programa de velocidades basado en el artículo Reinoso et al. 2006, que obtiene valores de velocidades máximas para la República Mexicana, ya que este no considera factores locales como la topografía y rugosidad.

## CAPÍTULO 3

### INFLUENCIA DEL CALENTAMIENTO GLOBAL EN LA VELOCIDAD DEL VIENTO Y PRECIPITACIÓN

#### 3.1 Introducción

Cada día se hacen sentir más las preocupaciones de científicos, políticos, estudiantes, entre otros, por concientizar a la población mundial del riesgo que se ha planteado alrededor del tema del calentamiento global, como uno de los problemas más grandes del siglo XXI y con el que estamos batallando actualmente. Por esta razón resulta conveniente estudiar este tema a fin de tratar de determinar cuál es su influencia en el campo de los riesgos hidrometeorológicos.

Según investigaciones realizadas por científicos de diferentes países, existen dos causas del posible calentamiento global, el origen antropogénico y una variabilidad natural del planeta. El Panel Intergubernamental del cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) menciona que existe una estrecha relación entre el efecto invernadero (anexo 1) y calentamiento global (anexo 2). El IPCC considera 4 escenarios climáticos y lo necesario para incorporar una futura generación de gases de efecto invernadero (GEI) al desarrollo mundial y el clima del planeta; con base en estos escenarios climáticos desarrolla diferentes hipótesis acerca del desarrollo socioeconómico del planeta y los efectos que estos escenarios tendrían al ecosistema en general. En su tercer informe de evaluación el IPCC concluye que es muy probable que haya un aumento de sucesos meteorológicos extremos (olas de calor, más precipitaciones e inundaciones, temperaturas máximas y mínimas) y un aumento en algunas zonas en las intensidades de viento máximo y precipitación de los ciclones tropicales. Además se plantea que el presente calentamiento global se debe a razones antropogénicas sobre la emisiones principalmente de CO<sub>2</sub>.

Como contraparte a este grupo de científicos se creó en Milán en el 2003 el Panel No Gubernamental del Cambio Climático (Nongovernmental International Panel on Climate Change, NIPCC) opuesto al IPCC. Este grupo fue concebido y dirigido por el Dr. S. Fred Singer, profesor emérito de Ciencias Ambientales en la Universidad de Virginia. El NIPCC es un grupo de científicos que se han reunido para entender las causas y consecuencias del cambio climático, debido a que no están de acuerdo con la teoría de que el calentamiento global sea producto de las emisiones de GEI de origen antropogénico. Según el documento del NIPCC (Singer, 2008) existen errores y falsedades que se cometieron en los proyectos iniciales del IPCC, informes en los que no se han tenido en cuenta los verdaderos datos, la influencia del sol y sus emisiones a lo largo de siglos y la trayectoria que tiene la tierra que ha cambiado a lo largo de la historia. También se muestra que si hubiese una contribución importante del ser humano en el calentamiento global este sería insignificante. Además el NIPCC también desmiente los mitos acerca del calentamiento global y el aumento en ciclones tropicales y en el nivel del mar (anexo 3).

En México el Instituto Nacional de Ecología (INE) tiene una base de datos sobre el calentamiento global donde presenta varios documentos con base en evidencias científicas que aunque no son concluyentes plantean la problemática de que los eventos climáticos extremos (ciclones tropicales, tornados, ENSO (niño/niña) se vuelvan más severos a raíz del cambio climático, exponiendo nuevas áreas a impactos y riesgos asociados con estos eventos extremos. Estos documentos tratan temas como medidas de mitigación sobre los posibles cambios a nivel económico y social de México. Investigaciones realizadas a nivel internacional en temas de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático, valoración del fenómeno de El Niño y sus impactos regionales, análisis de los aspectos técnicos, científicos y económicos sobre las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), efectos y estrategias de acción climática de los países, comprensión de la variabilidad



climática en América, estudios comparativos de ecosistemas, usos del suelo y recursos hidrológicos en América y cambios en la composición de la atmósfera entre otros. Además se mencionan investigaciones por parte del Instituto de Geofísica y Centro de Ciencias de la Atmósfera, de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), sobre emisiones de GEI, políticas de energética en el país, reforestación y estudios sobre el aumento en el nivel del mar. También se estudiaron las bases científicas de un informe del IMTA/INE (González y Sesma, 2006), sobre el análisis de los posibles impactos del calentamiento global en Cancún (Quintana Roo), donde se basan principalmente en conclusiones del IPCC en su tercer informe de evaluación sobre los eventos extremos y un artículo publicado en *Journal of Climate* (Knutson y Tuleya, 2004) sobre la ocurrencia de ciclones tropicales con mayores intensidades (anexo 4).

Algunos estudios concluyen que la actividad de los huracanes en el Atlántico se ha incrementado significativamente desde 1995 y que sus causas aún siguen siendo inciertas. Con base en un modelo estadístico desarrollado por Mark A. Saunders y Adam S. Lea (Saunders y Lea, 2008) basados en las temperaturas locales de la superficie marina y un campo de vientos en la atmósfera se llegó a la conclusión de que la sensibilidad de la actividad de huracanes del Atlántico Tropical en los meses de agosto a septiembre y la temperatura durante este periodo es tal que un aumento de 0.5C incrementaría en un 40% la frecuencia de la actividad de los huracanes. Los resultados también indican que el calentamiento de la superficie del mar fue el responsable del 40% del aumento de la actividad de los huracanes (anexo 5). El estudio sobre el artículo de Landsea (2005), muestra que en vez de un aumento “sin precedentes” de la intensidad de los huracanes, solo se ha visto un leve aumento y en algunas ocasiones menos activo que en periodos anteriores en la actividad de los huracanes. Además se resalta que estos daños fueron suavizados y filtrados y que por esta razón perdieron información valiosa. Este estudio solo contiene resultados y conclusiones basados en datos hasta el 2005 donde evidentemente ocurrieron huracanes que fueron devastadores para EE.UU. como Katrina, así que no se tienen registros de los últimos años donde se ha visto que no ha vuelto a incrementarse ni en intensidad ni en frecuencia los huracanes. Nuevos modelos aportan importantes puntos de vista adicionales a este problema. Se ha desarrollado un nuevo marco de modelos regionales diseñados para la reducción de la actividad de los huracanes del Atlántico. En comparación con las actuales simulaciones, este modelo utiliza las temperaturas sobre el nivel del mar observadas y un análisis a gran escala de la atmósfera para los meses de agosto a octubre de 1980 a 2006. (anexo 5).

En octubre del 2005, Risk Management Solutions (RMS) en su publicación: *Risk Management Solutions (2006). U.S. and Caribbean Hurricanes Activity Rates, the New RMS Medium-Term Perspective and Implications for Industry Loss*, pidió una reunión de expertos (cuatro climatólogos) para llegar a un consenso de previsiones a medio plazo sobre la actividad de los huracanes que tocan tierra en la cuenca del Atlántico, en EE.UU. y el Caribe. Para los EE.UU., la perspectiva a mediano plazo representa un incremento del 20% en los huracanes categoría 1 a 2 según la escala Saffir-Simpson, y más de un 30% en la categoría 3 a 5 en relación con una referencia histórica 1900 a 2005. Este punto de vista sobre las tasas de actividad de huracanes se ha puesto en práctica dentro de los EE.UU., el Caribe y de las plataformas cercanas a la costa de los modelos RiskLink y RiskBrowser, sobre la base de RMS (huracán tipo), región geográfica y de la escala Saffir-Simpson (anexo 6).

Respecto al manejo que se le ha dado al tema de calentamiento global y huracanes muchos medios de comunicación comentan sobre las investigaciones de los británicos Mark Saunders y Adam Lea, donde se menciona que la década comprendida entre 1996 y 2005 que culminó con el huracán Katrina, la tormenta más devastadora de los Estados Unidos fue la temporada más alta que se haya observado. Sin embargo, el 2006 fue más tranquilo, y el 2007 fue inusualmente tranquilo. En el año 2007, la temperatura del mar en el Atlántico tropical estuvo incluso ligeramente por debajo de lo esperado. (anexo 8)

Grandes empresas como Air Worldwide Corporation y Benfield UCL Hazard Research Centre, individualmente han desarrollado nuevas estrategias y tecnologías sobre el calentamiento global y los huracanes. Las investigaciones del AIR Worldwide Corporation analizan las probabilidades de llegada de huracanes con la ayuda de dos tormentas fuertes que tocaron tierra en la temporada del 2007 categoría 5, Dean y Felix, basados en el lugar donde se originaron. Dean y Felix, que eran las únicas tormentas de ese año que podrían llegar a ser mayores a la categoría 1, tuvieron su origen en el sur del Caribe y, finalmente, llegaron a tierra a largo de las costas de México y Centroamérica (anexo 9). Por su parte Benfield UCL Hazard Research Centre han cuantificado la contribución de la temperatura en la superficie del mar a la actividad de los huracanes. Ellos se centran en el estudio antes mencionado de Mark Saunders y Adam Lea (anexo 10).

Además del tema de los huracanes también se ha mencionado sobre el aumento en las amplificaciones de las precipitaciones extremas a consecuencia del calentamiento global (Allan y Soden, 2008). Los modelos climáticos sugieren que los eventos extremos de precipitación se harán más comunes en un clima mucho más cálido. Sin embargo se tienen limitaciones en la observación que han dificultado a aplicación directa de modelos de evaluación sobre los cambios proyectados en precipitaciones extremas. Por otra parte, la observación de la amplificación de precipitaciones extremas en algunas ocasiones parece ser más alta que la predicha por los modelos, lo que implica que las proyecciones de los futuros cambios en las precipitaciones extremas debido al calentamiento global pueden ser subestimadas (anexo 12).

### **3.2 Análisis de la posible influencia del calentamiento global en la velocidad del viento registrada en México**

#### **3.2.1 Datos de velocidades de estaciones sinópticas de superficie (SMN)**

Se analizaron datos de velocidades de viento mensuales de estaciones meteorológicas para el caso de Quintana Roo (Cozumel y Chetumal), debido a su favorable posición geográfica y su vulnerabilidad ante la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos y los daños que ocurren por estos fenómenos. Estos datos de viento fueron relacionados con el calentamiento global a fin de encontrar tendencias en el aumento de velocidades de viento para los últimos años. La Unidad del Servicio Meteorológico Nacional (USMN) cuenta con una red de 80 observatorios meteorológicos, los cuales generan la información meteorológica y climatológica del país. Todos los observatorios meteorológicos de la red meteorológica trabajan las 24 horas del día los 365 días del año ininterrumpidamente, sin embargo, por falta de personal únicamente el 27% labora de esta forma.

Las estaciones sinópticas se basan en el estudio del tiempo real basado en observaciones anotadas en mapas geográficos. Las estaciones sinópticas comprenden, por una parte, las estaciones de observación superficie y, por otra parte, las estaciones de observación en altitud. Las observaciones de estas estaciones se realizan cada 3 horas (tiempo real) y por acuerdos internacionales, para ser transmitidas por diversos medios de comunicación al Centro Nacional de Telecomunicaciones Meteorológicas (CNTM), para su posterior retrasmisión al Centro Meteorológico Mundial de Washington (CMMW) para su difusión a nivel mundial, así como a todos los usuarios nacionales. Los horarios de transmisión son en las siguientes horas del meridiano de Greenwich: 00:00, 03:00, 06:00, 09:00, 12:00, 15:00, 18:00 y 21:00, que sumando dan 8 mensajes por cada día de cada observatorio. Los registros de velocidades para las estaciones sinópticas son en m/s, tomadas a 4 m de altura por veletas tipo LD y corresponden a velocidades promedio del viento.

El equipo instrumental con que cuenta una estación sinóptica básica es: termómetros, seco y húmedo (o higrómetro, para temperaturas muy bajas), termómetros de máxima y de mínima, garita termométrica, pluviómetro, barómetro, barógrafo, anemómetro o anemógrafo y veleta entre otros. En la tabla 3.1 señala algunos de los requisitos de instalación para de ciertos instrumentos.

Tabla 3.1 Normas sobre el instrumental meteorológico en una estación sinóptica (Vázquez, 2005)

| Parámetro medido                   | Instrumento utilizado                    | Tipo | Elemento sensible  | Elemento transmisor amplificador | Elemento registrador      | Unidades de medida     | Precisión                | Especificación de instalación  |
|------------------------------------|--|------|--------------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------|--------------------------|--|
| Temperatura                        | Termómetro                               |      |                    |                                  |                           |                        |                          | En la caseta meteorológica, a 1.20 m de altura<br>El de mínima, inclinado 2° |
|                                    | Máxima                                   | LD   | Mercurio           | Tubo capilar                     | Escala                    | °C                     | 0.1                      |  |
|                                    | Mínima                                   | LD   | Alcohol            | Tubo capilar                     | Escala                    | °C                     | 0.1                      |  |
|                                    | Normal                                   | LD   | Mercurio           | Tubo capilar                     | Escala                    | °C                     | 0.1                      |  |
|                                    | Termógrafo                               | G    | Bimetal            | Juego de palancas                | Gráfica                   | °C                     | 0.5                      | 5 y 10 cm S/S;<br>5,10,20,50 y 100 cm de prof.                               |
| Precipitación                      | Pluviómetro                              | LD   | Contenido          | Probeta                          | Probeta                   | mm                     | 0.005                    | 1.0 m de alt   |
|                                    | Pluviógrafo                              | G    | Flotador           | Juego de palancas                | Gráfica                   | mm                     | 0.005                    | 1.0 m de alt   |
| Evaporación                        | Tanque tipo "A"                          | LD   | Agua               | Juego de palancas                | Tornillo micrométrico     | mm                     | 0.01                     | 40 cm del borde  |
|                                    |  |      |                    |                                  |                           |                        | 0.05                     | 40 cm del borde  |
| Humedad atmosférica                | Psicrómetro                              | LD   | Mercurio           | Tubo capilar                     | Escala                    | °C                     | 2.50%                    | En la caseta meteorológica, a 1.5 m de alt                                   |
|                                    | Higrógrafo                               | G    | Haz de cabellos    | Juego de palancas                | Gráfica                   | %                      |                          |  |
| Viento                             | Velocidad y dirección                    | LD   | Flecha             |                                  | Escala<br>Rosa de vientos | m/s<br>Rosa de vientos |                          | 4 m de alt   |
|                                    | Veleta                                   |      |                    |                                  |                           |                        |                          |  |
|                                    | Recorrido, dirección e intensidad máxima | G    | Cazoletas          | Sistema de varillas y engranajes | Gráfica                   | m/s                    |                          | 10 metros  |
|                                    | Anemocinógrafo                           |      | Flecha<br>Flotador |                                  |                           |                        |                          |  |
| Presión atmosférica                | Barómetro                                | LD   | Mercurio           | Tubo capilar                     | Escala                    | mm Hg                  | mm Hg                    | Altura del observador  |
|                                    | Barógrafo                                | G    | Cápsula aneroide   | Juego de palancas                | Gráfica                   | mm Hg                  | mm Hg                    | En la caseta   |
|                                    | Microbarógrafo                           | G    | Cápsula aneroide   | Juego de palancas                | Gráfica                   | mm Hg                  | mm Hg                    | En la caseta   |
| Insolación (horas de brillo)       | Heliógrafo                               | G    | Papel sensible     | Bola de cristal                  | Gráfica                   | Horas                  | 15 min                   | 1.20 m de altura   |
| Radiación solar (radiación global) | Actinógrafo                              | G    | Placas             | Juego de palancas                | Gráfica                   | Cal/cm <sup>2</sup> h  | 1 cal/cm <sup>2</sup> hr | 1.20 m de altura   |
| Temp. y hum. Atm.                  | Higrotermógrafo                          | G    | Bimetal            | Juego de palancas                | Gráfica                   | °C                     |                          | En la caseta meteorológica, a 1.50 metros de altura                          |
|                                    |  |      | Haz de cabellos    |                                  |                           | %                      |                          |  |

En cuanto al lugar donde se sitúan, las estaciones deben contar con una estación que servirá de oficina, mantenimiento, calibración y almacenaje de instrumental y sus refacciones, así como para mantener organizados para fácil consulta todos los registros climatológicos y ubicación de los equipos que tienen sus registradores, computadoras y colectores de datos de equipo de control remoto. La operación de estos instrumentos se hará en los horarios establecidos para poder elaborar correctamente los registros de la información y así tener una mejor precisión y calidad de los datos, además de un buen mantenimiento como lo sugiere las normas de la OMM y el SMN o por las casas fabricantes del instrumental. Además se contará con una caseta o abrigo meteorológico en cuyo interior se colocarán aquellos instrumentos que no puedan estar al aire libre por el deterioro original. En la figura 3.1 se esquematiza la ubicación y orientación de los instrumentos dentro de un área de 9x6 metros que deberá tener dicha estación, así como las sugerencias para la distancia entre cada uno de ellos.

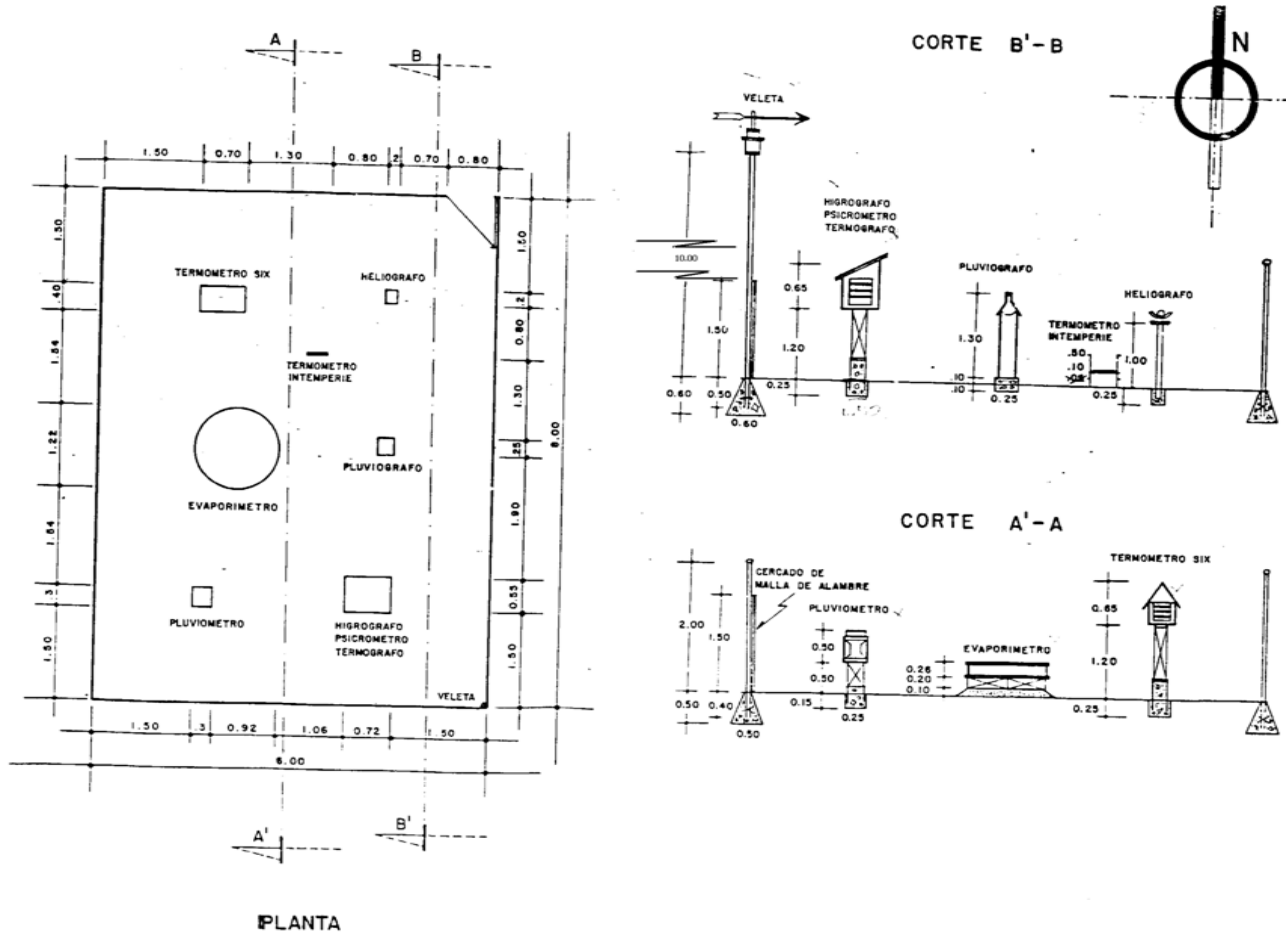


Figura 3.1 Orientación y ubicación de los instrumentos y equipos de medición de las estaciones meteorológicas sinópticas (Vázquez, 2005)

Sobre los observadores de estas estaciones se recomienda que vivan cerca por la constante vigilancia que se debe tener sobre el instrumental, así como para evitar la dificultad de trasladarse al lugar. Se debe realizar una supervisión y evaluación periódica de la estación a fin de determinar: que los instrumentos estén en buen estado y perfectamente calibrados, que los observadores efectúen las mediciones correctamente en el horario establecido y de que sean competentes y responsables, que exista uniformidad en los métodos de observación con base a la Normas

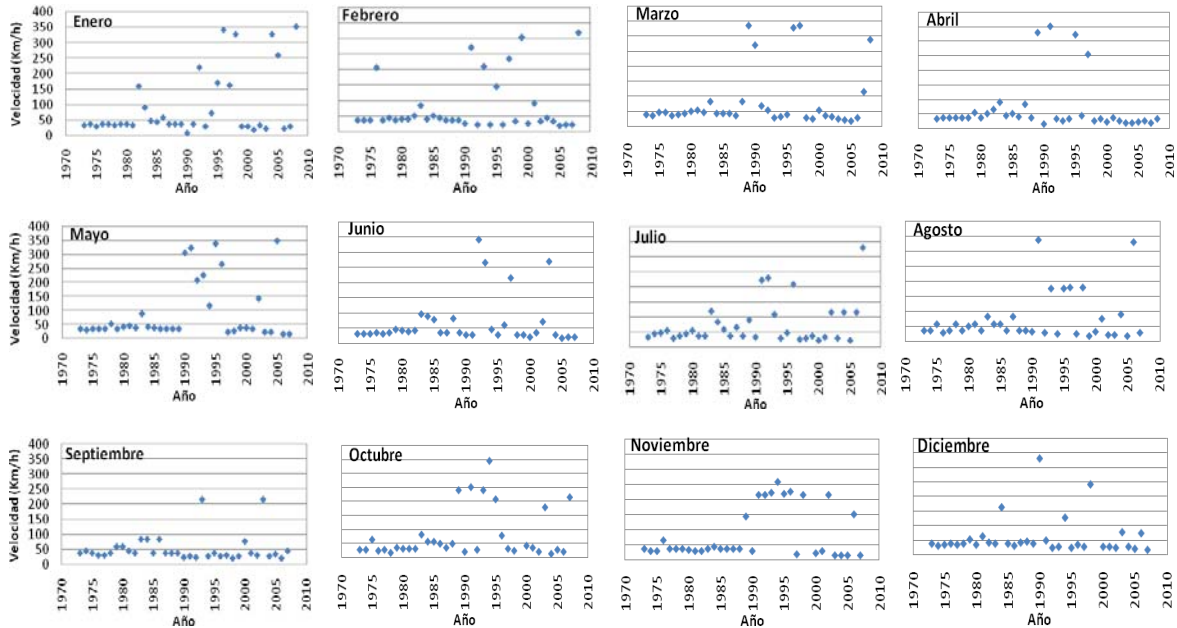
Internacionales de la OMM, que se elaboren correctamente los registros de la información meteorológica, que se disponga de un programa total de información y movimiento de archivos que permita por su flexibilidad una gran agilidad en el ordenamiento y presentación de la información original, de acuerdo a las distintas exigencias de los usuarios.

De la base de datos de las estaciones sinópticas, se hicieron gráficas de velocidades en km/h vs. año para las estaciones de Chetumal (Quintana Roo) y Acapulco (Guerrero), ya que se encuentran en regiones vulnerables a la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos como huracanes, tormentas tropicales, etc., y con el fin de observar las tendencias en velocidades mensuales y evaluar el comportamiento de los vientos en la costa Atlántica y Pacífica.

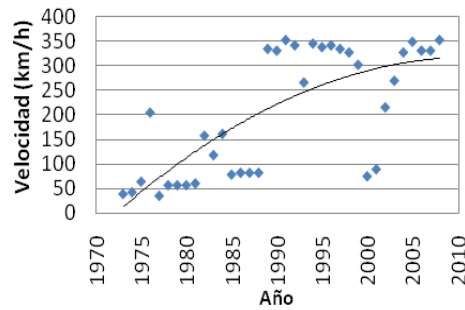
A continuación se muestra los datos y el análisis de estas estaciones.

**Estación Chetumal**

En la figura 3.2a se muestra los datos de velocidades de viento mensual para la estación de Chetumal (costa Atlántica). En la mayoría de los meses se observaron velocidades superiores a 300 km/h entre 1990 y 2000, de lo que no existe al parecer ninguna explicación. La media de los datos fue menor a 100 km/h. La figura 3.2b muestra las velocidades máximas anuales como el valor máximo entre los 12 meses del año, en esta figura se observa que las velocidades más grandes se registraron entre los años de 1990 a 2007, esto muestra una tendencia al aumento en las velocidades de viento. En los años 2000 y 2001 se nota una baja a valores menores de 100 km/h. Aunque no se muestra la tendencia por la baja correlación, estas velocidades anuales aparentemente tienden a aumentar con el paso del tiempo.



(a) Velocidad máxima mensual

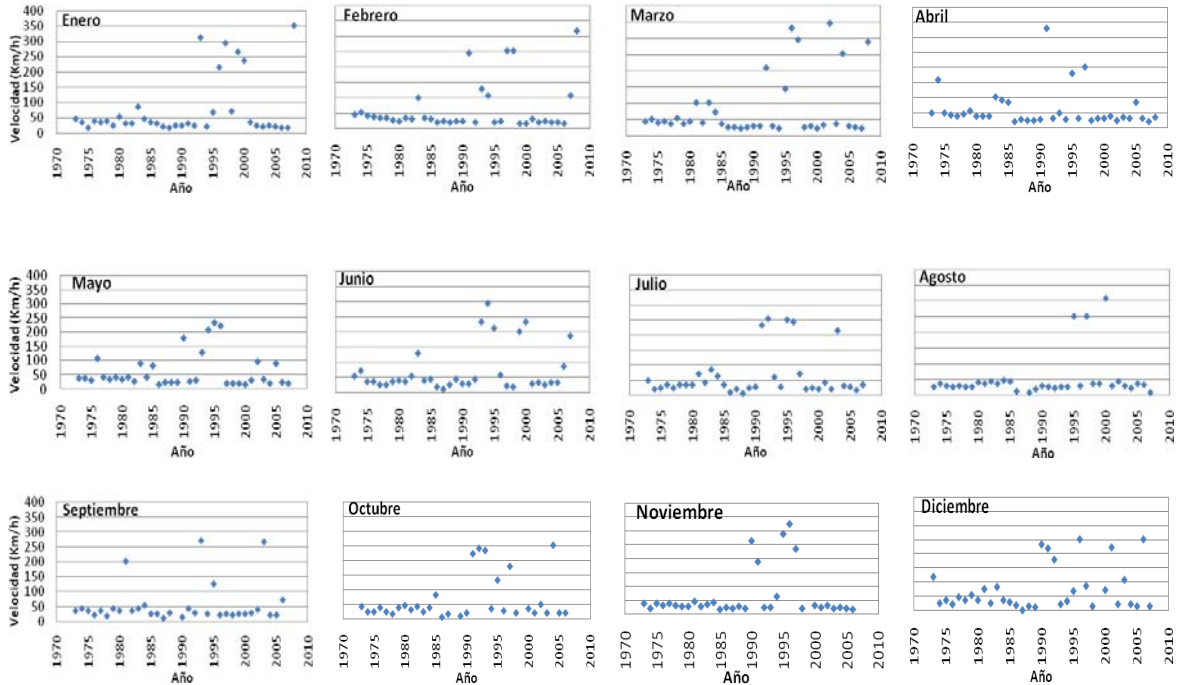


(b) Velocidad máxima anual

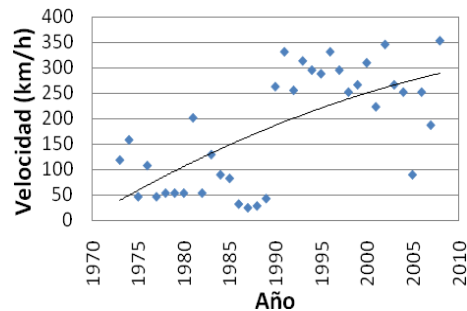
Figura 3.2 Datos de velocidades mensuales (a) y anuales (b) para la estación sinóptica de Chetumal

## Estación Acapulco

Para la costa Pacífica se eligió la estación de Acapulco, la figura 3.3a muestra que las velocidades máximas mensuales son mayores a 250 km/h, con promedio de velocidades menores a 100 km/h. En la mayoría de meses se observan velocidades altas entre 1993 y 2005. Para las velocidades máximas anuales como se muestra en la gráfica 3.3b se observa un marcado aumento en las velocidades de viento entre 250 km/h y 350 km/h en un periodo de 18 años (1990 al 2008). La tendencia anual al igual que para la estación de Chetumal es en aumento.



(a) Velocidad máximas mensual



(b) Velocidad máxima anual

Figura 3.3 Datos de velocidades máximas mensuales (a) y anuales (b) para la estación sinóptica de Acapulco

Debido a las velocidades excepcionalmente altas mostradas por estas estaciones se procedió a verificar su validez. Se comparó con registros de huracanes que han impactado a México desde 1970 hasta el 2006 (base de datos del SMN), de estos registros los huracanes con mayor velocidad de viento fueron Gilbert con 287 km/h, Wilma y Katrina con 230 km/h para el año de 1988 y 2005 respectivamente. Se observó que para la estación de Acapulco existen datos de



velocidades que no representaron velocidades de huracanes. Con respecto a las velocidades de viento del Atlántico y Pacífico, se observó un comportamiento similar con velocidades altas en casi todos los meses del año y con la misma frecuencia en ambas costas. Debido a estos errores en registros, mediciones, falta de mantenimiento o alguna causa que pudiera haber alterado la información original, no se consideró pertinente tener en cuenta estos datos para nuestro análisis.

### **3.2.2 Datos de velocidades de estaciones meteorológicas automáticas (SMN-CNA)**

Al igual que las Estaciones Sinópticas, la Unidad del Servicio Meteorológico Nacional administra la red de estaciones meteorológicas Automáticas (EMA) pertenecientes a la Comisión Nacional del Agua. Estas estaciones transmiten al Satélite GOES y sus datos son registros de promedios de cada 10 minutos durante las 24 horas del día, para todos los días del año y se encuentran en unidades de km/h. Una estación automática está conformada por un conjunto de sensores que registran y transmiten información meteorológica de forma automática. Su función principal es la recopilación y monitoreo de algunas variables meteorológicas para generar archivos de promedios durante 3 horas para cada variable, esta información luego es enviada vía satélite en intervalos de 1 a horas por estación. La hora de transmisión que aparecen en la base de datos está referida al tiempo del meridiano de Greenwich, es decir -6 ó -5 horas, tiempo del centro según sea el horario de invierno o verano. El registro de las velocidades de viento se realiza en km/h, tomadas por anemómetros de copas y corresponden al promedio aritmético de un lapso de 10 minutos y 5 segundos a 10 metros sobre el terreno.

En total son 117 estaciones, cada una está conformada por grupos de sensores que registran y transmiten información meteorológica de forma automática a los sitios donde se encuentran colocadas.

Los sensores que integran las estaciones automáticas son: sensor de velocidad del viento, sensor de dirección del viento, sensor de temperatura y humedad relativa, sensor de radiación solar, sensor de precipitación y panel solar. Estos sensores que registran las velocidades de viento están conformados por un ensamble de copas suspendidos y balanceados por un sistema superior y más abajo por rodamientos de acero inoxidable, que mientras las copas giran, un imán provoca una serie de contactos. El rango de operación de estos anemómetros de copas son de 0 a 241 km/h, una precisión de  $\pm 0.4\%$  y velocidad máxima de 240 km/h entre otras características. En la figura 3.4 se muestran los dos tipos de estructuras donde van montadas las estaciones automáticas.

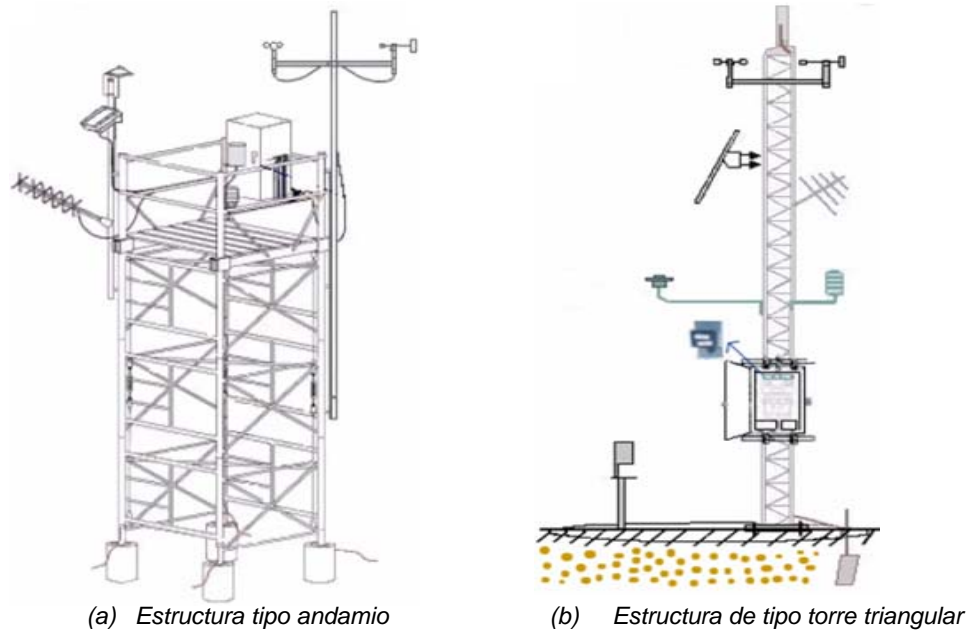
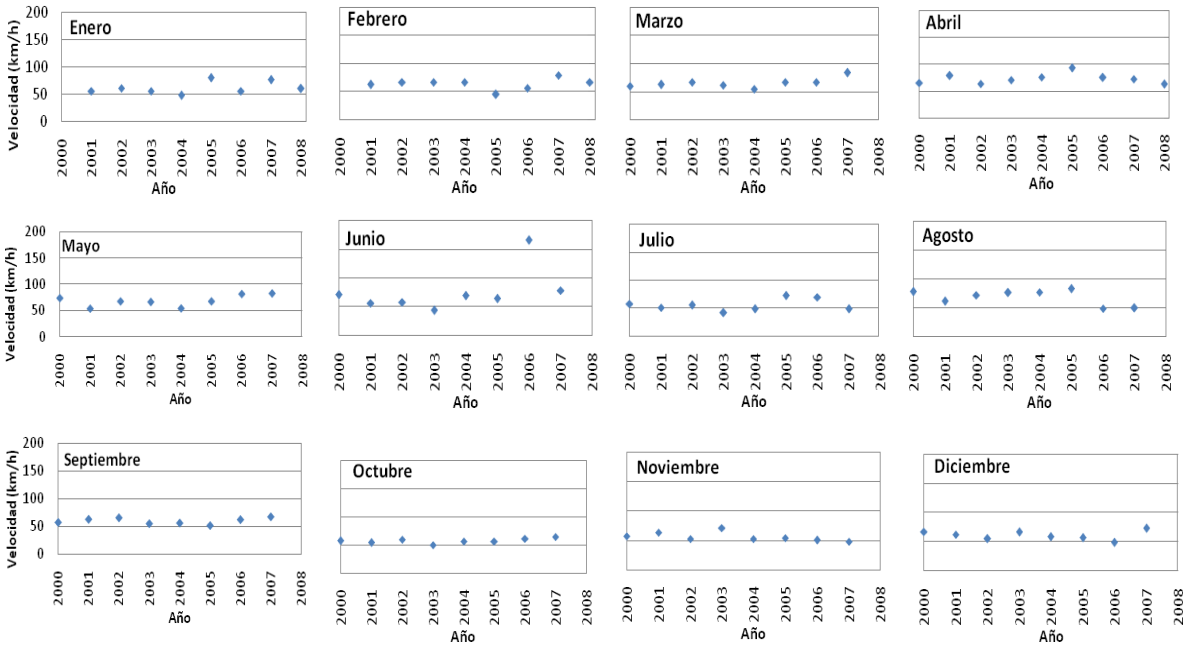


Figura 3.4 Estructuras para el montaje para las estaciones automáticas (Servicio Meteorológico Nacional, Descripción de una Estación Meteorológica Automática, <http://smn.cna.gob.mx/productos/emas/doc/estacion.html>)

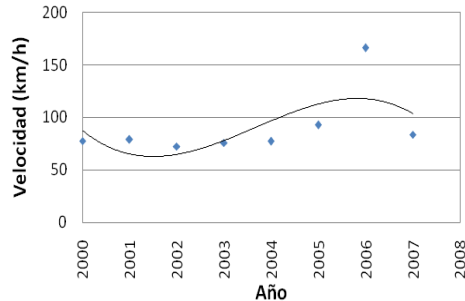
Con esta base de datos de velocidades de viento, se procedió a verificar si existe alguna tendencia significativa en intensidad, magnitud y periodicidad en relación con el calentamiento global. Se escogieron las velocidades máximas por ser las que están más correlacionadas con el daño y se realizaron gráficas de velocidad del viento vs. años de medición para cada mes del año y se obtuvieron tendencias lineales para cada una de ellas. Las estaciones automáticas escogidas son Mexicali (B.C.), Acapulco (Guerrero), Cancún y Chetumal (Quintana Roo), Jalapa (Veracruz), Matamoros (Tamaulipas), Tizapan (Jalisco) y el Nevado de Toluca (Toluca), cubriendo las costas Pacífica y Atlántica y la zona centro. El criterio que se utilizó para analizar estas estaciones fue el analizar los registros de viento y compararlos en toda la zona costera del país, además de verificar la veracidad de los datos con fenómenos hidrometeorológicos ocurridos en esas ubicaciones. Estas estaciones son más nuevas que las sinópticas, por lo que la base de datos es de tan solo 9 años (1999 al 2008). A continuación se presenta la información para las estaciones mencionadas.

**Estación Mexicali**

En la figura 3.5a se muestran los datos para la estación de Mexicali. Las velocidades registradas son menores a 100 km/h para la mayoría de los meses, excepto para el 22 junio del 2006 donde se registró una velocidad de 166 km/h. Este valor máximo no corresponde a ningún registro de huracanes ya que Mexicali por su ubicación no recibe este tipo de eventos meteorológicos. Además se investigó la información de esta fecha en el periódico “El Mexicano” de Mexicali y no se halló alguna noticia sobre la ocurrencia de algún evento natural. En la figura 3.5b se observan registros de velocidades máximas anuales con valores menores a 100 km/h y un incremento de velocidad para los meses de marzo, mayo, junio, septiembre, octubre y diciembre en el año del 2005 al 2007. La tendencia anual de la muestra es al aumento de velocidades de los últimos 2 años (2005 y 2006), aunque el 2007 muestra un valor máximo del orden de los años previos.



(a) Velocidad máxima mensual

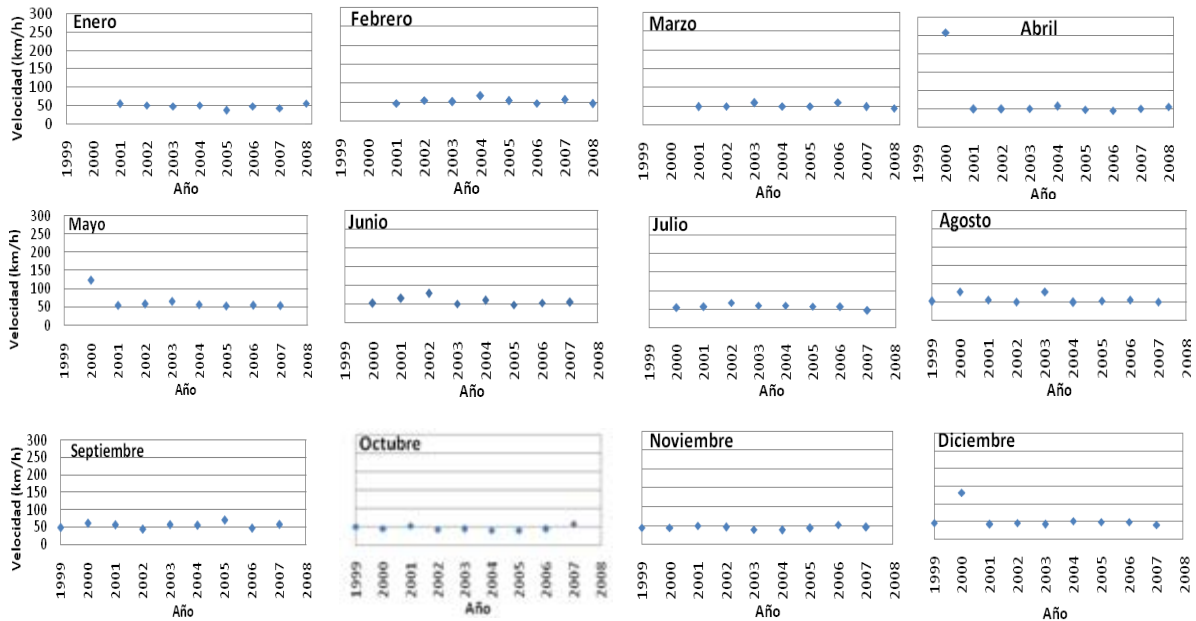


(b) Velocidad máxima anual

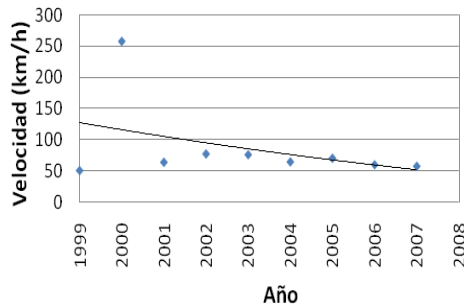
Figura 3.5 Datos de velocidades máximas mensuales (a) y anuales (b) para la estación automática de Mexicali

**Estación Tizapan**

En la figura 3.6a se muestran las velocidades mensuales para la estación de Tizapan (Jalisco), donde se registraron velocidades máximas de 258 km/h (05 de abril del 2000), 125 km/h (17 de mayo del 2000) y 131 km/h (22 de diciembre del 2000) como máximas mensuales. Esta estación aunque no esté ubicada en zona costera, presenta velocidades máximas para 5 de abril, 17 de mayo y 22 de diciembre del 2000 que según el diario “El Informador” de Guadalajara no concuerdan con datos de vientos producidos por eventos naturales y se consideran registros incorrectos y en los que no podemos confiar. En la figura 3.6b las velocidades en los últimos años disminuyen en comparación a años anteriores, lo que sugiere una tendencia negativa al aumento de velocidad con solo un evento mayor ocurrido en el año 2000 mayor a 250 km/h.



(a) Velocidad máxima mensual



(b) Velocidad máxima anual

Figura 3.6 Datos de velocidades máximas mensuales (a) y anuales (b) para la estación automática de Tizapan

**Estación Acapulco**

En la figura 3.7a las velocidades más altas registradas por la estación de Acapulco no son mayores a 100 km/h en la mayoría de meses. Las velocidades máximas fueron de 93 km/h (30 de julio de 2005) y 89 km/h (5 de julio de 1999). En la figura 3.7b se muestran las velocidades máximas anuales, los años con mayor actividad fueron 1999 y 2005. La tendencia de la velocidad del viento es a la baja en los últimos 3 años, ya que después del evento del 2005 las velocidades máximas fueron menores a 62 km/h.

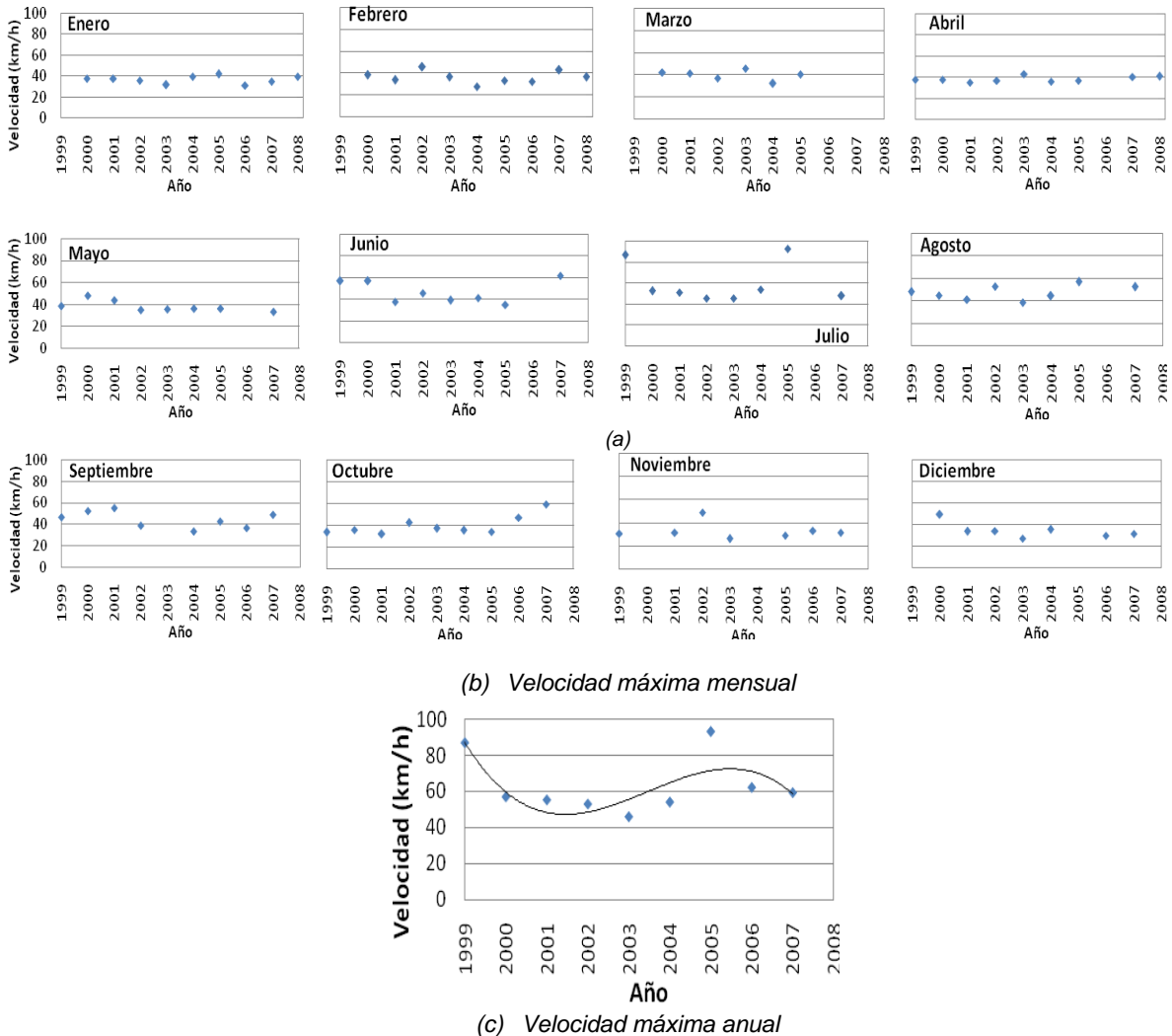


Figura 3.7 Datos de velocidades máximas mensuales (a) y anuales (b) para la estación automática de Acapulco

Se podría concluir entonces que los datos de velocidades para las estaciones Mexicali, Tizapan y Acapulco ubicadas en la Costa Pacífica no presentan ninguna tendencia de aumento en las velocidades desde 1999 al 2007, debido a que los datos extraordinarios con velocidades altas de viento no se reportaron en los medios como eventos históricos lo que significa que la velocidad del

viento para esta zona no ha sufrido cambios significativos que se puedan relacionar con el calentamiento global.

**Estación Chetumal**

En la figura 3.8a se muestra la estación de Chetumal (costa Atlántica), donde las velocidades mensuales fueron menores a 100 km/h a excepción de 143 km/h (2 de enero del 2001) y 86.3 km/h (21 de agosto del 2001). Esta fecha fue comparada con información del periódico “Novedades de Quintana Roo” y no se encontró alguna noticia sobre eventos ocurridos en esas fechas y que hayan significado la ocurrencia de algún fenómeno meteorológico. Se nota la ausencia de datos para los años de 2004 y 2007. En la figura 3.8b las velocidades anuales presentaron una tendencia a la baja con un solo evento máximo para el año 2001, en las velocidades de viento de los últimos 7 años.

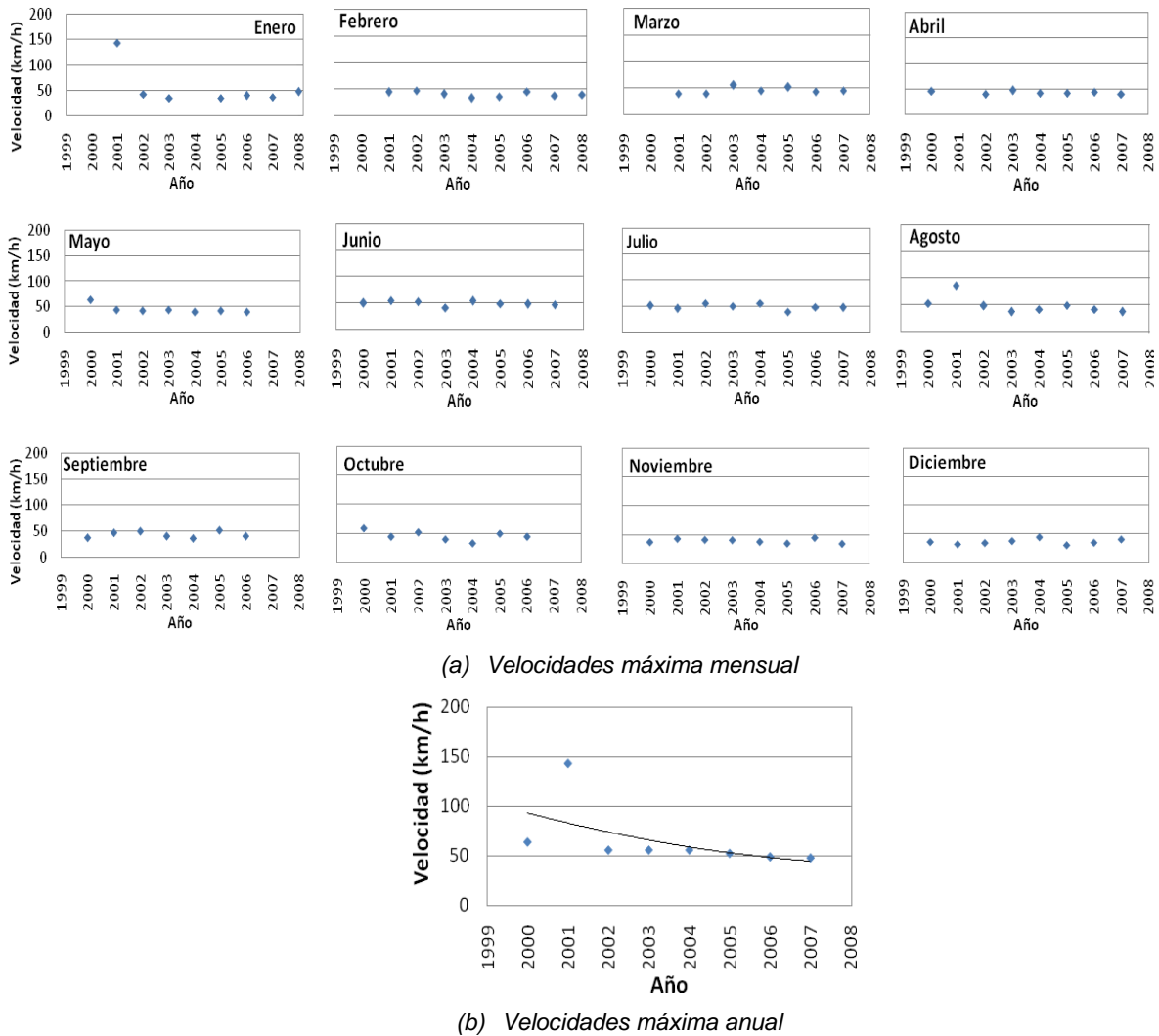
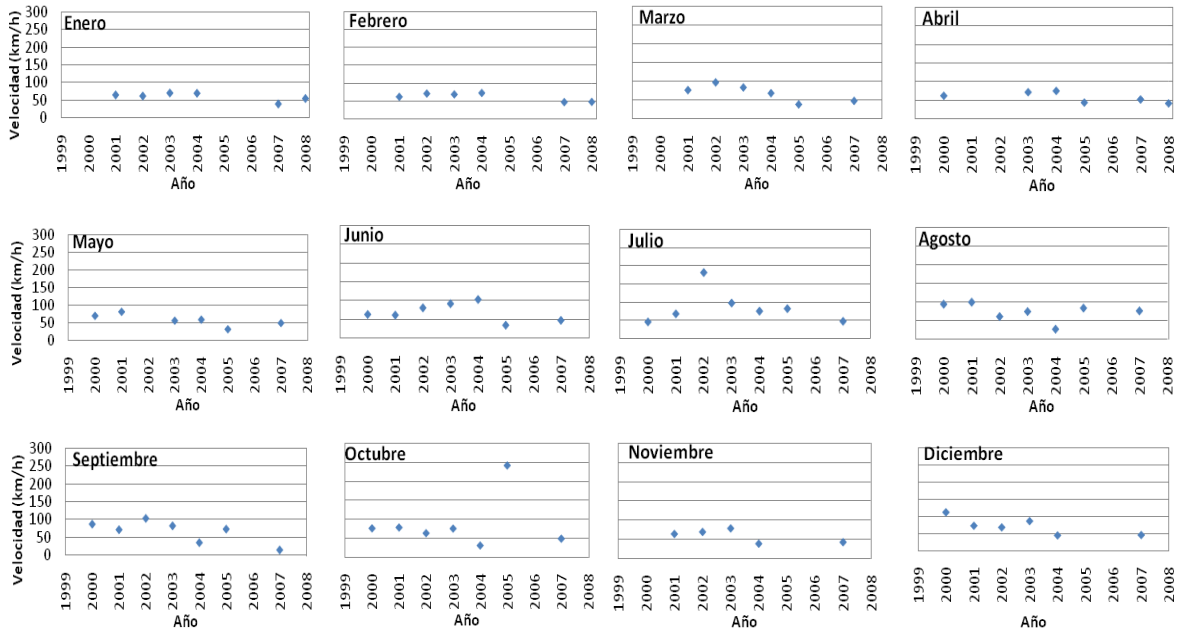


Figura 3.8 Datos de velocidades máximas mensuales (a) y anuales (b) para la estación automática de Chetumal

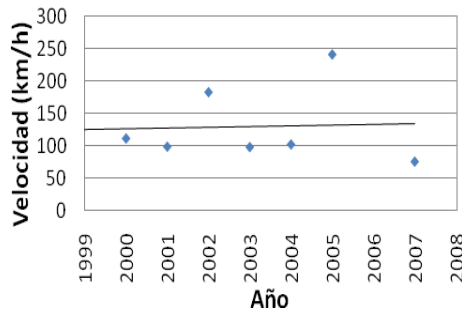


**Estación Cancún**

En la figura 3.9a las velocidades máximas mensuales para la estación de Cancún presentaron valores menores a 100 km/h en casi todos los meses del año, con valores máximos 183 km/h (10 de julio del 2002) y 241 km/h (21 de octubre del 2005). Para esta estación se encontró que el dato correspondiente a octubre del 2005 correspondía a la ocurrencia del huracán (Wilma). Esto demuestra que para las estaciones anteriores los eventos máximos no estaban correctos y que no representan una fuente confiable. En la figura 3.9b no se aprecia ninguna tendencia en las velocidades anuales.



(a) Velocidad máxima mensual

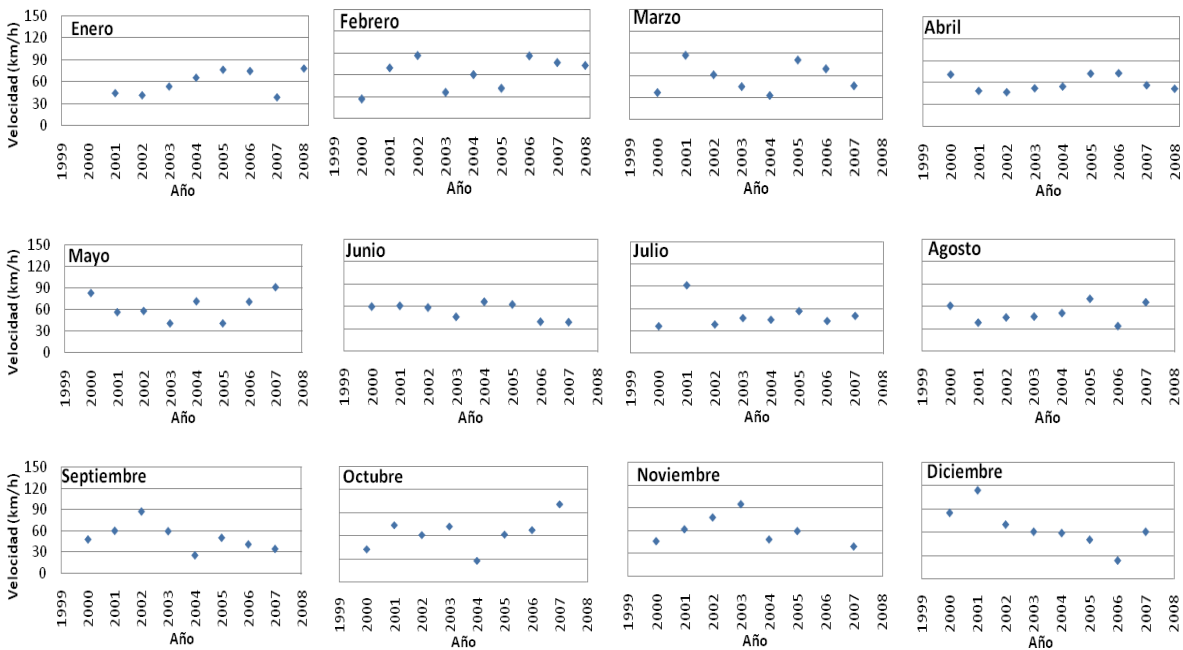


(b) Velocidad máxima anual

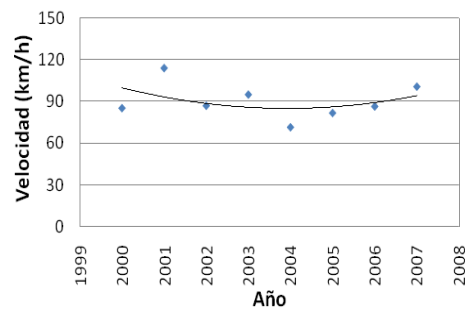
Figura 3.9 Datos de velocidades máximas mensuales (a) y anuales (b) para la estación automática de Cancún

## Estación Jalapa

En la figura 3.10a las velocidades máximas anuales para la estación de Jalapa resultaron para la mayoría de los meses menores a 90 km/h excepto para el 21 de octubre del 2007 registrando una velocidad de 101 km/h y el 9 de diciembre de 2001 con una velocidad de 114 km/h. Estos registros fueron comparados con lo publicado por periódico “El diario de Xalapa” sin obtener ninguna noticia sobre algún evento natural ocurrido para estas fechas. Se observa que para la mayoría de meses las velocidades de viento presenta un comportamiento cíclico. En la figura 3.10b las velocidades máximas anuales no pasan de 120 km/h con un descenso en la velocidad del viento de 101 km/h a 78 km/h entre 2007 y 2008. Comparado con años anteriores estas velocidades son menores que las máximas para esta estación.



(a) Velocidad máxima mensual



(b) Velocidad máxima anual

Figura 3.10 Datos de velocidades máximas mensuales (a) y anuales (b) para la estación automática de Jalapa

**Estación Matamoros**

En la figura 3.11a estación de Matamoros, las velocidades mensuales más altas corresponden a 131 km/h (12 de abril del 2003) y 125 km/h (13 de septiembre del 2001). Para Matamoros estos registros de velocidades máximas no corresponden a ningún evento registrado por los medios de comunicación del diario “El Mañana” y tampoco con la base de datos del SMN sobre ciclones que han tocado tierra en México. Las velocidades para el resto de meses estuvieron entre 30 y 60 km/h. En la figura 3.11b se observa que la tendencia anual durante estos 8 años ha sido a la baja desde el año 2006 (de 83 km/h a 49 km/h).

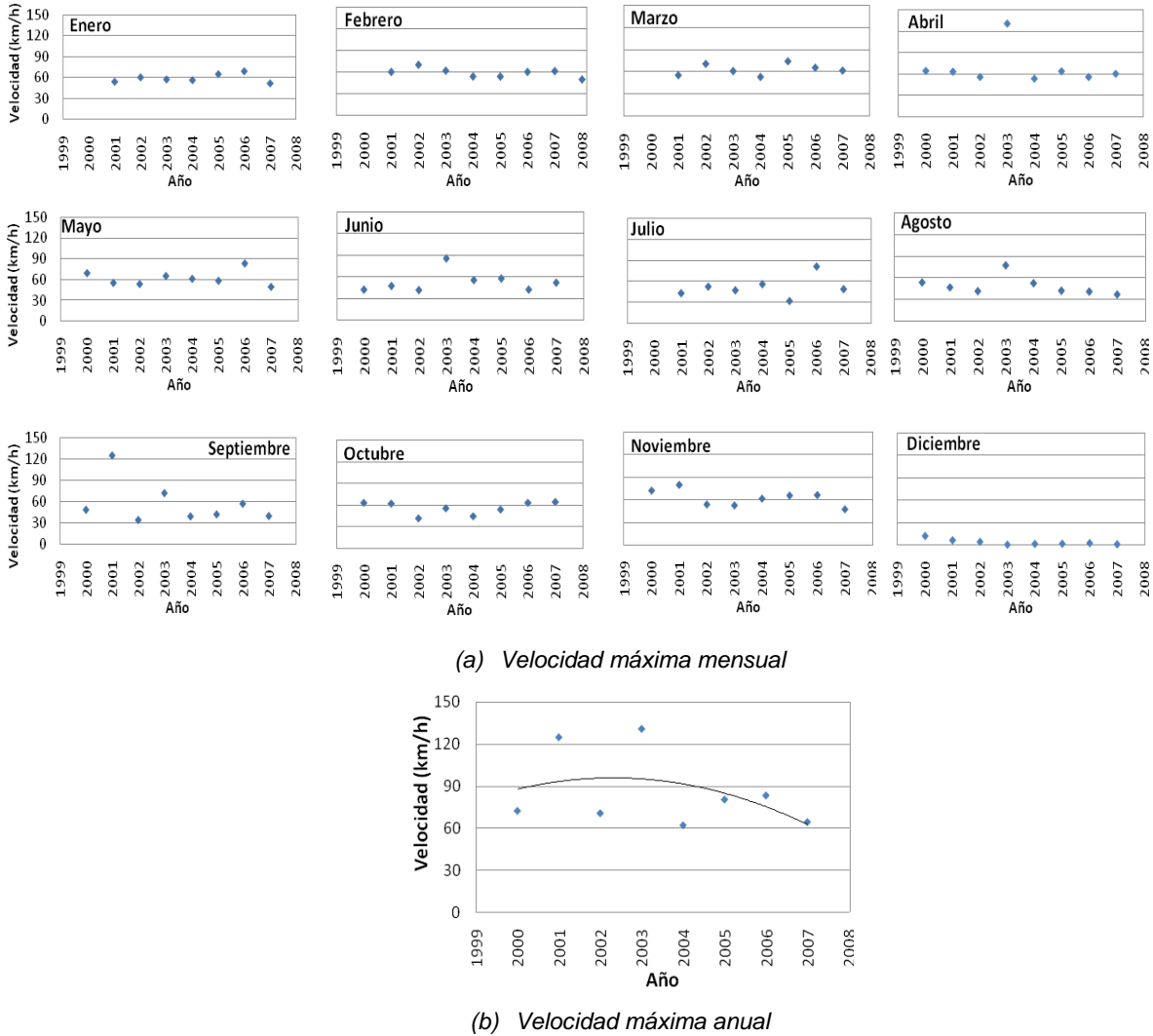
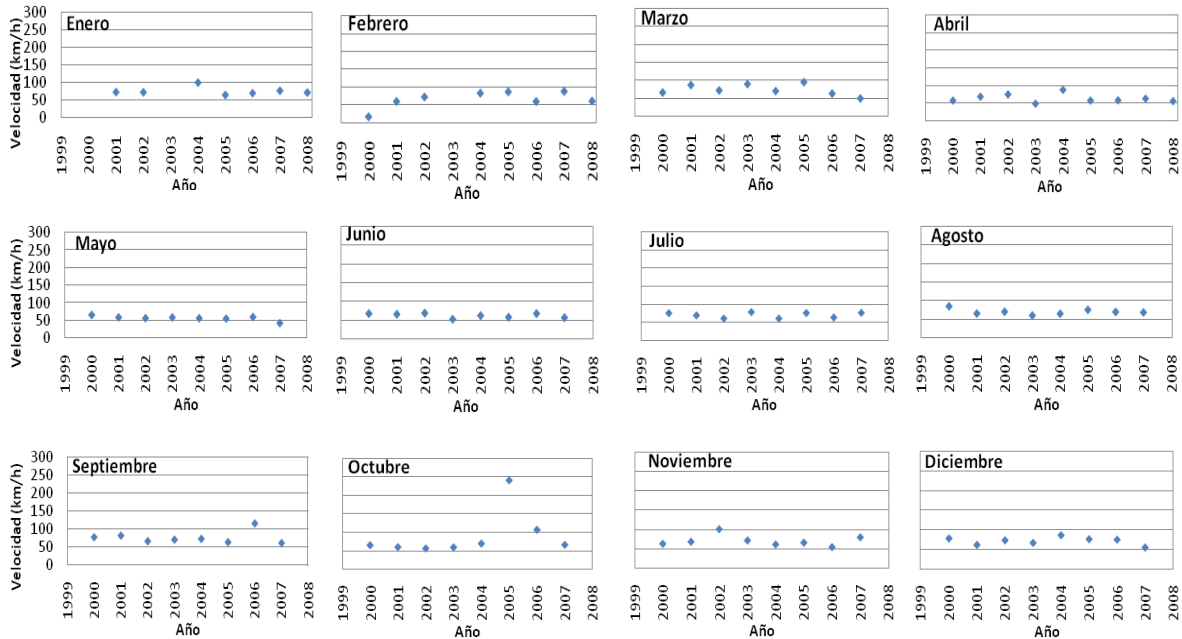


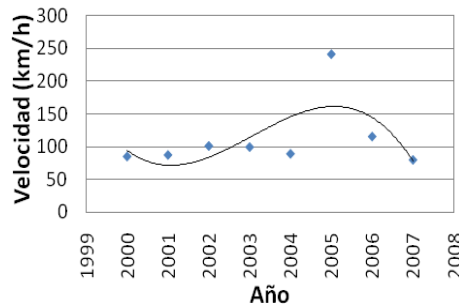
Figura 3.11 Datos de velocidades máximas mensuales (a) y anuales (b) para la estación automática de Matamoros

**Estación Nevado del Toluca**

En la figura 3.12a se muestran las velocidades máximas mensuales para la estación ubicada en el Nevado de Toluca. La velocidad máxima fue de 241 km/h (29 de octubre del 2005). En la figura 3.12b se observa una tendencia a la baja en velocidad del viento. El registro de la velocidad para el año 2005 no es consecuencia de ningún fenómeno natural ya que no se encontró ningún reporte para esa fecha, las velocidades para esta muestra fueron menores a 115 km/h. Para los últimos 3 años de registro (2006 a 2008) la velocidad ha decaído de 115 km/h a 56 km/h).



(a) Velocidad máxima mensual



(b) Velocidad máxima anual

Figura 3.12 Datos de velocidades máximas mensuales (a) y anuales (b) para la estación automática de Nevado de Toluca

La información proporcionada por el SMN de estaciones automáticas contiene menos errores que las estaciones sinópticas, debido a posibles fallas en los equipos de computación, falta de mantenimiento en los instrumentos meteorológicos, averías que no son reportadas y otros factores

que pueden dañar la calidad de estos registros. Por estas razones no constituyen una base de datos 100% confiable para realizar ningún tipo de análisis o procesamiento de datos.

Las tendencias observadas para las estaciones ubicadas en la Costa Atlántica y Pacífica no muestran la ocurrencia de huracanes más intensos ni más frecuentes que puedan producir altas velocidades. La información solo demuestra que los datos que correspondientes a eventos máximos (extraordinarios) no coinciden con registros de huracanes, ni de fenómenos hidrometeorológicos ocurridos en esas fechas. Además se observó que para la mayoría de estas estaciones después del 2005 las tendencias de las velocidades han ido a la baja prueba de que no hay relación con el cambio climático. En algunos estudios realizados hace algunos años se mencionaba que el calentamiento global era el causante de que el año 2005 tuviera tantos eventos catastróficos, sin embargo estudios comprueban que las velocidades de viento en estos últimos años no han vuelto a aumentar lo que podría desestimar la teoría del calentamiento global y la ocurrencia de los huracanes.

### 3.2.3 Fuente de datos de velocidades de viento del programa NCEP/NCAR de la NOAA

Los datos de viento del programa NCEP/NCAR (Reanalysis Project del Climate Diagnostics Center a los que se puede acceder a través de su página en internet ([www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis](http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis)), constituye una base de datos muy útil, ya que incluye información meteorológica (medida y estimada) de todo el mundo, de 1949 hasta el 2006. Los datos están en una malla espaciados a 2 grados en longitud y latitud con datos a cada 6 horas. La información para la República Mexicana corresponde a 59 celdas a lo largo del litoral, los datos de viento medio (promedio de 6 horas en un área de 2° x 2°). Con el fin de comparar los datos existentes (estaciones meteorológicas automáticas) y las de la NOAA, se identificaron los vientos máximos por mes para cada punto a fin de poder graficarlos y obtener una muestra representativa que nos permita observar su comportamiento a lo largo del tiempo. En la figura 3.14 se observa la distribución de la malla de datos alrededor de la República Mexicana.

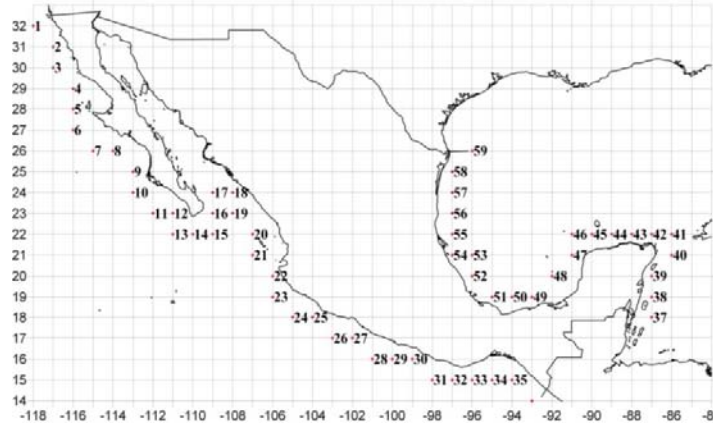


Figura 3.14 Ubicación de los centros de gravedad de las celdas para vientos medios, NOAA

Se compararon los valores de vientos máximos para cada año, dos, cinco y diez años en diferentes puntos de la malla, con el fin de poder determinar alguna tendencia ya sea a aumentar o disminuir los vientos máximos de forma individual. Para esto se realizaron los análisis en los puntos 8, 31, 42 y 52, escogidos al azar para ver el comportamiento de los vientos, tanto en el Pacífico como en el Atlántico.

En la figura 3.15 se muestra la velocidad máxima anual cada 2, 5 y 10 años en los puntos 8 y 31 ubicados en la Costa Pacífica. Estos valores fueron las velocidades máximas de los registros cada

6 horas para cada año. Los valores máximos anuales para cada punto muestran una tendencia negativa de aumento, con velocidades entre 38 km/h y 56 km/h (punto 8) y 39 km/h y 54 km/h (punto 31). Para el caso de vientos máximos cada 2 años, las tendencias siguen a la baja, con velocidades entre 56 km/h y 40 km/h para el punto 8 y 54 km/h y 41 km/h para el punto 31. Para las velocidades cada 5 y 10 años las tendencias que se observaron para los puntos fueron a la baja de velocidad. Las velocidades oscilaron para cada punto entre 55 km/h y 45 km/h para el punto 8 y 54 km/h y 48 km/h para el punto 31. Para estos puntos representativos del océano Pacífico se puede concluir que las tendencias presentadas para los años escogidos es a la baja.

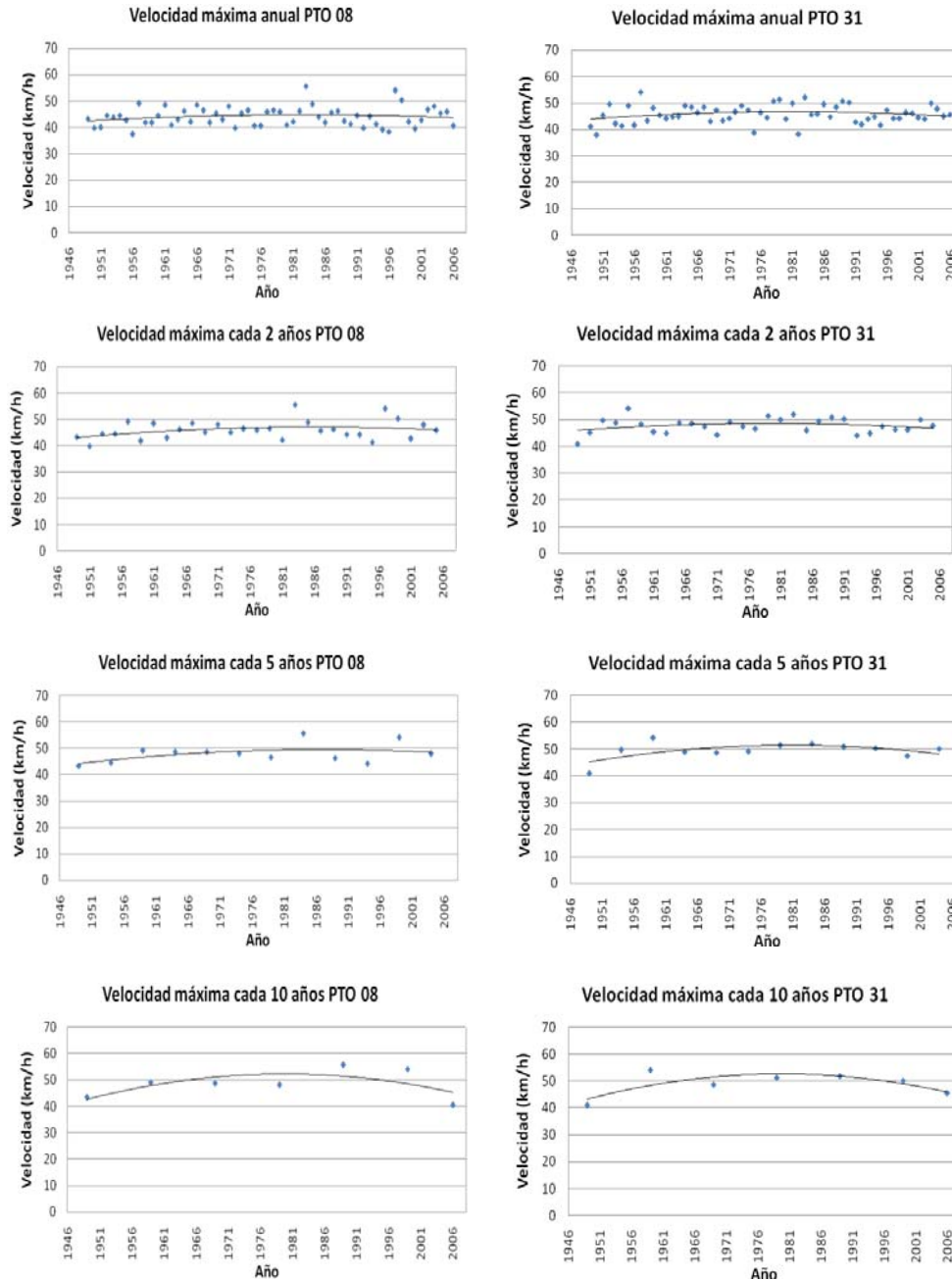


Figura 3.15 Velocidades máximas anuales para el punto 8 y 31 de la malla de la NOAA



En la figura 3.16 se presentan los puntos 42 y 52 ubicados en el océano Atlántico. Para el punto 42 los vientos máximos presentan una tendencia al aumento de velocidades con velocidades entre 64 km/h y 43 km/h, el punto 52 presenta tendencia negativa con valores entre 64 km/h y 44 km/h. Las velocidades máximas cada 2 años para el punto 42 presentan una tendencia al aumento de los últimos 3 años con un valor máximo de 66 km/h (2002), el punto 52 se mantiene con tendencia a la baja. Para las velocidades máximas cada 5 y 10 años, las tendencias se mantienen para cada punto.

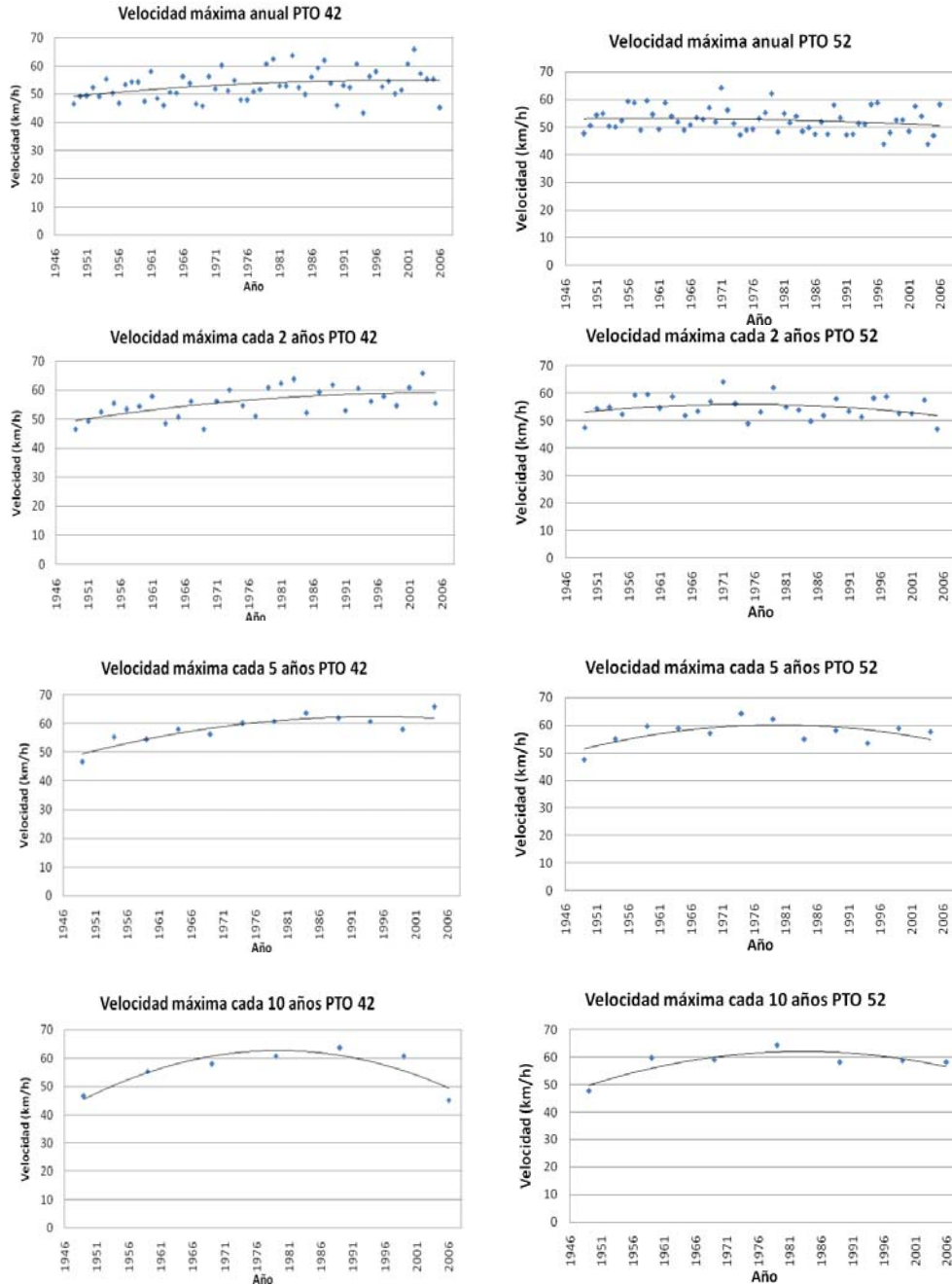


Figura 3.16 Velocidades máximas anuales para el punto 42 y 62 de la malla de la NOAA

Como conclusión se observa que las tendencias en su mayoría son a la baja. Las velocidades fueron menores a 70 km/h para todos los puntos. Esto nos demuestra que no existe tendencia al aumento y las velocidades no representan huracanes más intensos o fenómenos naturales más peligrosos y que tengan una relación con el actual calentamiento global.

También se analizaron las tendencias agrupando los puntos en 8 conjuntos para observar por regiones su comportamiento, debido a que las tendencias que se presentan a lo largo de cada nodo varían de manera considerable. En la figura 3.17 se observa la distribución de cada conjunto a lo largo de la república. Los conjuntos se organizaron de la siguiente manera:

- Caso 1, puntos 01 a 04 (Baja California)
- Caso 2, puntos 05 al 09 (una parte de Baja California Sur)
- Caso 3, puntos 10 al 19 (parte de Baja California Sur y Sinaloa)
- Caso 4, puntos 20 al 30 (Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán y Guerrero)
- Caso 5, puntos 31 al 36 (Oaxaca y Chiapas)
- Caso 6, puntos 37 a 40 (Quintana Roo)
- Caso 7, puntos 41 al 46 (Yucatán)
- Caso 8, puntos 47 al 59 (Campeche, Tabasco, Veracruz y Tamaulipas)

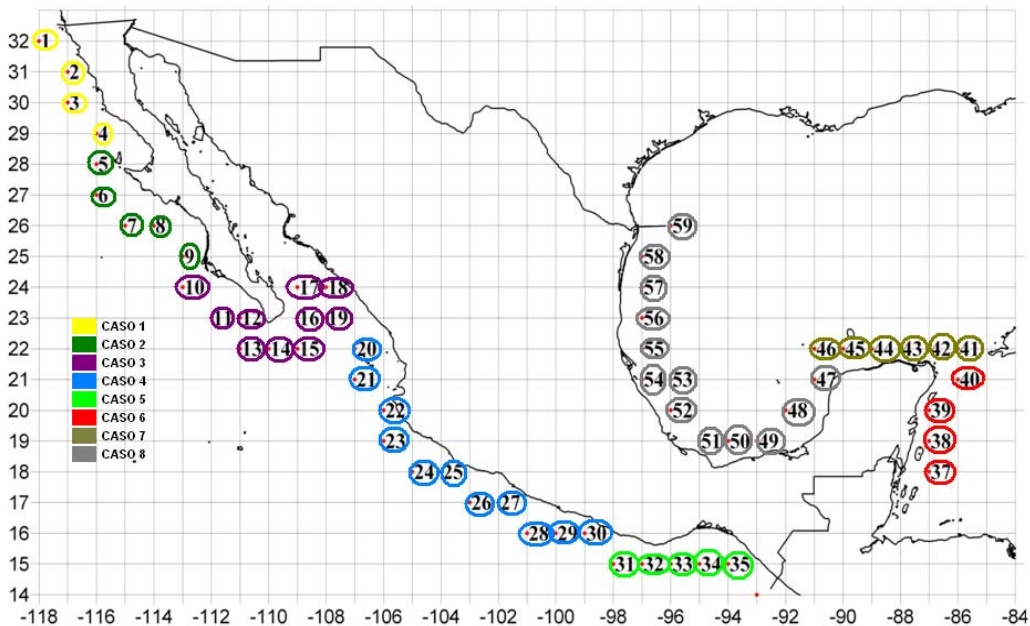


Figura 3.17 Casos de estudio para la base de datos del NOAA

En la figura 3.18 se presentan las velocidades máximas anuales para los 8 casos escogidos. Se observa que para los casos del 1 al 7 las velocidades máximas anuales oscilaron entre 40 y 60 km/h y para el caso 8 entre 60 km/h y 80 km/h. Los valores máximos de viento desde 1949 hasta 2006 presentan tendencias constantes y en algunos casos muy pequeñas al aumento. Las tendencias al igual que para los datos de las estaciones meteorológicas automáticas no representan una tendencia significativa del aumento en las velocidades de viento por calentamiento global.

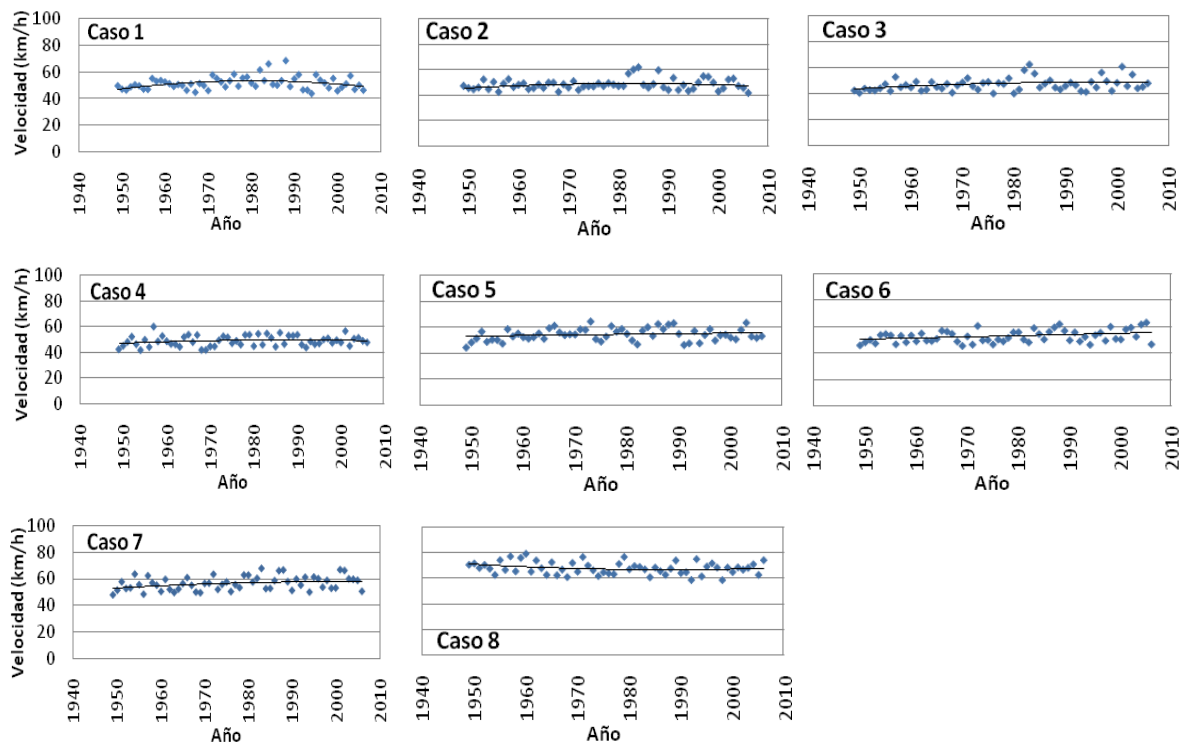


Figura 3.18 Velocidades máximas anuales para los 8 conjuntos de datos de la NOAA

### 3.3 Influencia del calentamiento global en la precipitación

#### 3.3.1 Datos de precipitación ERIC III (Extractor Rápido de Información Climatológica v.1.0 IMTA/CNA)

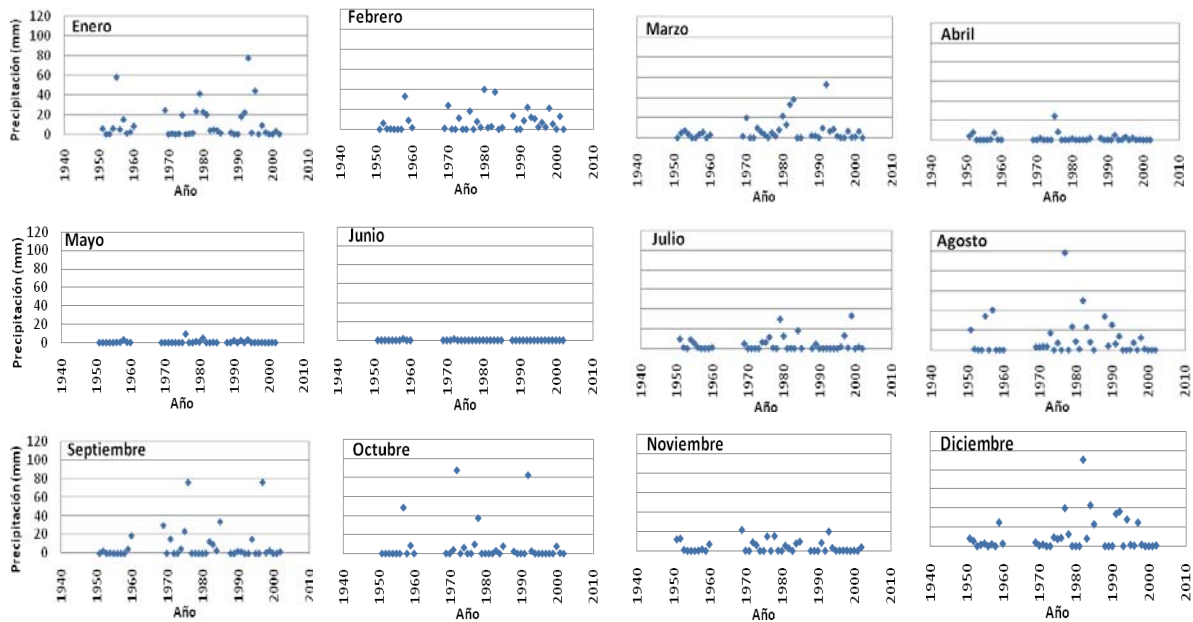
El ERIC III es una herramienta de extracción rápida de información climatológica. El programa ERIC facilita la extracción de la información del banco de datos histórico nacional del SMN, contenida en la base de datos CLICOM tal como se encontraba en agosto del 2005. La información climatológica contenida en el ERIC III es de estaciones climatológicas convencionales, cuyo instrumental base está en una caseta meteorológica con un termómetro six de máxima u mínima, un pluviómetro, un evaporímetro de cubeta tipo A y una veleta. Este programa fue generado por el IMTA con la información del SMN.

#### ***Análisis de datos de estaciones base de datos ERIC III***

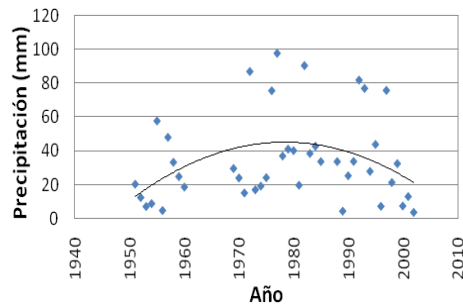
Para estudiar las tendencias en los cambios de precipitación se escogieron estaciones meteorológicas en varios lugares con el fin de observar ambas costas y el centro del país, y si hay alguna diferencia entre los datos. Se escogieron estaciones ubicadas en Mexicali (Baja California), Morelia (Michoacán) y Tuxtla Gutiérrez (Chiapas).

## Estación Mexicali

En la figura 3.19a para la estación de Mexicali, se observa que para los meses de abril a junio los registros de precipitaciones se acercaban a cero, esto por la escala que se utilizó para todos los meses pero sus valores oscilaron entre 0.1 mm y 7.6 mm. Las precipitaciones mensuales son altas para los meses de enero, agosto septiembre, octubre y diciembre. El promedio mensual de la muestra es menor a 40 mm. La figura 3.19b presenta los valores máximos de precipitación anuales para Mexicali con valores entre 75.8 mm (1976) y 98 mm (1977). La tendencia anual no es en aumento de precipitación.



(a) Precipitación acumulada mensual



(b) Precipitación acumulada anual

3.19 Datos de precipitación acumulada mensual (a) y anual (b) para la estación Mexicali ERIC III

## Estación Morelia

La figura 3.20a muestra los valores de precipitación para la estación de Morelia con datos desde 1951 al 2004. Las tendencias que prevalecen son en su mayoría constantes con valores menores a 50 mm para los meses de febrero, noviembre y diciembre. Para los meses de junio, julio, agosto, septiembre, octubre y diciembre hubo gran actividad con precipitaciones entre 100 mm y 300 mm. En la figura 3.20b se observan precipitaciones entre 150 mm y 300 mm, la tendencia para esta estación es negativa.

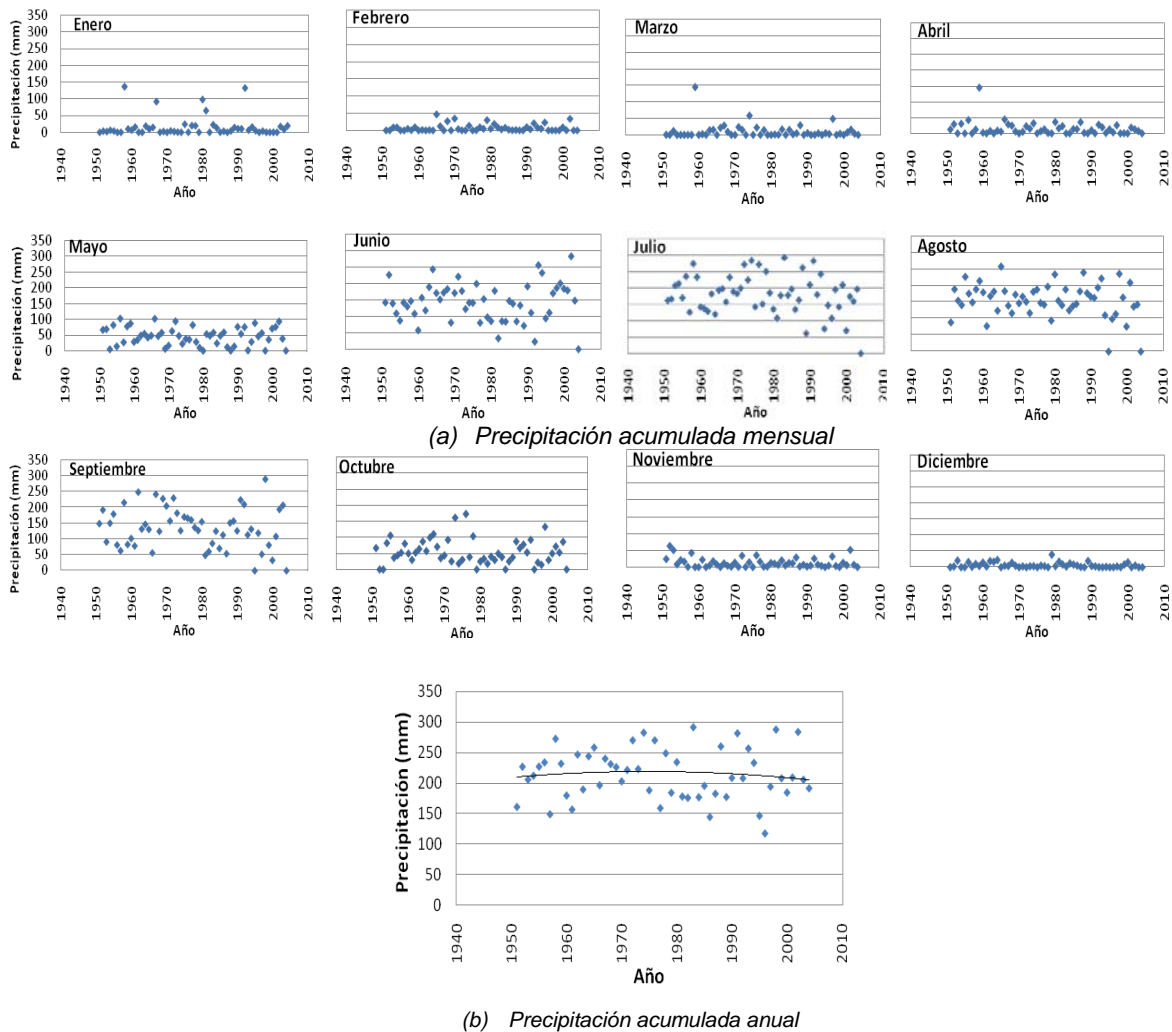
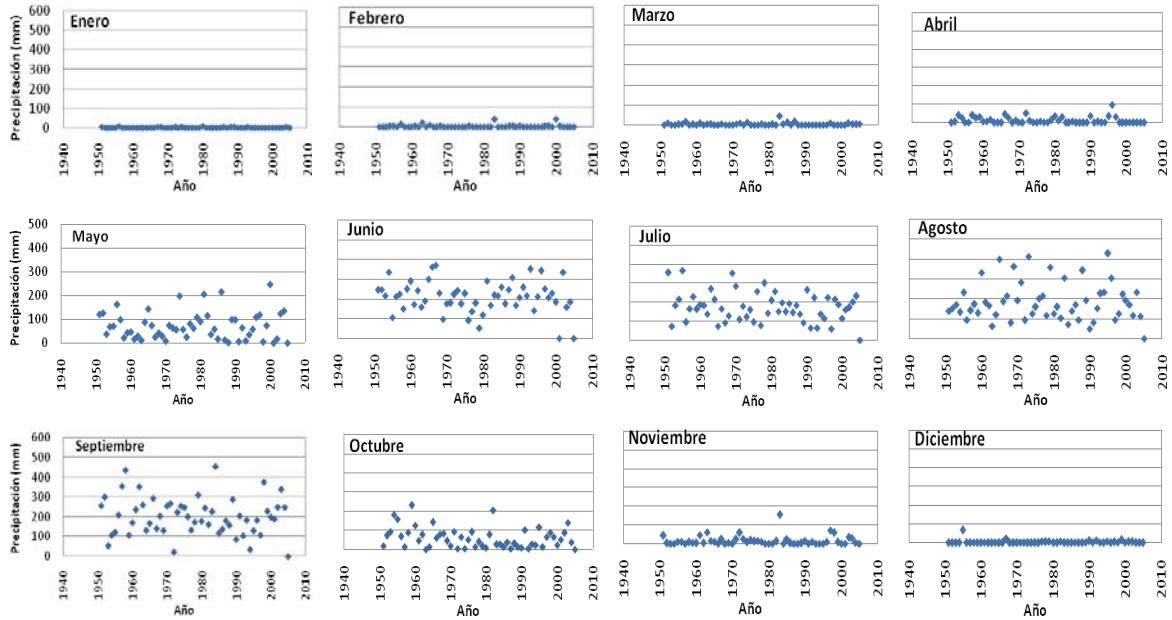


Figura 3.20 Datos de precipitación acumulada mensual (a) y anual (b) para la estación Morelia ERIC III

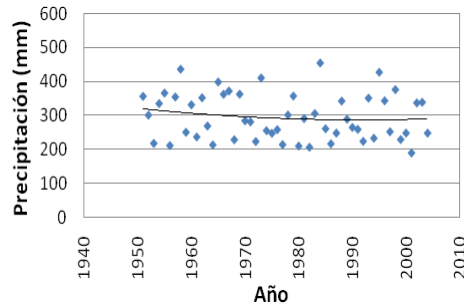
## Estación Tuxtla Gutiérrez

La figura 3.21a las precipitaciones mensuales para Tuxtla Gutiérrez aunque con datos desde 1951-2005, posee un comportamiento similar a Veracruz ya que por los meses de junio hasta noviembre tiene valores de 100 mm. Sus valores máximos son de 454 mm para septiembre del 1984 y 435.6 mm de para septiembre de 1958. En general los valores máximos oscilan entre 100 mm y 400 mm, y se observa también que los meses de mayo y octubre los valores de precipitaciones de 100 mm

son menores que para los meses con más precipitación (junio a octubre) con valores de hasta 300 mm. En la figura 3.21b la tendencia anual para esta estación presenta un comportamiento constante y tendencia muy baja a lo largo de la muestra, sus valores están entre 200 mm y 450 mm.



(a) Precipitación acumulada mensual



(b) Precipitación acumulada anual

Figura 3.21 Datos de precipitación acumulada mensual (a) y anual (b) para la estación Tuxtla Gutiérrez ERIC III

En general, las estaciones ubicadas en las zonas costeras y centro del país presentaron tendencias negativas. Solo se vio que para los últimos años los valores eran menores que los años pasados aunque en algunos meses fueran mayores a la precipitación media. La precipitación en las estaciones costeras del país como Quintana Roo, y zona centro no presenta un aumento en los últimos años. Esto nos demuestra que no existe una relación que pueda relacionar el calentamiento global con el aumento de precipitaciones.

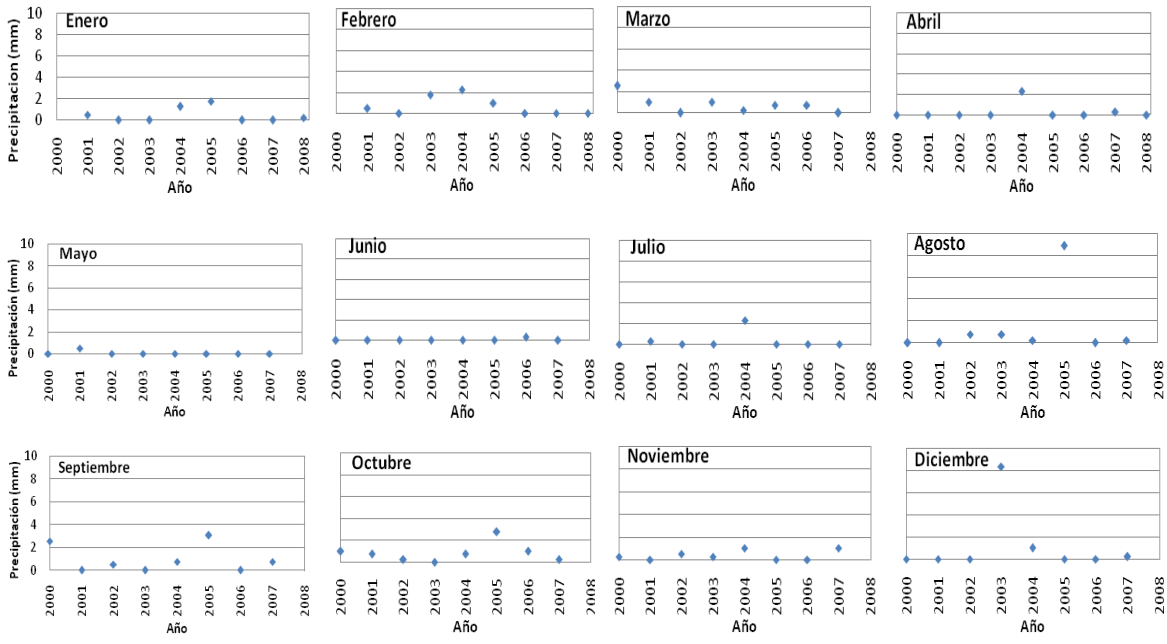
### 3.3.2 Datos de precipitación de estaciones meteorológicas automáticas (SMN-CNA)



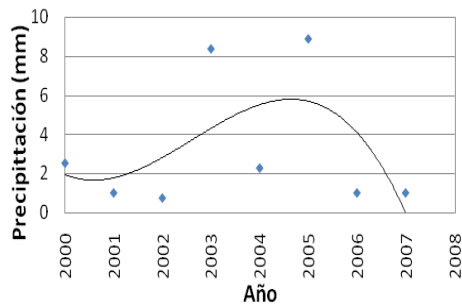
Se analizaron valores de precipitación de lluvia acumulada para las mismas ciudades que la base de datos de viento (Mexicali, Tizapan, Acapulco, Matamoros, Jalapa, Cancún, Chetumal y Nevado de Toluca). Se realizaron gráficas de precipitación vs. años de medición y se obtuvieron tendencias que se ajustaron a los datos de estudio.

**Estación Mexicali**

En la figura 3.22a se muestran las precipitaciones máximas para la estación de Mexicali. Se registraron precipitaciones de 8.9 mm (10 de agosto del 2005) y 8.38 mm (4 de diciembre del 2004) como las máximas de la muestra; estas precipitaciones fueron comparadas con registros históricos de diarios de la localidad donde no se encontró ningún evento ocurrido en estas fechas. Las precipitaciones máximas para agosto del 2005 y diciembre del 2003 fueron 5.8 mm y 15.3 mm, respectivamente. La figura 3.22b muestra la precipitación acumulada anual desde el 2000 al 2008, la tendencia resulta ser a la baja en las precipitaciones con el registro de dos eventos en el 2003 y 2005 menores a 10 mm. Para la mayoría de la muestra las velocidades anuales son menores a 3 mm.



(a) Precipitación máxima mensual

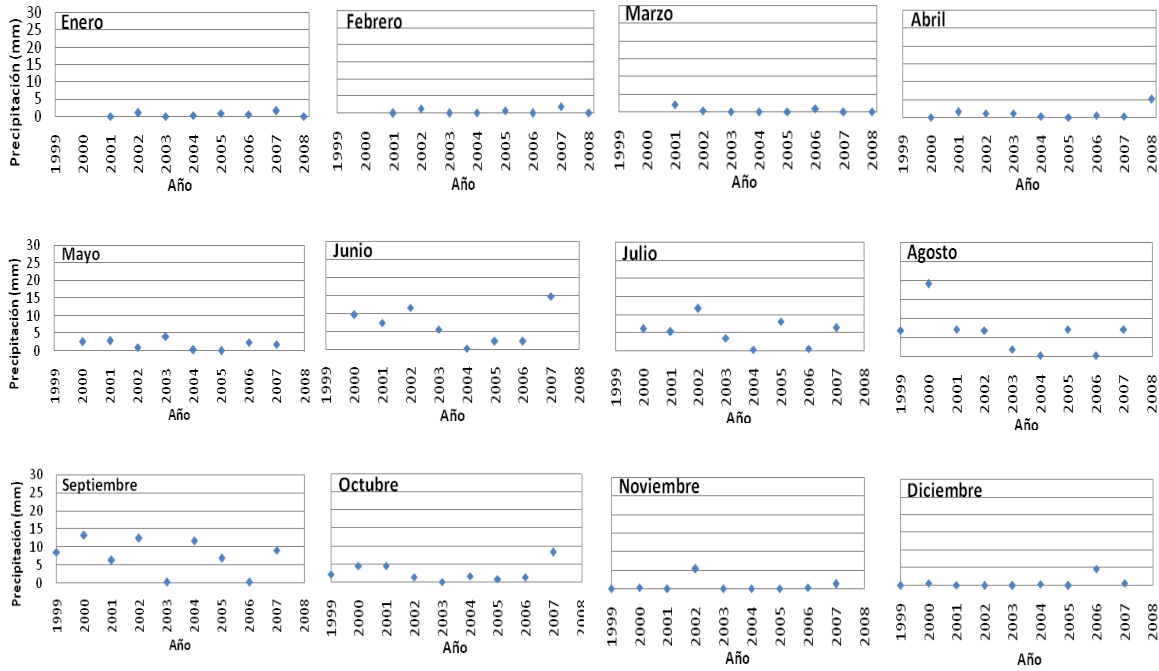


(a) Precipitación máxima anual

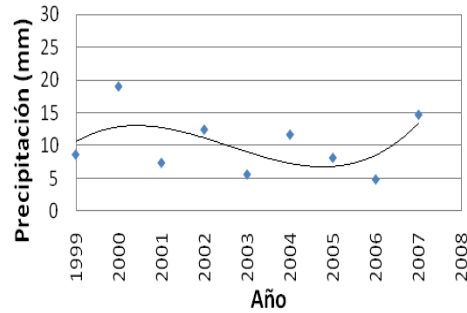
Figura 3.22 Datos de precipitación máxima mensual (a) y anual (b) para la estación automática de Mexicali

**Estación Tizapan**

La figura 3.23a de la estación Tizapan muestra precipitaciones de 19.05 mm (8 de agosto del 2000) y 14.73 mm (20 de junio del 2007). Las precipitaciones para la mayoría de los meses fueron menores a 10 mm excepto para el mes de junio a octubre. La figura 3.23b muestra que la tendencia anual es negativa ya que aunque entre 2006 a 2007 presenta un aumento de 4.8 mm a 14.7 mm, estas precipitaciones son menores que las observadas de toda la muestra. La media de los datos está entre 5 mm y 15 mm.



(a) Precipitación máxima mensual

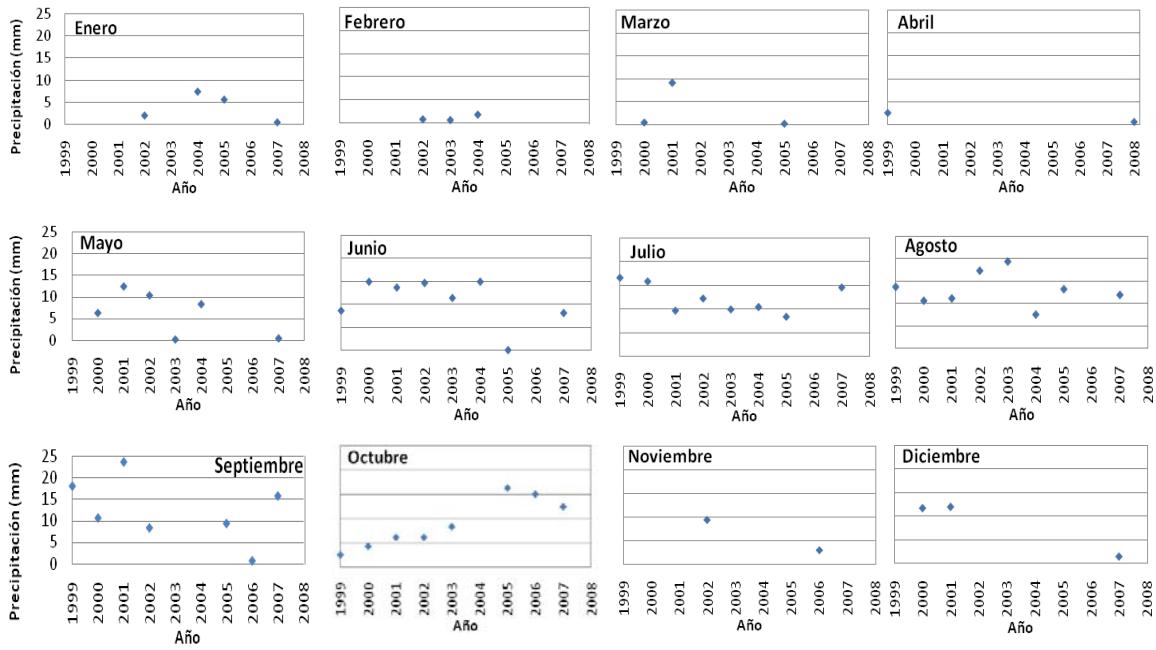


(b) Precipitación máxima anual

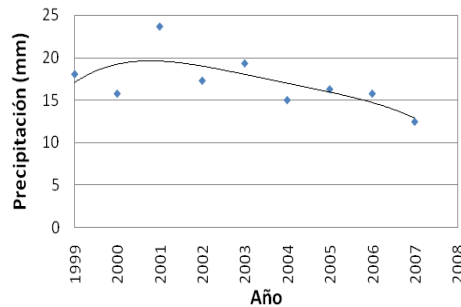
Figura 3.23 Datos de precipitación máxima mensual (a) y anual (b) para la estación automática Tizapan

**Estación Acapulco**

En la figura 3.24a se muestran las precipitaciones mensuales para Acapulco: Esta estación mostró precipitaciones de 1164 mm (5 de septiembre del 2004) y 1077 mm (17 de octubre del 2004), estos datos según registros históricos en diarios de la localidad no corresponden a ningún evento registrado para esas fechas, por lo que las consideramos errores y los retiramos para el cálculo de la tendencia. Las precipitaciones mensuales de enero hasta abril y para el mes de noviembre a diciembre no están completas y no representan una buena muestra para nuestro estudio, sin embargo se escogió esta estación por su ubicación. En la figura 3.24b muestra la tendencia negativa desde los últimos 6 años. En las graficas se observan algunos huecos en los registros de precipitación, esto se debe a que para estos años no se registró ninguna precipitación según los datos de la estación.



(a) Precipitación máxima mensual

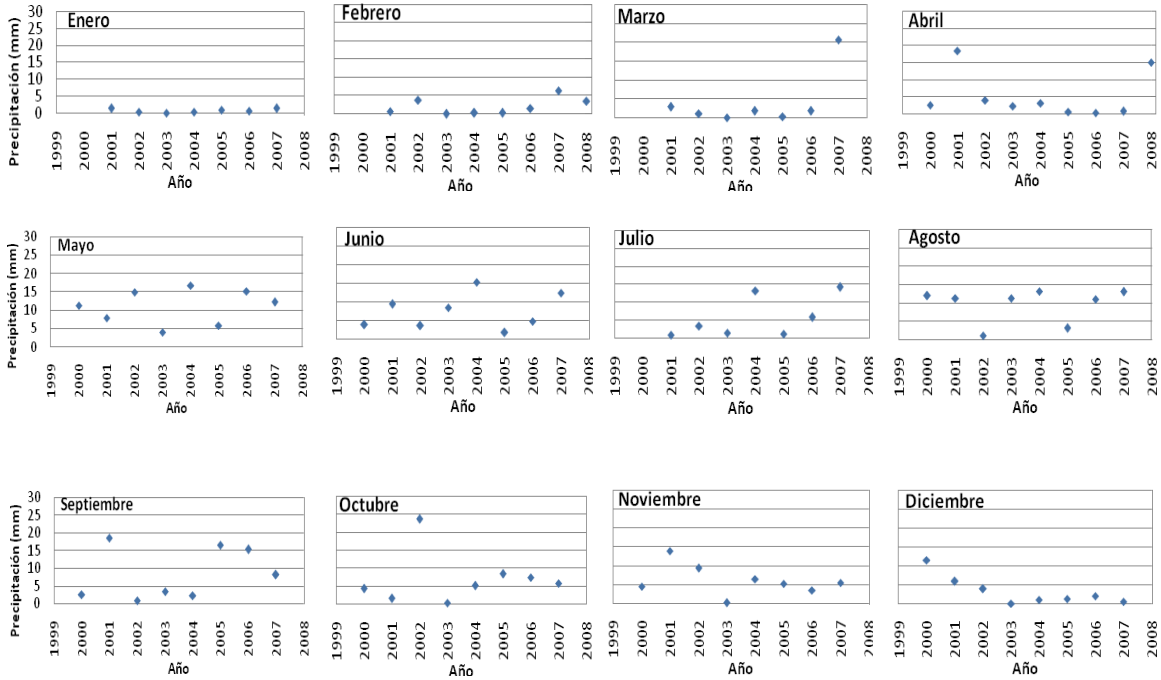


(b) Precipitación máxima anual

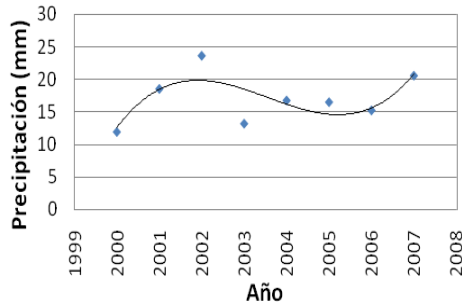
Figura 3.24 Datos de precipitación máxima mensual (a) y anual (b) para la estación automática de Acapulco

**Estación Matamoros**

La figura 3.25a muestra las precipitaciones acumuladas máximas mensuales para la estación de Matamoros. Los valores máximos para esta estación fueron de 23.62 mm (9 de octubre del 2002), 20.57 mm (12 de marzo del 2002) y 18.54 mm (24 de abril del 2001). En la figura 3.25b se muestra que la tendencia anual para los últimos 5 años (2000 al 2008) es al aumento de precipitación, pero aun no se rebasa los valores observados para el 2002.



(a) *Precipitación máxima mensual*

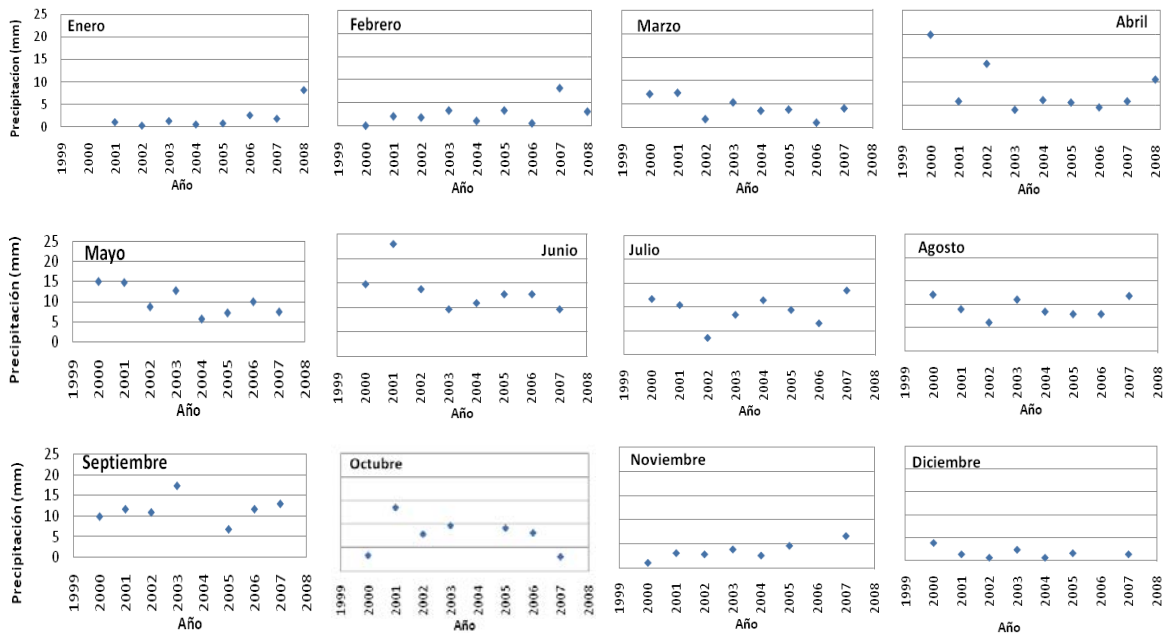


(b) *Precipitación máxima anual*

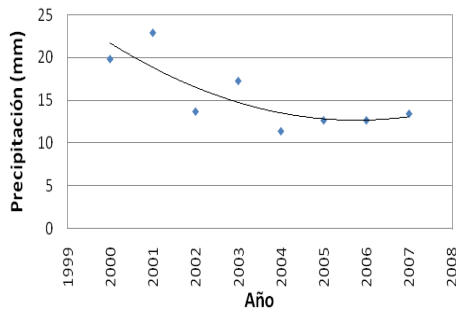
Figura 3.25 Datos de precipitación máxima mensual (a) y anual (b para la estación automática de Matamoros

**Estación Jalapa**

En la figura 3.26a la estación de Jalapa muestra las precipitaciones máximas de 1226 mm (19 de septiembre del 2004), 1138 mm (25 de octubre del 2004) y 890 mm (23 de diciembre del 2006), estos datos según registros históricos en diarios de la localidad no corresponden a ningún evento registrado para esas fechas, por lo que las consideramos errores y los retiramos para el cálculo de la tendencia. Esta estación al igual que Acapulco presenta precipitaciones altas que no corresponden a eventos meteorológicos. En la figura 3.26b muestra la tendencia a la baja en la precipitación para los últimos 3 años en esta estación. Los valores de precipitación para esta muestra están entre 22.8 mm y 12.7 mm.



(a) Precipitación máxima mensual

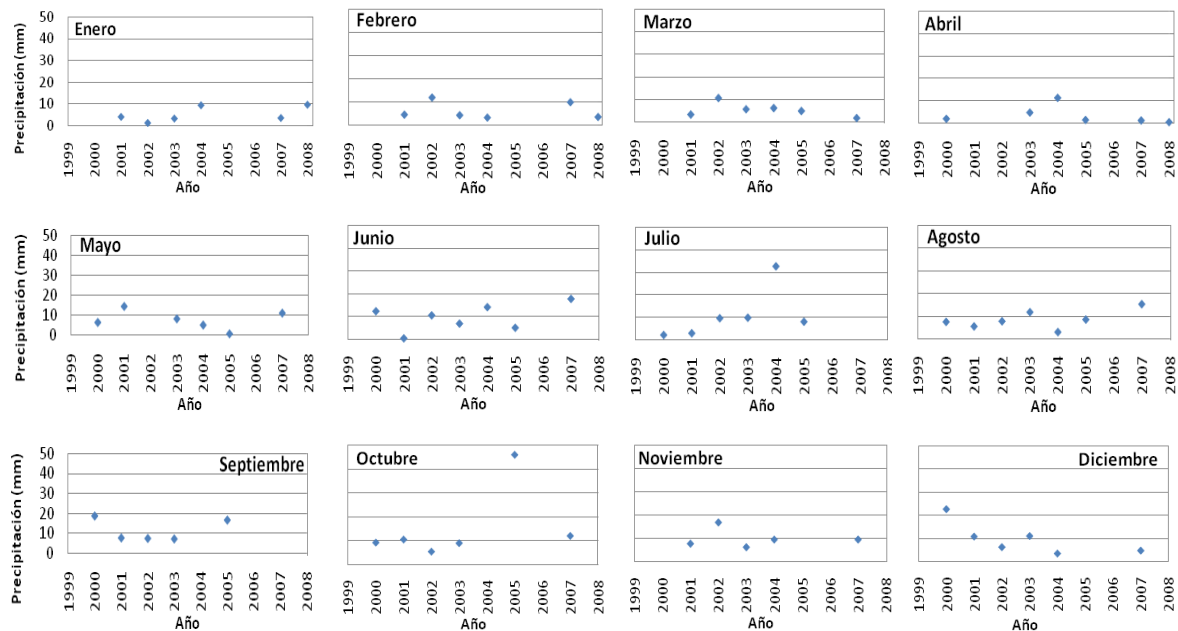


(b) Precipitación máxima anual

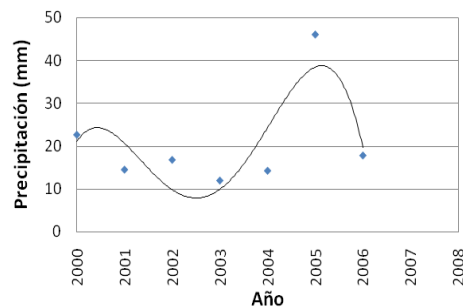
Figura 3.26 Datos de precipitación acumulada máxima anual estación Jalapa

## Estación Cancún

La figura 3.27a corresponde a la estación de Cancún. Para esta estación se registraron precipitaciones máximas acumuladas de 1222 mm (4 de octubre del 2004) y 1152 mm (9 de septiembre del 2004), estos datos según registros históricos en diarios de la localidad no corresponden a ningún evento registrado para esas fechas, por lo que no se consideraron en el cálculo de la tendencia. La figura 3.27b muestra que la tendencia anual para esta estación es a la baja, con un evento máximo de 46 mm para el 21 de octubre del 2005 (huracán Wilma). El promedio de la muestra para el resto de años son precipitaciones menores a 22 mm.



(a) Precipitación máxima mensual



(b) Precipitación máxima anual

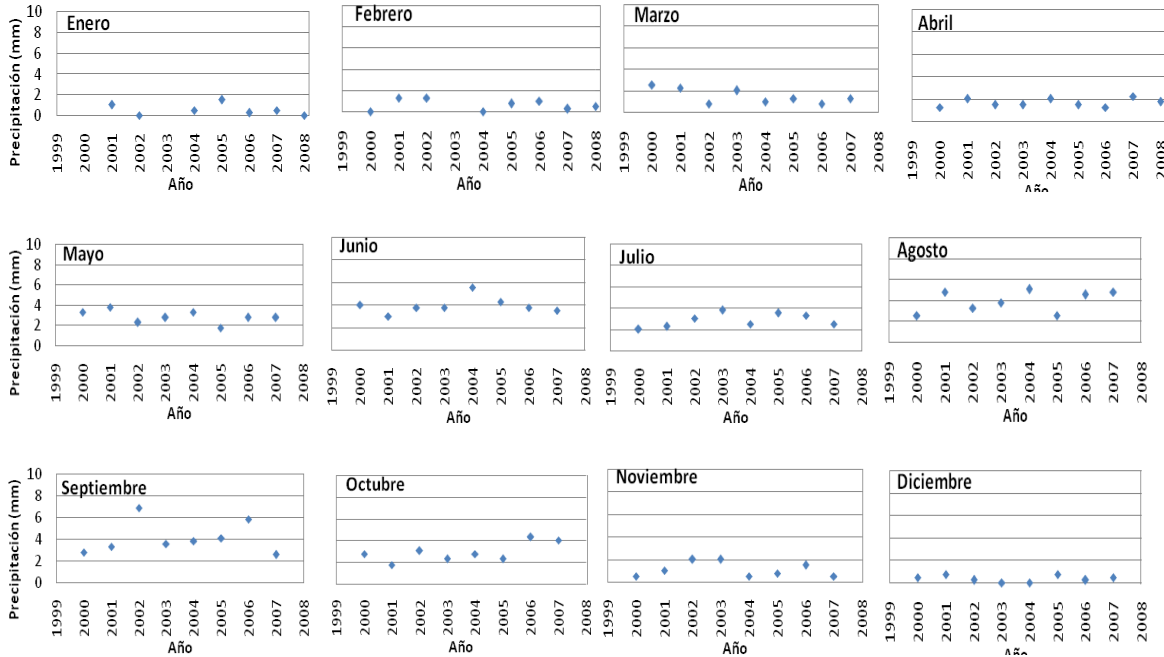
Figura 3.27 Datos de precipitación máxima mensual (a) y anual (b) para la estación automática de Cancún

## Estación Nevado del Toluca

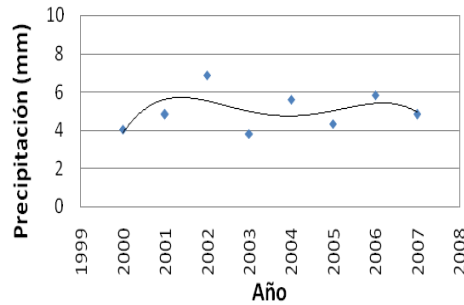
La figura 3.28a presenta la estación ubicada en el Nevado del Toluca, esta estación no registró precipitaciones mayores a 6.8 mm (6 de septiembre del 2002) y 5.1 mm (7 de agosto del 2004). En la figura 3.28b la tendencia anual para Toluca es negativa para los años comprendidos entre el



2006 y el 2008. Las precipitaciones para esta estación están entre 4 mm y 7mm. Se observa que precipitación máxima que presenta la muestra es de 6.8 mm para el 2002. En general su comportamiento es constante ya que a lo largo de los 8 años esta ha tenido altas y bajas de precipitación con registros menores a los últimos 6 años.



(a) Precipitación máxima mensual



(b) Precipitación máxima anual

Figura 3.28 Datos de precipitación máxima mensual (a) y anual (b) para la estación automática de Nevado de Toluca

De las estaciones del ERIC III y las automáticas podríamos concluir que los casos extremos fueron verificados y estos no correspondían a registros de eventos históricos, lo que nos hizo dudar de la calidad de la información. Las tendencias para las estaciones del ERIC III son a la baja en los registros de precipitaciones.

En el caso de los datos de las estaciones automáticas las tendencias a la baja en las precipitaciones fueron para Mexicali, Acapulco, Jalapa, Cancún y el Nevado del Toluca; las precipitaciones no fueron mayores a 30 mm. Para la estación de Matamoros se presenta un leve

aumento en las precipitaciones de los últimos 5 años pero que a nivel global no es la máxima de la muestra, lo que no representa realmente una tendencia positiva en el aumento de las precipitaciones. También se observa que las precipitaciones se dan para los dos océanos de forma similar.

Los datos de precipitaciones de estas dos bases de datos, aunque para algunas existe una tendencia a aumento, no representa una relación positiva o en aumento con el calentamiento global, ya que estas intensidades no son muy altas como para ser producto de intensos fenómenos hidrometeorológicos como se han planteado ocurrirían con el aumento en la temperatura en la superficie del mar producto del calentamiento global.

## RELACIÓN DEL CALENTAMIENTO GLOBAL CON EL FENÓMENO DEL NIÑO/NIÑA Y LOS HURACANES

### 4.1 Sistema “El Niño” Oscilación Sur (ENOS)

El Niño Oscilación Sur (ENOS o ENSO, siglas en inglés), es un fenómeno natural de interacción entre el océano y la atmósfera que inicia en la región del Océano Pacífico tropical, en forma no periódica, con intervalos que pueden variar entre 3 a 7 años, aproximadamente. Se caracteriza por un calentamiento local de las aguas superficiales de la zona ecuatorial del Océano Pacífico desde el centro del océano hasta las costas de Sudamérica. El fenómeno de El Niño inicia en el Océano Pacífico tropical cerca de Australia e Indonesia alterando la presión atmosférica en zonas muy distantes entre sí con cambios en la dirección y velocidad de los vientos, así como el desplazamiento de las zonas de lluvias. En condiciones normales (No-Niño), los vientos alisios (que soplan de este a oeste) apilan una gran cantidad de agua y calor en la parte occidental de este océano. El nivel superficial del mar es en consecuencia medio metro más alto en Indonesia que frente a las costas de Perú y Ecuador y la temperatura superficial del mar es de alrededor de 8C entre ambas zonas del Pacífico. Durante el fenómeno de El Niño los vientos alisios se debilitan o dejan de soplar, la máxima temperatura marina se desplaza hacia la Corriente de Perú que es relativamente fría y la mínima temperatura marina se desplaza hacia el Sureste Asiático. Esto provoca el aumento de la presión atmosférica en el sureste Asiático y la disminución en América del Sur.

Este evento presenta dos componentes: El Niño y la Oscilación del Sur. El primero se refiere a los cambios en las temperaturas del mar y la atmósfera, mientras que la Oscilación del Sur se relaciona con los intercambios de las masas de aire entre los hemisferios oriental y occidental. Además de los componentes mencionados, el evento ENOS tiene dos fases: una cálida que se denomina El Niño, y una fría denominada La Niña, que serán analizados en detalle más adelante. Su nombre procede de la denominación que utilizaban los habitantes de la costa Sudamericana para referirse a una corriente marina cálida que tendía a aparecer normalmente para la época de Navidad, de ahí su nombre, hace referencia al niño Jesús.

#### 4.1.1 Causas y efectos de los eventos de El Niño

Las causas que pueden atribuirse a la ocurrencia de este evento son los cambios en los patrones de la presión atmosférica a nivel del mar en el Pacífico, por ende la modificación del régimen de vientos y la confluencia de los vientos alisios del norte con los del sur (convergencia intertropical que se desplaza hacia el sur).

Entre los efectos más comunes producto del fenómeno de El Niño están: calentamiento del agua por encima del promedio (3C ó más), incremento del nivel medio del mar, descenso de la termoclina (capa dentro de un cuerpo de agua donde la temperatura cambia rápidamente con la profundidad) y la consecuente disminución de la concentración de nutrientes en la superficie que conlleva directamente a la mortandad de especies marinas, fallas en la renovación de nutrientes, disminución de la productividad primaria, cambios en la composición y distribución de la pesca y fauna, producción de lluvias intensas, desborde de ríos y anegamiento de áreas agrícolas y urbanas, entre los más importantes

#### 4.1.2 Fases del Niño

Un fenómeno de El Niño clásico dura alrededor de tres años, pudiéndose diferenciar las siguientes fases:

**Preludio:** Comienza aproximadamente 18 meses antes de la cima del evento, y se manifiesta de la siguiente manera: en el Pacífico oeste con el aumento del nivel oceánico, profundización de la termoclina, aumento de la temperatura sobre el nivel del mar por encima del valor medio e incremento de las precipitaciones en el sur de Indonesia y este de Australia.

**Entrada:** Se produce entre septiembre y octubre del año previo a la fase principal, teniendo las siguientes características: se debilitan los vientos del este en todo el Pacífico, el nivel del mar en el oeste empieza a descender, en el Pacífico Central, al sur del Ecuador, se presenta una clara anomalía de temperatura positiva.

**Fase principal:** Comienza entre los meses de diciembre y enero frente a la costa sudamericana. El calentamiento durante los primeros meses sigue su ciclo normal, prolongándose la anomalía hasta junio, mientras comienzan a descender las temperaturas absolutas; aumenta el nivel del mar en la costa debido al calentamiento de las aguas y se produce el descenso de la termoclina.

**Final:** Se produce un nuevo aumento de la temperatura del mar en las costas, pero termina abruptamente en febrero del año siguiente, muchas veces con temperaturas más frías que lo normal. En el Pacífico Central la anomalía caliente se mantiene hasta mediados de año, adquiriendo el viento y el nivel del mar valores normales nuevamente.

## 4.2 Sistema “La Niña”

El término La Niña aparece en la literatura científica en la década de los ochenta, cuando los oceanógrafos empezaron a utilizarlo para referirse a un periodo frío en contraposición al periodo caliente del fenómeno de El Niño (Philander y Rasmusson, 1985). El evento de La Niña, es la fase negativa a la de El Niño, caracterizada por el inicio de un significativo enfriamiento de la superficie de Océano Pacífico Ecuatorial, y por cambios en la dirección y velocidad del viento en la zona intertropical debido a variaciones de la presión atmosférica, produciendo cambios sobre el océano Pacífico que incluyen un incremento en la intensidad de los vientos alisios en la atmósfera baja sobre el océano Pacífico Oriental. Este evento se produce con menor frecuencia que el fenómeno de El Niño, en un periodo entre 3 a 7 años, pudiendo durar de 9 meses a 3 años, siendo más fuerte cuando su duración es menor. Su mayor impacto se manifiesta en las condiciones meteorológicas durante los primeros 6 meses de ocurrencia del evento.

### 4.2.1 Consecuencias de La Niña al clima global

Algunas de las consecuencias más relevantes son: variaciones en los trópicos opuestas a las ocasionadas por El Niño, en el continente americano las temperaturas del aire de la estación invernal se tornan más calientes de lo normal en el Sudeste y más frías que lo normal en el Noroeste, en América del Sur predominan condiciones más secas y más frescas que lo normal sobre el Ecuador y Perú así como condiciones más húmedas que lo normal en el Noreste de Brasil; en América Central se presentan condiciones relativamente más húmedas que lo normal principalmente sobre las zonas costeras del Mar Caribe.

### 4.2.2 Fases de La Niña

Este fenómeno puede durar de 9 meses a 3 años, dividido en cuatro fases:

**Preludio:** Terminación del fenómeno de El Niño

**Inicio:** Se caracteriza por un fortalecimiento de los vientos alisios que se encuentran en la zona de convergencia intertropical, así como un desplazamiento más temprano de esta hacia el norte de sus posiciones habituales. Aumento de la convección en el océano Pacífico, al oeste del meridiano de 180° donde la temperatura del agua superficial del océano sube la temperatura habitual de 28 a 29C.

**Desarrollo:** En esta fase se produce un debilitamiento de la corriente contra ecuatorial, ocasionando que las aguas cálidas provenientes de las Costas Asiáticas, afecten las aguas del Pacífico de América. Ampliación de los afloramientos marinos que se producen como consecuencias de la intensificación de los vientos alisios. Fortalecimiento de la corriente ecuatorial del sur, especialmente cerca del Ecuador, arrastrando aguas frías que disminuyen las temperaturas del Pacífico tropical oriental y central. Una mayor cercanía de la termoclina a las superficies del mar en el Pacífico tropical, lo que favorece la permanencia de especies marinas que encuentran sus alimentos durante periodos largos.

**Maduración:** Última fase del fenómeno de La Niña ocurre después de que la intensidad de los vientos alisios ha regresado a su estado normal.

### 4.3 Relación entre el índice del fenómeno de El Niño (Oceanic Niño Index, ONI) y los periodos del El Niño y La Niña

Para poder realizar un mejor estudio acerca de este evento, se señalaron cuatro áreas denominadas “Áreas Niño”, en las cuales, mediante el uso de diferentes elementos oceanográficos (entre ellos boyas de la NOAA) se pueden determinar las variaciones de temperatura, oxígeno, salinidad y velocidades de las corrientes. Estas cuatro áreas se encuentran ubicadas entre las costas suramericanas y australianas como se observa en la figura 4.1. La tabla 4.1 muestra las coordenadas de las áreas Niño.

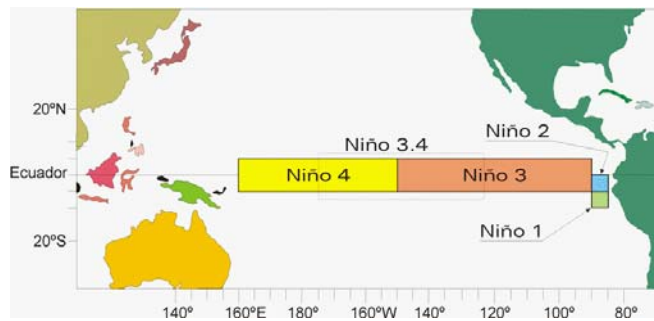


Figura 4.1 Regiones El Niño utilizadas para vigilar los cambios de temperatura del mar y vientos (Universidad Autónoma de Aguascalientes, Fenómeno del “El Niño”, <http://www.uaa.mx/CCAGR/dda/nino.htm>)

Tabla 4.1 Coordenadas de las Áreas Niño

| REGIÓN    | LATITUD    | LONGITUD      |
|-----------|------------|---------------|
| Niño 1+ 2 | 0°N - 10°S | 80°W - 90°W   |
| Niño 3    | 5°N - 5°S  | 90°W - 150°W  |
| Niño 3.4  | 5°N - 5°S  | 120°W - 170°E |
| Niño 4    | 5°N - 5°S  | 150°W - 160°E |

El ONI se basa en los registros históricos de las temperaturas sobre el nivel del mar (Sea Surface Temperature, SST) en un umbral de +/- 0.5C de la media móvil de la NOAA ERSST.v3 sobre las anomalías de la SST de la región Niño 3.4, de una base de datos desde 1950 al 2007. Este índice

es la principal medida de supervisión, evaluación y predicción de los fenómenos de El Niño y La Niña. Este índice se ha convertido en una norma que utiliza la NOAA para identificar los dos fenómenos en el Pacífico tropical. Según la NOAA el fenómeno de El Niño se caracteriza por un valor positivo mayor o igual a +0.5C y para La Niña un valor negativo menor o igual a -0.5C.

La figura 4.2 muestra el ONI para la región Niño 3.4 desde 1950 hasta el 2007 con periodos de El Niño en color rojo y La Niña en color azul. En esta gráfica se observa que las temperaturas son mayores para el caso de El Niño sobrepasando los 2C que para La Niña donde su mayor temperatura fue de -2C. En los últimos años los periodos de El Niño y La Niña no han presentado aumentos en la SST, por el contrario, se observa que estas temperaturas han sido de las más bajas, lo que indica que estos fenómenos no tienen relación con el actual calentamiento global.

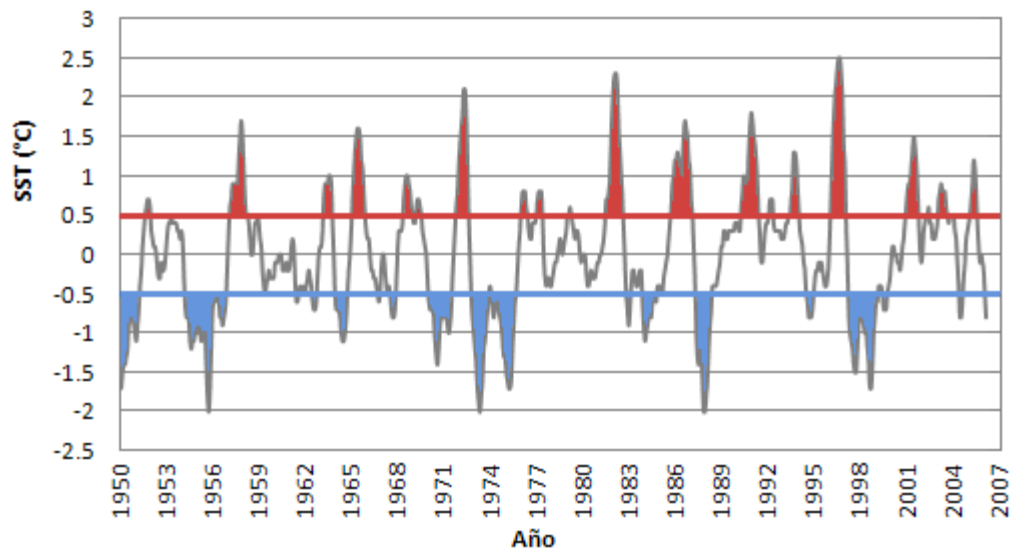


Figura 4.2 Registro del ONI para la región Niño 3.4 desde 1950 al 2007

## 4.4 Relación entre el calentamiento global y los huracanes

### 4.4.1 Ciclones tropicales a nivel mundial

Se analizó una base de datos de huracanes para los océanos Atlántico y Pacífico hasta el año 2007. Estos datos fueron recopilados de la NOAA y contiene registros desde 1851 para el Atlántico, este, oeste y sur del Pacífico y sur de la India. Esta información se encuentra disponible en la página de internet <http://www.weather.unisys.com/hurricane/index.html>.

Esta lista de información de huracanes se encuentra registrada en tablas que incluyen la posición en latitud y longitud, vientos máximos sostenidos en nudos y centro de presión en milibares. Los datos de velocidades de viento son promedios medidos en un periodo de 1 min y no representan vientos pico ni ráfagas. Las principales fuentes de información fueron las estaciones que se ubicaban en tierra, buques, aviones y de datos obtenidos por satélites.

### Océano Atlántico

En la figura 4.3 se presenta un promedio de cada 5 años del número de ciclones tropicales desde depresión tropical a huracán categoría 5 (cruces rojas) y registros anuales totales (rombos azules) desde 1851 a 2007. En esta gráfica se observa una tendencia al aumento en los eventos desde

1935 hasta 2007 en el promedio de cada 5 años, los últimos promedios muestran un aumento en el promedio de las frecuencias mayor al visto en toda la muestra.

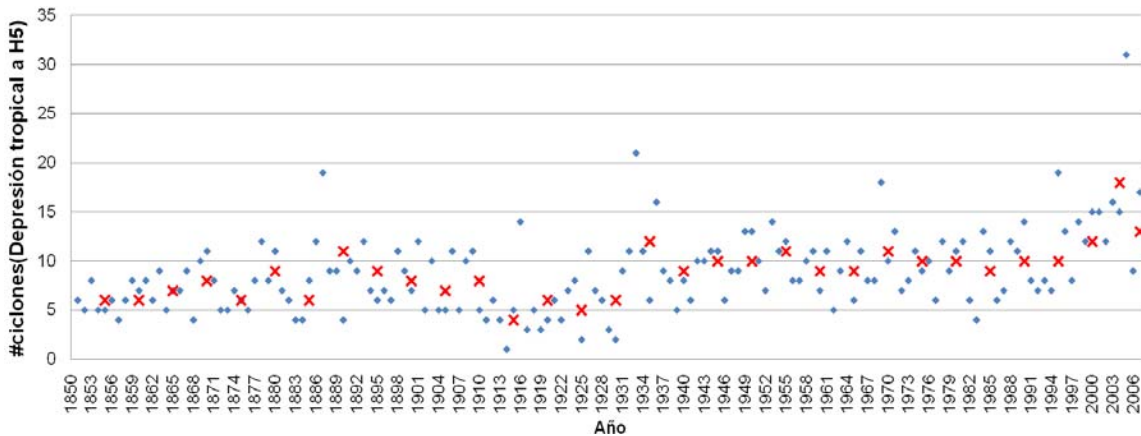


Figura 4.3 Promedio de cada 5 años del número de ciclones tropicales (cruces rojas) y eventos anuales totales (rombos azules) desde 1851 al 2007, NOAA

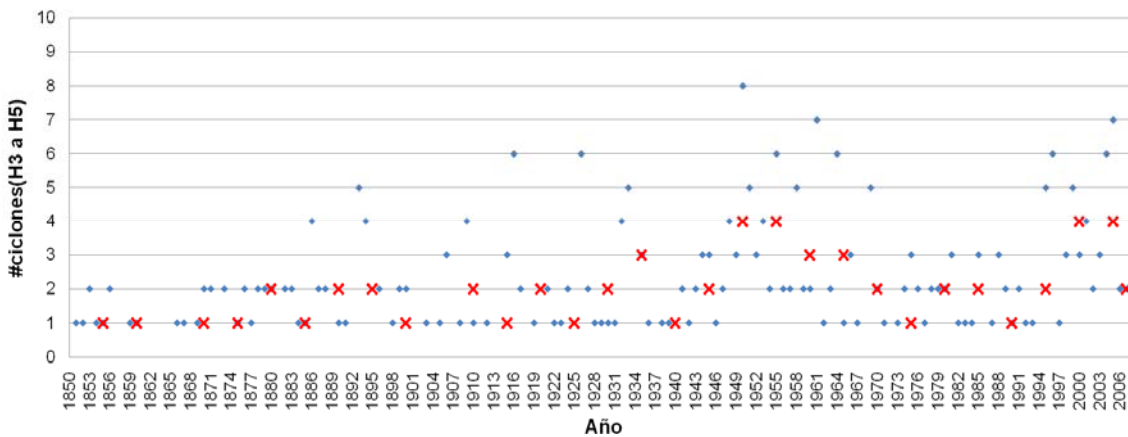


Figura 4.4 Promedio de cada 5 años del número de huracanes categoría 3 a 5 (cruces rojas) y los eventos anuales totales (rombos azules) desde 1851 al 2007, NOAA

En la figura 4.4 se presentan los promedios de cada 5 años del número de huracanes categoría 3 a 5 (cruces rojas) y registros anuales totales (rombos azules) desde 1851 al 2007, por considerar que estas categorías son las que causan más daño. En esta gráfica se observa que el comportamiento del promedio de la muestra presenta un pequeño aumento desde 1950 con eventos máximos de 4 eventos. En general el promedio de la muestra exhibe un comportamiento constante con un ligero comportamiento cíclico desde 1934 hasta 2007 con eventos menores a 4 cada 5 años.

La figura 4.5 muestra los promedios de cada 5 años del número de tormentas tropicales (cruces rojas) y registros anuales totales (rombos azules) desde 1851 al 2007 ya que representa el mayor número de eventos de los ciclones tropicales de la muestra. En esta gráfica se observa una tendencia al aumento del promedio cada 5 años entre 2005 y 2007, aunque presenta para el 2007 un leve decaimiento. En comparación con la muestra total se percibe una ligera tendencia a más eventos desde 1935.



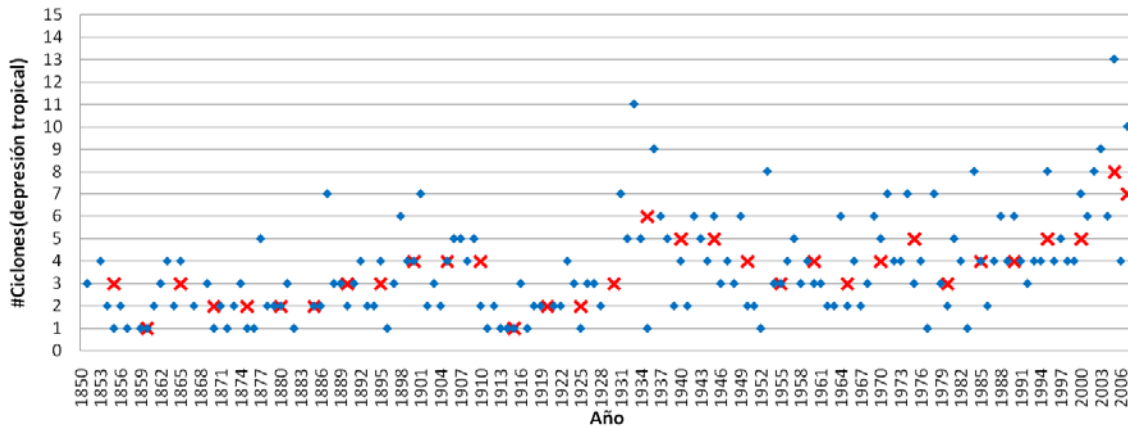


Figura 4.5 Promedio de cada 5 años de tormentas tropicales (cruces rojas) y los eventos anuales (rombos azules) desde 1851 al 2007, NOAA

Para observar de manera individual y buscar alguna relación con el calentamiento global se analizó cada categoría de ciclones tropicales para el Océano Atlántico. En la figura 4.6 se muestran los ciclones tropicales desde tormenta tropical a huracán categoría 3 desde 1850 hasta el 2007 y un zoom de la muestra desde 1960 hasta la fecha debido a que para esa fecha se considera que el registro de las estaciones es más preciso y confiable. No se graficaron las depresiones tropicales ya que presentaron poca frecuencia y no podían representar una buena muestra para concluir tendencias. Las tendencias para la tormenta tropical mostraron aumento en la frecuencia desde el año 1900. Para los últimos 47 años (1960 a 2007) se observa que la tendencia es más pronunciada desde 1980 con frecuencias máximas de hasta 13 eventos para el 2005. Para los huracanes categoría 1 también se observa una tendencia al aumento desde 1960, con frecuencias menores a 8 eventos en toda la muestra. Para los últimos 47 años la tendencia parece ser casi constante con frecuencias máximas de 6 eventos para el 2005. Los huracanes categoría 2 y 3 presentan tendencias negativas con eventos máximos de 4 para cada huracán.

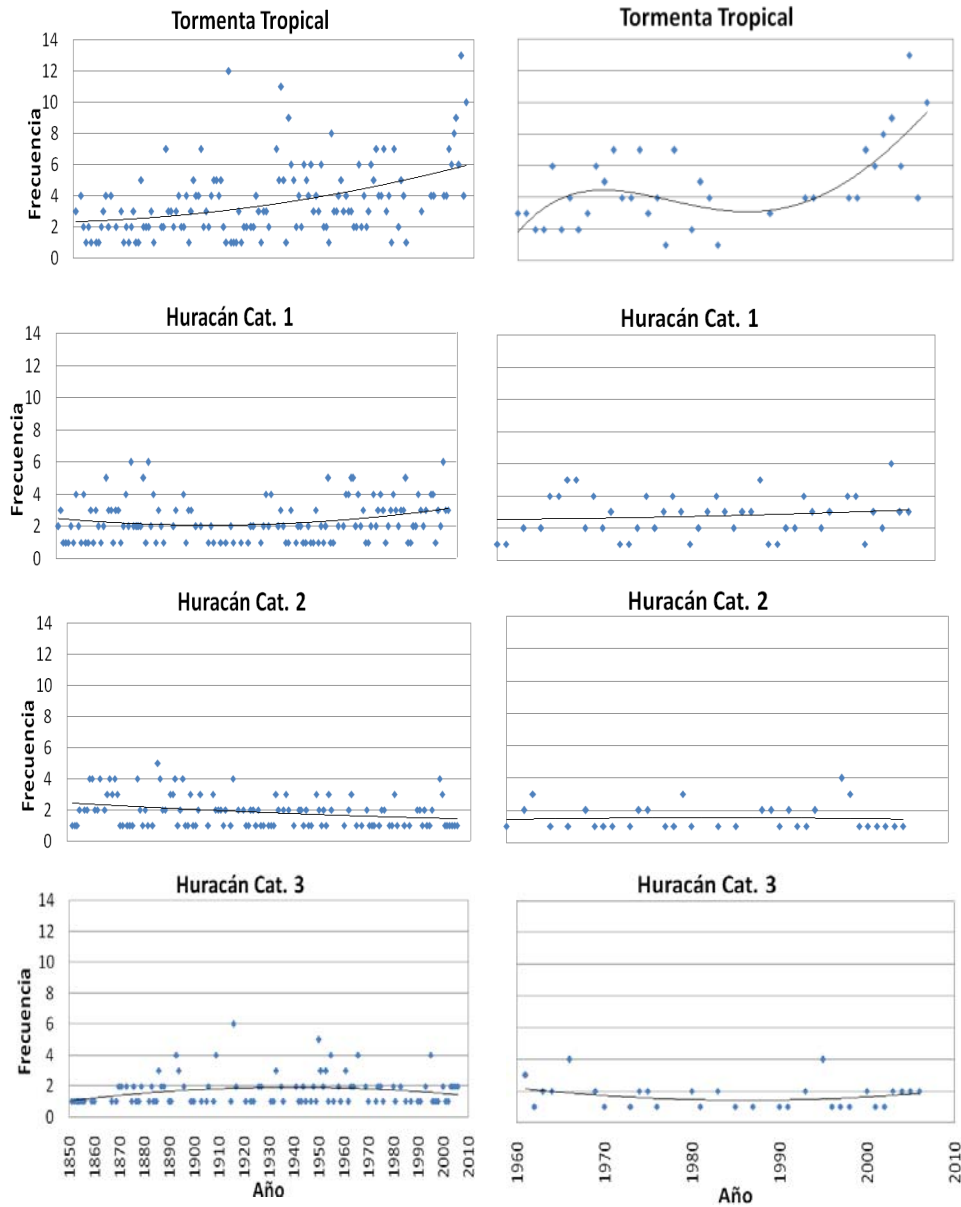


Figura 4.6 Tormenta tropical y huracanes categorías 1 al 3 desde 1950 al 2007 y los últimos 57 años, Océano Atlántico, NOAA

La figura 4.7 se muestra los huracanes categoría 4 y 5 desde 1850 hasta el 2007 y un zoom de la muestra desde 1960 en el océano Atlántico. Los huracanes categorías 4 y 5 mostraron tendencias positivas por la ocurrencia de eventos para los últimos 12 años en categoría 4 y 7 años para la categoría 5. Se observó que para los últimos 57 años las tendencias aunque son al aumento en frecuencia no obtienen frecuencias mayores a 4 eventos para cada uno. Las tormentas tropicales y huracanes categoría 1 resultan ser las de mayores frecuencias y presentan tendencias al aumento para los últimos años más pronunciadas que los demás.

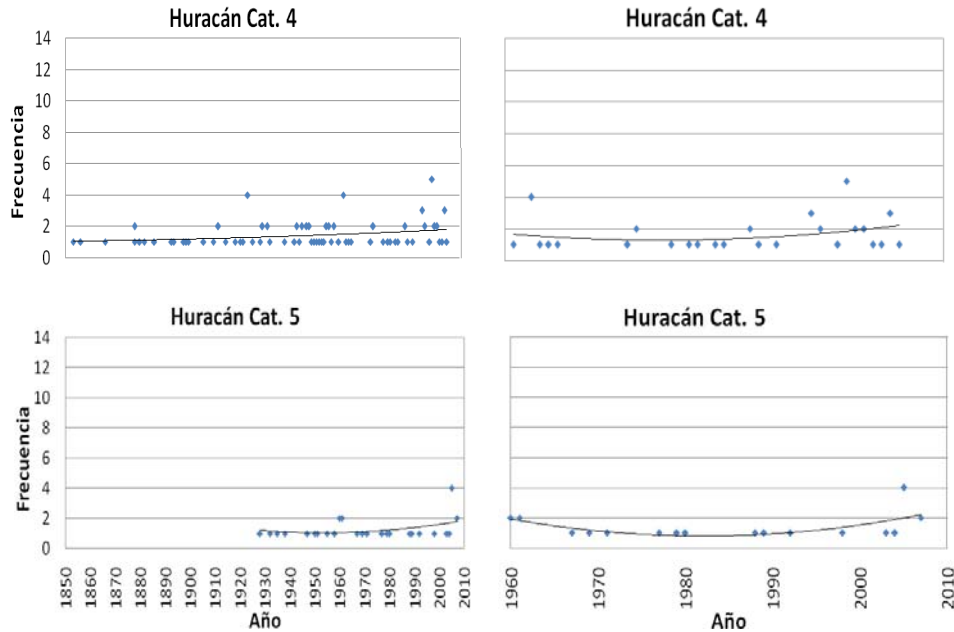


Figura 4.7 (Continuación figura 4.6)  
Huracanes categorías 4 y 5 desde 1950 al 2007 y últimos 57 años, Océano Atlántico, NOAA

### Océano Pacífico

La figura 4.8 muestra los ciclones tropicales desde tormenta tropical a huracán categoría 1 en un periodo de 1850 hasta el 2007 y un zoom de la muestra desde 1960 para el océano Pacífico. Se observa que para las tormentas tropicales la tendencia es al aumento con una baja en la frecuencia para los últimos 10 años (1995 a 2005) con frecuencias máximas de 14 eventos por año. La disparidad de esta muestra es mucho más grande que para el Océano Atlántico. Las depresiones tropicales no se graficaron debido a que no tuvieron muchos datos, solo de 2 eventos para el 2005 y 5 para el 2007. Para los huracanes categoría 1 la tendencia es a la baja con un periodo de máximos comprendidos entre 1960 a 1990. Los huracanes categoría 2 muestran una tendencia casi constante, para los últimos 10 años se observa una pequeña tendencia al aumento en las frecuencias debido a un evento en el 2003 con 4 eventos.

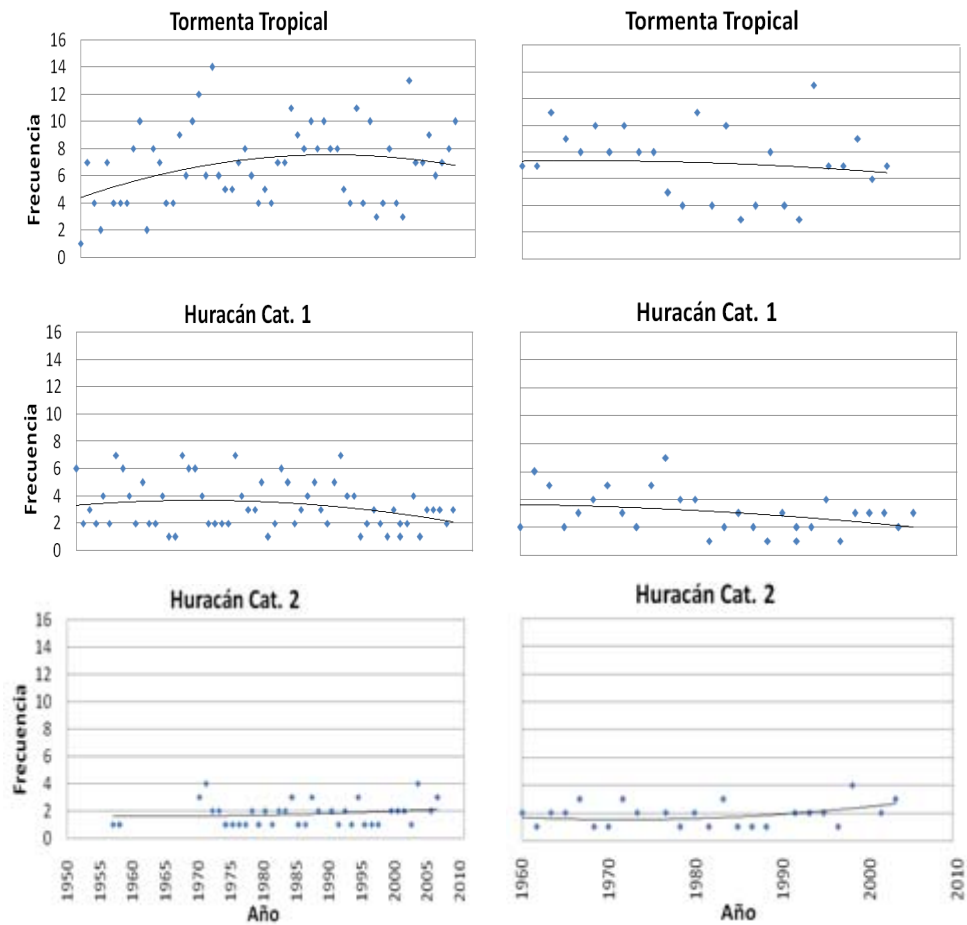


Figura 4.8 Tormenta tropical y huracanes categorías 1 al 3 desde 1950 al 2007 y los últimos 57 años, Océano Pacífico, NOAA

La figura 4.9 muestra los huracanes categoría 3 al 5 entre 1850 hasta el 2007 y un zoom de la muestra desde 1960 para el Océano Pacífico. Para los huracanes 3, 4 y 5 las tendencias son a la baja en las frecuencias en los últimos años con episodios de mayores frecuencias en el periodo desde 1972 a 2005.

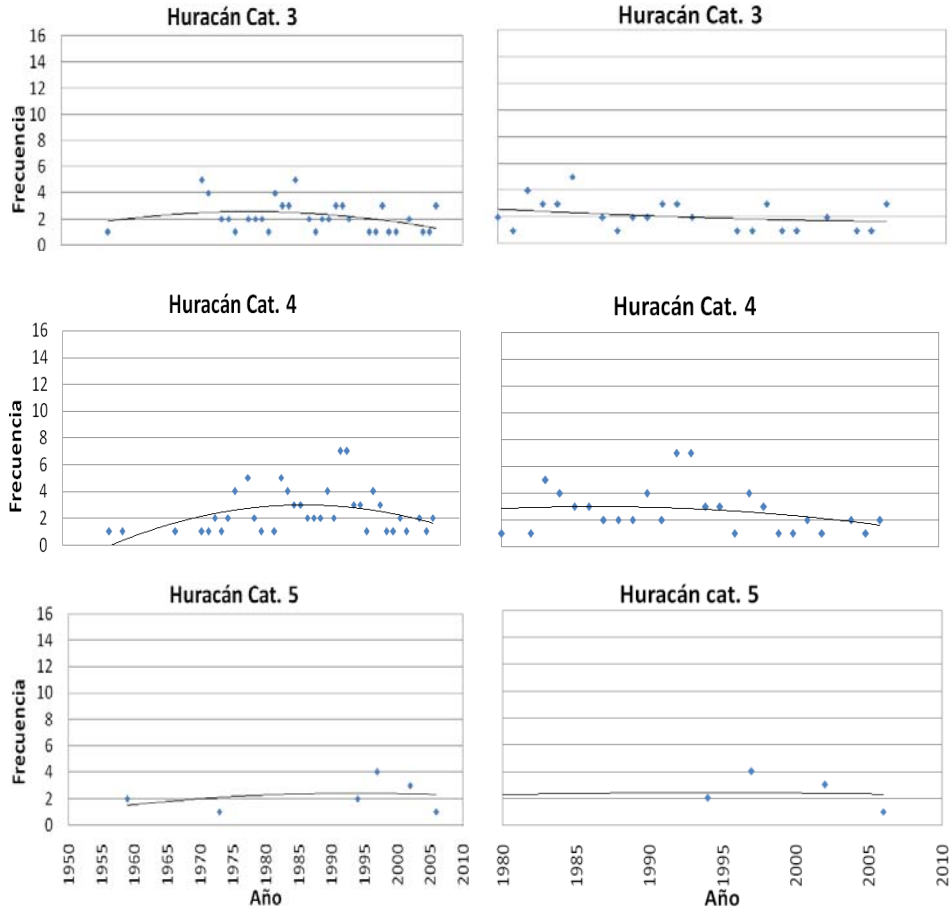


Figura 4.9 (Continuación figura 4.8)  
Huracanes categorías 4 y 5 desde 1950 al 2007 y últimos 57 años, Océano Pacífico, NOAA

Se puede concluir que existe un incremento en los eventos ciclónicos para esta base de datos. La zona con mayor actividad resulta ser el Atlántico, aunque el Pacífico registra eventos con mayores frecuencias. También se observa que para el Pacífico las categorías 3, 4 y 5 están siendo menos frecuentes. En el caso de las tormentas tropicales estas presentan un aumento en el número de frecuencias por año para los últimos años y un comportamiento constante en las frecuencias para los huracanes categorías 1 y 2. La categoría 5 presenta una tendencia a menores eventos.

#### 4.4.2 Ciclones tropicales que han impactado a México

Se trabajó con una base de datos de "Ciclones tropicales que impactaron directamente a México durante el periodo de 1970 a 2006" (<http://smn.cna.gob.mx/>). Esta base consta de información tal como océano, nombre, lugar de entrada a tierra, estados afectados, periodo (inicio-fin), día de impacto y principalmente vientos máximos en km/h. Esto a fin de estudiar la diferencia que existe entre los datos de Norteamérica, Centroamérica y Suramérica y los datos solo para México. Se realizaron gráficas de velocidades máximas vs. años de ocurrencia para observar la frecuencia de los últimos 26 años en México.

La figura 4.10 muestra los promedios cada 5 años de las velocidades de viento para los huracanes (cruces rojas) y las velocidades de viento de los huracanes totales (categorías 1 al 5) en los

Océanos Atlántico y Pacífico que han impactado a México entre 1970 a 2005. Se selecciono una velocidad minima de 100 Km/h como umbral ya que representa la velocidad con la que se desarrollan los huracanes. Se observa que los huracanes son más frecuentes en el Océano Pacífico que en el Atlántico, aunque su intensidad sea menor. Las velocidades máximas están entre 287 km/h (Gilbert H5, septiembre de 1998) para el Atlántico y 230 km/h (Madeline H4, octubre de 1976 y Kenna H4, octubre de 2002). Las tendencias para los promedios de cada 5 años en el Océano Atlántico muestran velocidades menores entre 2000 y 2005 que los promedios totales de toda la muestra. En cuanto a la tendencia de los promedios de velocidad de cada 5 años para el Pacífico, se observa un aumento en las velocidades del promedio comprendido entre 2005 y 2006.

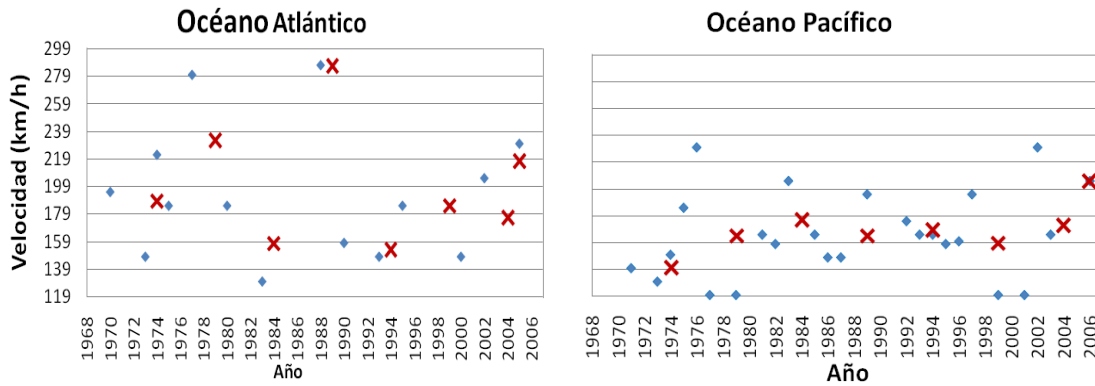


Figura 4.10 Promedio de cada 5 años de velocidades máximas y velocidades totales de los huracanes que han tocado tierra en México desde 1970 al 2006, SMN

En la figura 4.11 la frecuencia de los ciclones tropicales los océanos Atlántico y Pacífico presentan un comportamiento muy parecido, el predominio de huracanes categoría 1 es el más relevante con un 35% y 49% para Atlántico y Pacífico respectivamente. En el océano Atlántico los huracanes categoría 3 y 4 después del categoría 1 son los más frecuentes, en el caso del Pacífico los categoría 2 y 3 son los más frecuentes después de la categoría 1. Esto nos demuestra que en cuanto a daños causados por huracán el océano que se ve más perjudicado es el Atlántico.

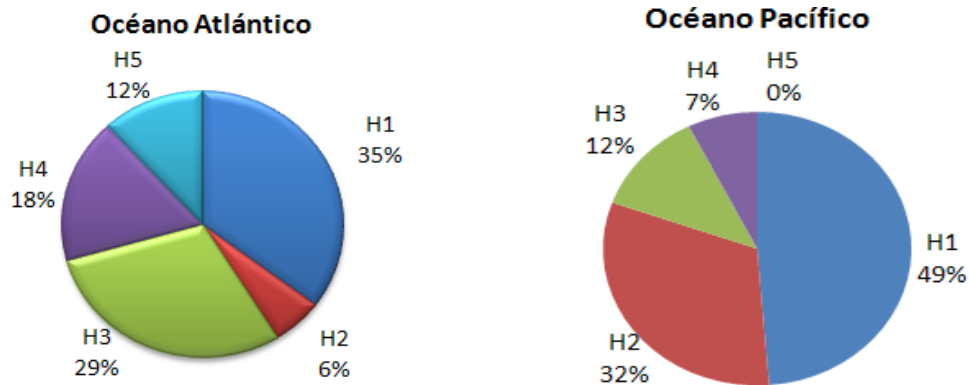


Figura 4.11 Promedio de ciclones tropicales en porcentaje de México desde 1970 al 2006, SMN

Con el fin de estudiar más la incidencia del calentamiento global en los océanos y en la formación de ciclones tropicales, se hicieron gráficas de categorías de ciclones vs. años para la base de datos del SMN y clasificándolos en Océano Atlántico y Pacífico.

En la gráfica 4.12 se presentan los ciclones tropicales en el Atlántico desde 1970 a 2006 que han impactado a México. Los ciclones con mayor frecuencia resultaron ser las depresiones y tormentas tropicales con frecuencias de 5 como la máxima para la depresión ocurrida el 1999 y 3 para la tormenta con en el año 2005. La tendencia para la depresión tropical es a la baja en la frecuencia con un comportamiento constante en los últimos años, para la tormenta tropical esta tendencia es al aumento con 2 eventos (2003 y 2005) pero comportamiento constante en casi toda la muestra. Para el caso de los huracanes la categoría que obtuvo más frecuencia fue la categoría 4 (2 eventos para el 2005). De los huracanes se puede concluir que las tendencias han permanecido constantes durante toda la muestra y que para los últimos años no se observa ningún aumento en estos eventos, incluso se observa que algunas categorías de huracanes no han vuelto a ocurrir desde hace años (huracanes categorías 2 y 3).

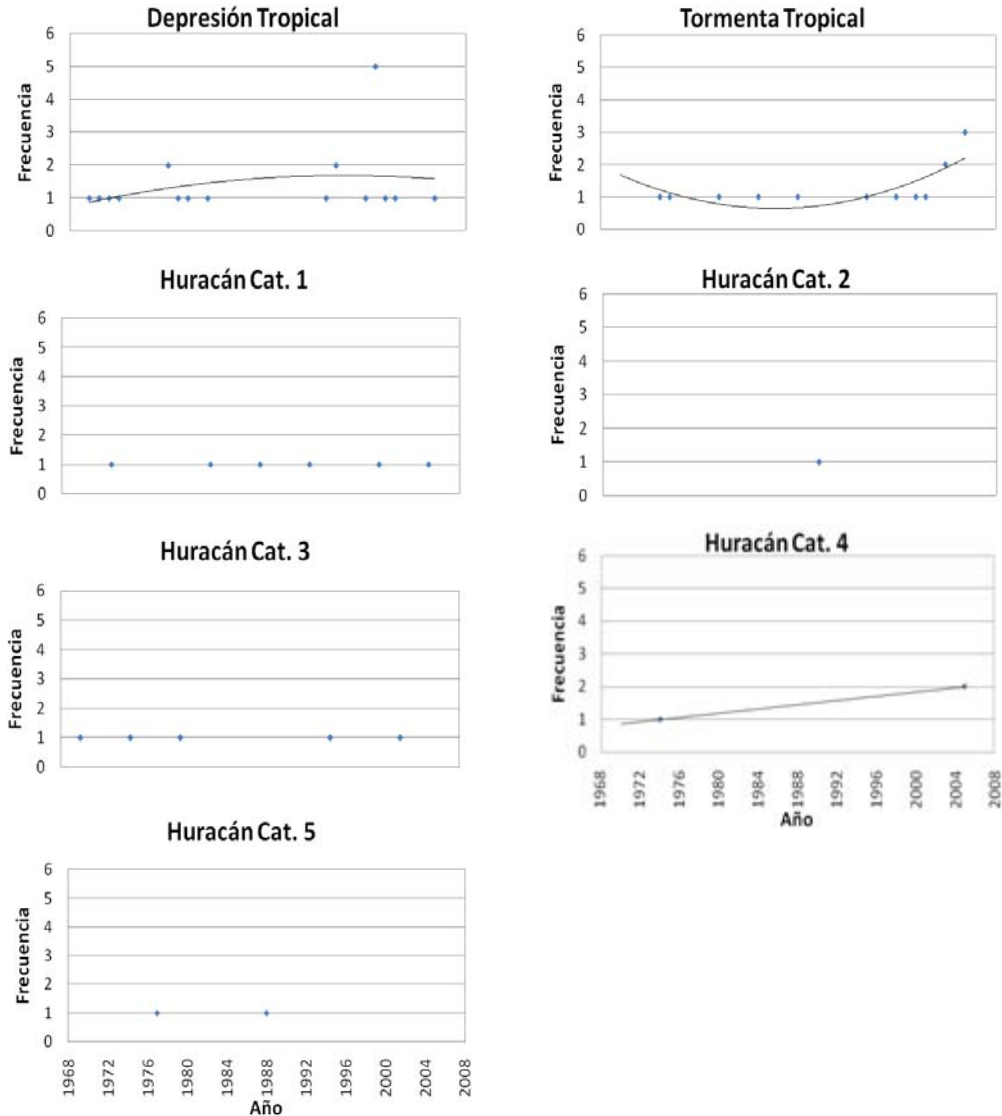


Figura 4.12 Depresión tropical a huracán categoría 5 en el Atlántico desde 1970 al 2006 en México, SMN



La figura 4.13 muestra los ciclones tropicales desde depresión tropical hasta huracana categoría 5 en el Pacífico desde 1970 a 2006 que han impactado a México. Se observa que la depresión tropical presenta una tendencia al aumento ya que en los últimos años se ha presentado la ocurrencia de dos eventos, para la mayoría de la muestra esta muestra un comportamiento constante con periodos de mayores ocurrencias (1970, 1992 y 2004), la tendencia para la tormenta tropical es a la baja en la frecuencia de los eventos. Las frecuencias para depresión y tormenta tropical son de máximo 3 eventos en toda su muestra. En el caso de los huracanes todas las categorías presentan tendencias negativas, con eventos máximos de 3 la categoría 1, 2 para categorías 2 y 4 y 1 para categoría 3 que presenta un comportamiento constante a lo largo de los años. La categoría 5 nos e presento ya que no presento ninguna actividad en este periodo de años y para este océano.

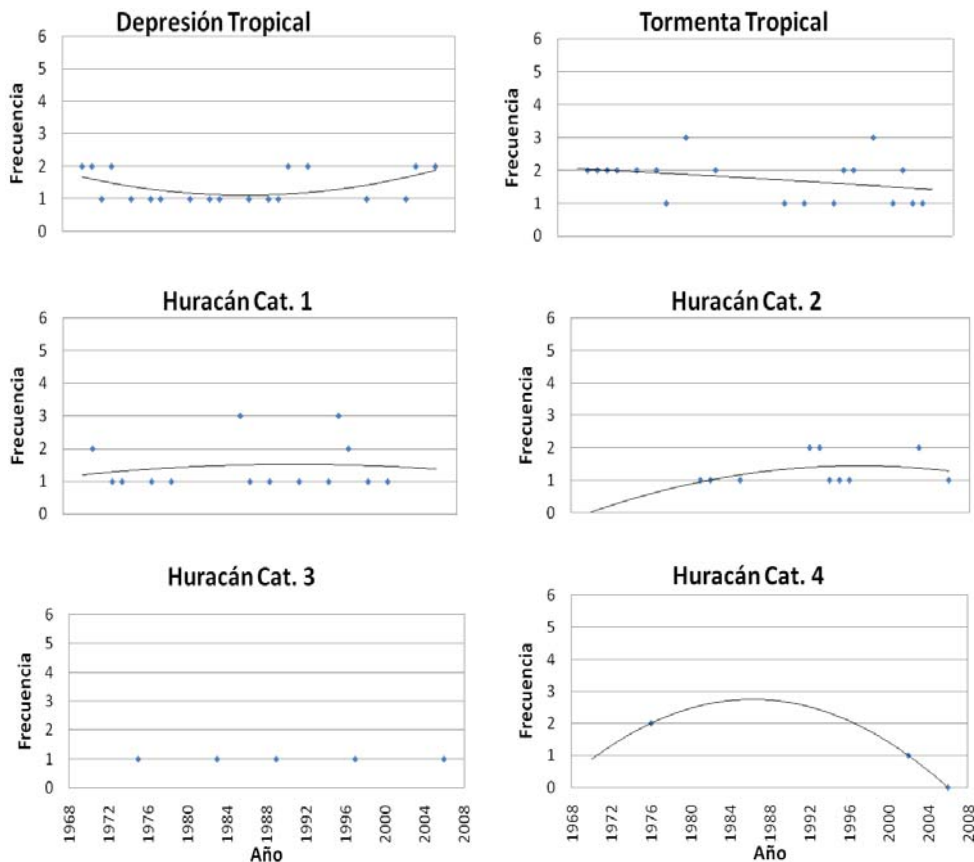
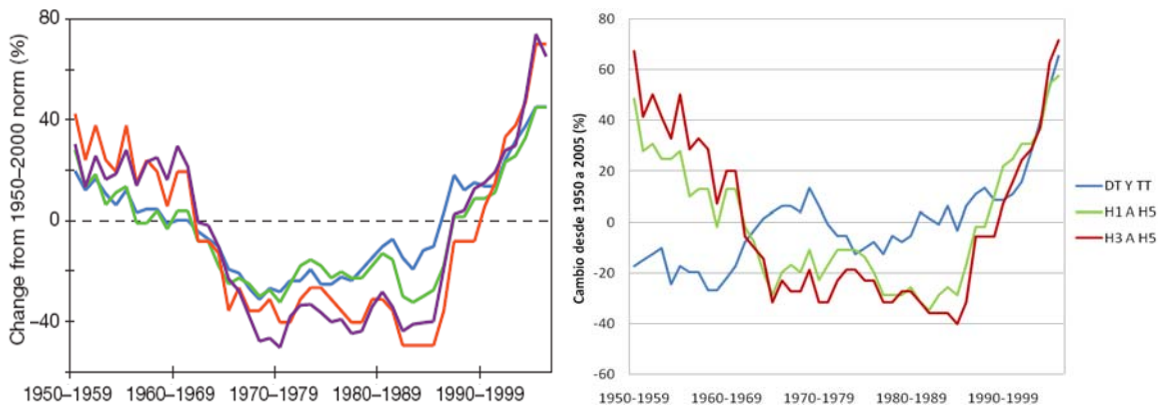


Figura 4.13 Depresión tropical a huracán categoría 4 en el Pacífico desde 1970 a 2006 en México desde 1970 al 2006, SMN

Como conclusión se puede decir que en México existe un aumento en el número de depresiones y tormentas tropicales para el Atlántico y solo de depresión tropical para el Pacífico. En el caso de huracanes solo la categoría 4 para el Atlántico muestra un aumento en el número de eventos (las demás categorías tienen un comportamiento constante o a la baja en los eventos tanto para el Atlántico como para el Pacífico). Se podría decir que las tendencias observadas para México no demuestran que existen mayor número de huracanes a consecuencia del calentamiento global o de ninguna otra razón.

Con el fin de comparar el resultado de nuestras conclusiones sobre las frecuencias de los ciclones tropicales en la cuenca del Atlántico, se realizó una gráfica comparativa entre el artículo: Saunders y Lea (2008) y nuestros datos para poder observar las diferencias y similitudes entre los dos.

La figura 4.14a corresponde a la gráfica del artículo de Saunders y Lea donde se comparan las frecuencias entre las tormentas tropicales (línea azul), huracanes (línea verde) y los huracanes intensos (línea roja) para el Atlántico de la base de datos de la National Hurricane Center's North Atlantic (NOAA) desde 1950 a 2005. Para esta gráfica se sacaron promedios de cada 10 años (para eliminar la influencia del periodo de El Niño/La Niña) de las frecuencia para las diferentes categorías de ciclones y se expresaron como un porcentaje desde 1950 a 2005. La figura 4.14b muestra nuestra gráfica comparativa hecha con la misma base de datos que Saunders y Lea y teniendo en cuenta el mismo rango de promedios. Se puede observar que para la categoría de depresión y tormenta tropical (DT y TT) con línea azul, el comportamiento en nuestro estudio presenta valores negativos entre 1963-1972 lo que no corresponde a la gráfica de Saunders y Lea. Por otra parte el comportamiento de los huracanes categorías H1 a H5 y H3 a H5 poseen valores más altos en nuestra gráfica hasta 1960-1969. El comportamiento de las 3 categorías de ciclones tropicales aproximadamente desde 1970-1979 parece obtener el mismo comportamiento aunque varían los porcentajes inexplicablemente ya que los datos se supone que son los mismos y están promediados de la misma forma.



(a) Gráfica Saunders y Lea (b) Nuestro estudio  
 Figura 4.14 Comparación de frecuencias de ciclones tropicales de Saunders y Lea (2008) y nuestro estudio

Así mismo se compararon nuestros valores hasta el 2005 con registros hasta el 2007 para observar qué ha pasado en este periodo.

La figura 4.15 muestra los registros de frecuencia para DT y TT, H1 a H5 y H3 a H5 hasta el 2007. En esta gráfica se observa como se había mencionado anteriormente en este capítulo que la frecuencia para las depresiones y tormentas tropicales (DT y TT) siguen en aumento, así como para todos los huracanes (H1 a H5). En el caso de los huracanes intensos (H3 a H5) las frecuencias presentan un descenso.

La figura 4.16 muestra los registros de frecuencia de los ciclones que tocan tierra hasta el 2006. En la gráfica se observa que todas las categorías de ciclones que tocan tierra en México (DT-TT, H1 a H5 y H3 a H5) van en aumento, pero que en el caso de huracanes intensos (H3 a H5) este aumento en los últimos años es menor que el observado a principios de los 70's.

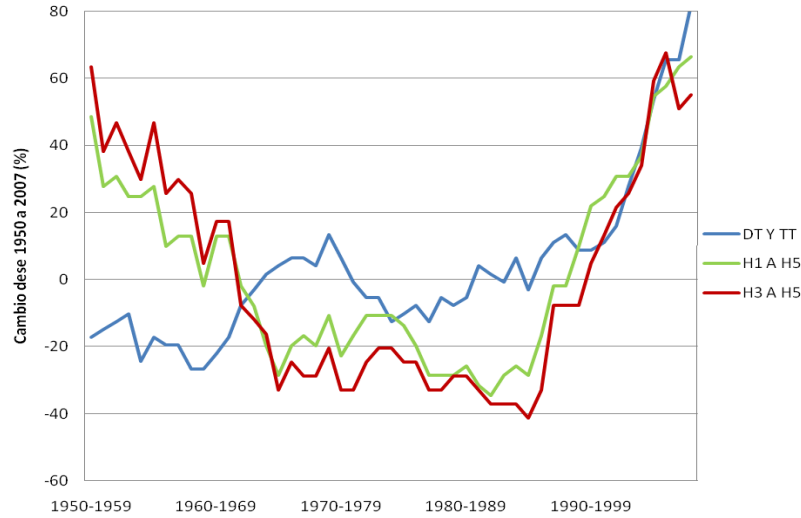


Figura 4.15 Porcentaje de frecuencias de nuestro estudio para DT-TT, H1 a H5 y H3 a H5 hasta el 2007

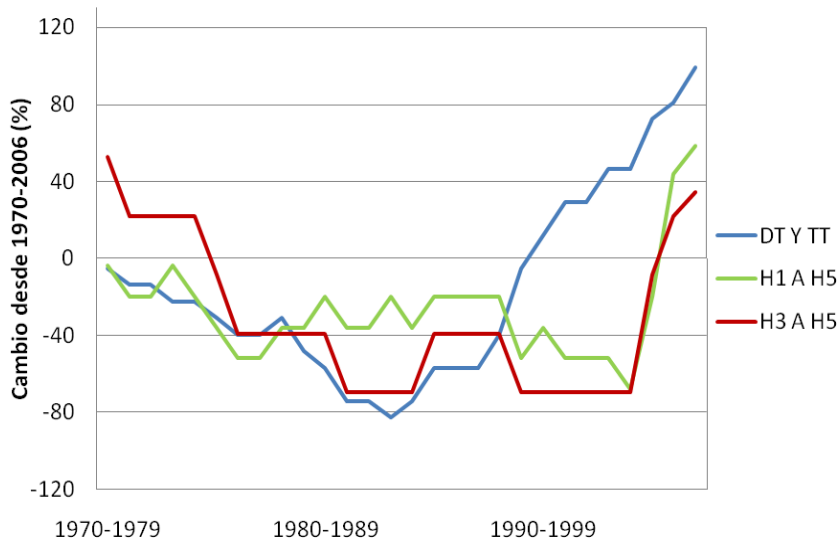


Figura 4.16 Porcentaje de frecuencias de nuestro estudio para DT-TT, H1 a H5 y H3 a H5 hasta el 2007

En conclusión la comparación entre el artículo realizado por Saunders y Lea nos demuestra que aunque se trata de la misma base de datos no se puede explicar porque los valores varían y no corresponden a nuestras gráficas realizadas de la misma forma que se explica en el artículo. Aunque se trato de imitar la forma de las gráficas cambiándole el signo a los valores, no se pudo llegar a la misma forma y valores presentados por Saunders y Lea. No se podría inferir acerca de las razones del porque no son similares pero se podría concluir que definitivamente como habíamos mencionado se observa un aumento en las depresiones y tormentas tropicales, y que en cuanto a los huracanes más intensos estos presentan un aumento pero que comparado con registros anteriores (años pasados) estos valores no rebasan los valores máximos de. El actual calentamiento global nos demuestra que posiblemente tengamos más categorías de depresiones y

tormentas tropicales pero nuestro gran interrogante acerca de lo que puede pasar en el futuro siempre va a permanecer ya que no se ha podido evidenciar el mencionado gran aumento de las categorías más destructivas de ciclones tropicales y que cada día según muchos investigadores siguen aumentando.

## CONCLUSIONES

Las conclusiones se presentan en la discusión de cada capítulo. A continuación se incluye un resumen general de las principales conclusiones que se obtuvieron a lo largo de este trabajo.

### Capítulo 2

Se presentaron velocidades para ejemplos de huracanes como Lane y su afectación para las Islas Marías y del huracán Wilma para Cancún. Este programa utilizado no contempla condiciones locales del terreno. Es importante mencionar que para próximos estudios este programa pueda ser modificado tal como se menciona en el capítulo con el fin de poder incluir los efectos locales de terreno y así tener unos datos más exactos de las velocidades de viento.

Como antes se mencionó se presentaron dos ejemplos sobre las fuerzas del viento y los daños que ocasionan en las estructuras. El primer ejemplo es el de las Islas Marías (Colonia Federal), donde se sufrieron daños causados por el huracán Lane en septiembre del 2005. Según observaciones realizadas después de este evento se recomendó que en la zona principal de la isla (Balleto) donde se encuentran las instalaciones para eventos a la comunidad (salón de audiovisuales, coliseo, biblioteca y centros deportivos) y a partir de los daños reportados se debería evitar el uso de elementos muy esbeltos y disminuir las alturas de los vidrios que sirven de fachada al menos a la mitad de la altura actual, que para algunas edificaciones llega a ser de 2.40 m (p.e. la biblioteca). La cancelería utilizada para los accesos a los edificios y en las fachadas es muy frágil, se sugiere utilizar elementos más resistentes y más rígidos, o asegurarlos mejor a los muros de los que se sujeta. Además de observar que estas instalaciones tienen acabados bastante vulnerables, principalmente la cristalería, la cancelería y las cubiertas.

Las cubiertas se vieron muy afectadas, con desprendimientos parciales o totales en todos los campamentos. Convendría fijar mejor el sistema de cubierta y todos sus elementos (tejas de barro, de asbesto cemento y lámina metálica) a lo largo de los elementos de soporte (muros, viguetas, armaduras, etc.), con el fin de evitar no solo el daño de la edificación a la que pertenecen, sino también de las edificaciones vecinas; ya que las tejas sueltas fueron la causa principal de los daños en cristalería.

Con relación al muro rompeolas es importante hacer una reparación a tiempo y prevenir la socavación. También se debería hacer un seguimiento al asentamiento que se presentó en los alrededores de la biblioteca, la sala de audiovisuales y el coliseo con el fin de tomar medidas preventivas.

En el muelle convendría disminuir las maniobras de camiones hacia la parte final del mismo (ver figura 2.23), ya que las condiciones en esta zona no son muy favorables. Nótese que algunos pilares de soporte están ejerciendo un efecto de punzonamiento sobre la losa, por lo cual sería conveniente hacer un estudio minucioso sobre las condiciones de unión actuales entre los pilares y la losa. En la figura 2.19 se aprecia que en algunas uniones pilar-losa se ha perdido continuidad en el concreto y los aceros están expuestos. Estas condiciones se observaron hacia el final de la estructura, donde desembarcan los buques; en la primera parte y en la zona intermedia la estructura se encuentra en buen estado.

En el segundo ejemplo correspondiente al huracán Wilma con daños en comercios ubicados en Cancún, Quintana Roo, se observó que las pérdidas más significativas se encontraron en los contenidos aunque en su estructura no haya tenido daños significativos. Los daños en contenidos representaron pérdidas económicas más considerables que en otros usos. En general se observó

que para velocidades de más de 198 km/h no existe una diferencia clara entre la ocurrencia de daños tanto en contenidos como en edificios. En el caso de las gasolineras se evidencio que el minisuper, los componentes que más sufrieron daño fueron los vidrios, las pinturas y los muros, lo que representa una pérdida considerable en el porcentaje de edificios. Para los espectaculares de las gasolineras, la ubicación de estas fue la que evidencio el daño ya que las que se encontraban en campo abierto libre de obstrucciones fueron las que resultaron con más daños.

No existe una relación directa de los daños con la velocidad del viento, esto se debe a que las estructuras de los comercios cambian en su diseño y arquitectura asociado al uso, lo cual es significativo al cuantificar las pérdidas monetarias.

Además se analizó el factor de topografía y rugosidad con las velocidades máximas y observar si se podían relacionar, se escogió 5 ejemplos de comercios. Después de analizar las velocidades de viento con la topografía y rugosidad adjunta a cada comercio se pudo observar que en el caso de zonas despobladas con menos vegetación, edificios y una topografía que favoreciera el choque de las fuerzas de viento, las velocidades fueron más altas que en las demás ubicaciones. Además convendría que los elementos no-estructurales como plafones, puertas, barandales y elementos localizados en áreas de gran exposición a las fuerzas del viento estén más fijos para que se pudieran comportar mejor, ya que cuando estos se desprenden se convierten en proyectiles que pueden llegar a incrementar de forma significativa los daños en los edificios y ser de potencial riesgo para la sociedad civil. Así mismo, la parte arquitectónica como estructuras que cuentan con entrantes y salientes pronunciadas, con geometrías que encierran corrientes de viento que forman vórtices de gran intensidad, construcciones con recubrimientos y elementos exteriores fáciles de desprender y con escalonamientos en sus elevaciones producen desviaciones de los flujos de viento que incrementan sus velocidades, deberían tener un diseño más optimo en el caso de fuertes vientos.

Es importante tener en cuenta que para el diseño por viento, el recubrimiento es el que más sufre daño en el caso de fuertes vientos, como consecuencia de eventos hidrometeorológicos extremos, por este motivo se recomienda analizar más el diseño de recubrimiento, el área de aberturas y su material y el tipo estructural de la edificación.

### Capítulo 3

En este capítulo se trabajó con velocidades de viento para zonas costeras y zonas centro del país de diferentes estaciones meteorológicas, después de analizar los datos de las estaciones sinópticas se observó velocidades excepcionalmente altas para algunas estaciones. Se comparó con registros de huracanes que habían impactado a México desde 1970 hasta el 2006 (base de datos del SMN), con registros de velocidades máximas de huracanes tales como Gilbert con 287 km/h, Wilma y Katrina con 230 km/h en el año 1988 y 2005 respectivamente. También se observó que para la estación de Acapulco existen datos de velocidades que no representaron velocidades de huracanes. Con respecto a las velocidades de viento del Atlántico y Pacífico, se observó un comportamiento similar con velocidades altas en casi todos los meses del año y con la misma frecuencia en ambas costas. Debido a estos errores en registros, mediciones, falta de mantenimiento o alguna causa que pudiera haber alterado la información original, no se consideró pertinente tener en cuenta estos datos para nuestro análisis.

En el caso de las estaciones automáticas (información proporcionada por el SMN), contiene menos errores que las estaciones sinópticas, debido a posibles fallas en los equipos de computación, falta de mantenimiento en los instrumentos meteorológicos, averías que no son reportadas y otros factores que pueden dañar la calidad de estos registros. Por estas razones no constituyen una

base de datos 100% confiable para realizar ningún tipo de análisis o procesamiento de datos. Las tendencias observadas para las estaciones ubicadas en la Costa Atlántica y Pacífica no muestran la ocurrencia de huracanes más intensos ni más frecuentes que puedan producir altas velocidades. La información solo demuestra que los datos que correspondientes a eventos máximos (extraordinarios) no coinciden con registros de huracanes, ni de fenómenos hidrometeorológicos ocurridos en esas fechas. Además se observó que para la mayoría de estas estaciones después del 2005 las tendencias de las velocidades han ido a la baja prueba de que no hay relación con el cambio climático. En algunos estudios realizados hace algunos años se mencionaba que el calentamiento global era el causante de que el año 2005 tuviera tantos eventos catastróficos, sin embargo estudios comprueban que las velocidades de viento en estos últimos años no han vuelto a aumentar lo que podría desestimar la teoría del calentamiento global y la ocurrencia de los huracanes.

A su vez se analizaron datos de viento del programa NCEP/NCAR de la Noaa, correspondiente a una malla de datos de información meteorológica de todo el mundo. De esta malla se escogieron puntos representativos de la costa Atlántica y Pacífica de México. Se compararon valores de viento cada año, 2, 5 y 10 años. Como conclusión se observó que las tendencias en su mayoría son a la baja y las velocidades fueron menores a 70 km/h para todos los puntos. Esto nos demuestra que no existe tendencia al aumento y las velocidades no representan huracanes más intensos o fenómenos naturales más peligrosos y que tengan una relación con el actual calentamiento global. También se analizó las tendencias por grupos de puntos que abarcaron todos los estados costeros donde se observó que las tendencias eran poco significativas.

En el caso de la precipitación, se analizaron registros por parte del ERIC III en estaciones costeras y algunas en el centro del país. En general, todas las estaciones presentaron tendencias negativas. Solo se vio que para los últimos años los valores eran menores que los años pasados aunque en algunos meses fueran mayores a la precipitación media. Para las estaciones de Quintana Roo y zona centro no presenta un aumento en los últimos años. Esto nos demuestra que no existe una relación que pueda relacionar el calentamiento global con el aumento de precipitaciones. De las estaciones del ERIC III y las automáticas podríamos concluir que los casos extremos fueron verificados y estos no correspondían a registros de eventos históricos, lo que nos hizo dudar de la calidad de la información. Las tendencias para las estaciones del ERIC III son a la baja en los registros de precipitaciones.

En el caso de los datos de las estaciones automáticas las tendencias a la baja en las precipitaciones fueron para Mexicali, Acapulco, Jalapa, Cancún y el Nevado del Toluca; las precipitaciones no fueron mayores a 30 mm. Para la estación de Matamoros se presentó un leve aumento en las precipitaciones de los últimos 5 años pero que a nivel global no es la máxima de la muestra, lo que no representa realmente una tendencia positiva en el aumento de las precipitaciones. También se observa que las precipitaciones se dan para los dos océanos de forma similar.

Los datos de precipitaciones de estas dos bases de datos, aunque para algunas existe una tendencia al aumento, no representa una relación positiva o en aumento con el calentamiento global, ya que estas intensidades no son muy altas como para ser producto de intensos fenómenos hidrometeorológicos como se han planteado ocurrirían con el aumento en la temperatura en la superficie del mar producto del calentamiento global.

#### Capítulo 4



En este capítulo se estudio la influencia del calentamiento global con el fenómeno de El Niño y La Niña donde se concluyo que el ONI (Oceanic Niño Index) para la región Niño 3.4 desde 1950 hasta el 2007, para El Niño y La Niña no ha presentado aumentos en la SST, por el contrario, se observa que estas temperaturas han sido de las más bajas, lo que indica que estos fenómenos no tienen relación con el actual calentamiento global.

En relación con los huracanes a nivel mundial, se pudo concluir que existe un incremento en los eventos ciclónicos para esta base datos. La zona con mayor actividad resulta ser el Atlántico, aunque el Pacífico registra eventos con mayores frecuencias. También se observó que para el Pacífico las categorías 3, 4 y 5 están siendo menos frecuentes. En el caso de las tormentas tropicales estas presentan un aumento en el número de frecuencias por año para los últimos años y un comportamiento constante en las frecuencias para los huracanes categorías 1 y 2. La categoría 5 presenta una tendencia a menores eventos. En el caso de los huracanes que han impactado a México, se puede decir que en México existe un aumento en el número depresiones y tormentas tropicales para el Atlántico y solo de depresión tropical para el Pacífico. En el caso de huracanes solo la categoría 4 para el Atlántico muestra un aumento en el numero de eventos (las demás categorías tienen un comportamiento constante o a la baja en los eventos tanto para el Atlántico como para el Pacífico). Se podría decir que las tendencias observadas para México no demuestran que existen mayor número de huracanes a consecuencia del calentamiento global o de ninguna otra razón.

Se comparó el resultado de nuestras conclusiones sobre las frecuencias de los ciclones tropicales en la cuenca del Atlántico, se realizó una gráfica comparativa entre el artículo: Saunders y Lea (2008) y nuestros datos para poder observar las diferencias y similitudes entre los dos. De ahí se pudo observar que la comparación entre el artículo realizado por Saunders y Lea nos demuestra que aunque se trata de la misma base de datos no se puede explicar porque los valores varían y no corresponden a nuestras gráficas realizadas de la misma forma que se explica en el artículo. Aunque se trató de imitar la forma de las gráficas cambiándole el signo a los valores, no se pudo llegar a la misma forma y valores presentados por Saunders y Lea. No se podría inferir acerca de las razones del porque no son similares pero se podría concluir que definitivamente como habíamos mencionado se observa un aumento en las depresiones y tormentas tropicales, y que en cuanto a los huracanes más intensos estos presentan un aumento pero que comparado con registros anteriores (años pasados) estos valores no rebasan los valores máximos de. El actual calentamiento global nos demuestra que posiblemente tengamos más categorías de depresiones y tormentas tropicales pero nuestro gran interrogante acerca de lo que puede pasar en el futuro siempre va a permanecer ya que no se ha podido evidenciar el mencionado gran aumento de las categorías más destructivas de ciclones tropicales y que cada día según muchos investigadores siguen aumentando.

### Conclusiones generales

- El actual calentamiento global no influye hasta el momento según datos de observaciones meteorológicas para que el fenómeno del viento pueda ser afectado de manera que aumenten los daños provocados a las estructuras debidas a las fuerzas que actúan sobre ellas. Sería de gran utilidad mejorar el estudio de la relación viento-estructura, a fin de poder aumentar la seguridad de los diseños y actualizar las normas existentes para mitigar los daños ante la ocurrencia de estos fenómenos.
- Mejorar la calidad y actualizar las bases de datos meteorológicos, ya que estos debido a falta de mantenimiento o mal manejo, presentan errores que pueden cambiar la percepción

de los resultados de estudios, que ayudarían a mejorar las estructuras y prever daños futuros.

### **Recomendaciones para trabajos futuros**

Para trabajos futuros sobre este tema se recomiendan los siguientes temas:

- Eventos no huracanados. Revisar los fenómenos meteorológicos que ocasionan fuertes ráfagas de viento al interior del país (sin ser huracanes), su modelación para calcular campos de viento, tasas de excedencia, reportes de daños, etc. Calcular tasas de excedencia de velocidades de viento en estaciones en que existan datos suficientes y confiables.
- Encontrar tendencias sobre huracanes que ingresan al interior de la República, cuál es el decaimiento en la velocidad de viento al ingresar a tierra y chocar con las zonas montañosas de México., para encontrar algunas tendencias para el cálculo de las perturbaciones de huracanes.
- Atenuación de la velocidad de viento al interior del país (factor tierra). Revisar registros de velocidad de viento por huracán en estaciones al interior de la República.
- Tiempo de exposición a velocidades de viento (Velocidad de desplazamiento del huracán). Analizar registros de velocidad de viento calculados para huracanes históricos, con el propósito de observar diferencias en intensidades de velocidad de viento y su duración, para así relacionar con el daño a inmuebles.

## ANEXOS

## CONTENIDO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>ANEXO 1.....</b>  | <b>6</b>  |
| EFECTO INVERNADERO .....   | 6         |
| 1.1 Introducción .....   | 6         |
| 1.2 Gases del efecto invernadero (GEI).....  | 6         |
| <br>   |           |
| <b>ANEXO 2.....</b>  | <b>7</b>  |
| CALENTAMIENTO GLOBAL .....   | 7         |
| 2.1 Introducción .....   | 7         |
| 2.2 Aumento de la temperatura.....   | 7         |
| 2.3 Ascenso del nivel del mar .....  | 9         |
| 2.4 Efectos biológicos .....   | 9         |
| 2.5 Efectos meteorológicos .....   | 9         |
| 2.6 Efectos sobre la salud humana.....   | 10        |
| 2.7 Problemática del calentamiento global en México .....  | 11        |
| <br>   |           |
| <b>ANEXO 3.....</b>  | <b>14</b> |
| NATURE, NOT HUMAN ACTIVITY, RULES THE CLIMATE .....  | 14        |
| 3.1 Introducción .....   | 14        |
| 3.2 Prueba de que el calentamiento no es causa de factores antropogénicos .....  | 15        |
| 3.3 El llamado "palo de hockey" diagrama de calentamiento, se ha desacreditado .....                                     | 15        |
| 3.4 Correlación entre la temperatura y los niveles de dióxido de carbono .....   | 17        |
| 3.5 Los modelos no ofrecen pruebas a favor del origen antropogénico del calentamiento de la tierra .....                 | 18        |
| 3.6 El registro de la temperatura global no es fiable.....   | 20        |
| 3.7 La mayoría de las causas modernas del calentamiento son debido a causas naturales...21                               |           |
| 3.8 Las oscilaciones pueden jugar un papel importante en el cambio climático, pero esto aún no se puede pronosticar..... | 22        |
| 3.9 El papel de las influencias solares en el clima ya no puede ser descuidado .....                                     | 22        |
| 3.10 Los modelos climáticos no son fiables.....  | 22        |
| 3.11 Modelos no consideran la oscuridad y el brillo solar .....  | 22        |
| 3.12 Modelos no reflejan con precisión la función de las nubes.....  | 22        |
| 3.13 Modelos no simulan posibles efectos negativos del vapor de agua .....   | 23        |
| 3.14 Modelos no explican muchas características de la tierra en las observaciones del clima23                            |           |
| 3.15 Modelos no pueden producir fiable Las predicciones de cambio climático regional .....                               | 23        |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.16 Tasa de aumento del nivel del mar, poco probable que aumente .....  | 24        |
| 3.17 Los pronósticos de más rápido aumento del nivel del mar son no resulta creíble .....  | 25        |
| 3.18 ¿Es de origen antropogénico los GEI que calientan los océanos? .....  | 25        |
| 3.19 ¿Cuánto sabemos sobre dióxido de carbono en la atmósfera? .....   | 25        |
| 3.20 Papel de los océanos como fuente de CO <sub>2</sub> y sumideros.....  | 27        |
| 3.21 Efectos de la actividad humana sobre las emisiones de dióxido de carbono son benignos .....   | 27        |
| 3.22 Mayores concentraciones de CO <sub>2</sub> no son responsables de eventos meteorológicos extremos.....  | 28        |
| 3.23 Beneficios económicos del calentamiento de la tierra .....  | 29        |
| <br>   |           |
| <b>ANEXO 4.....</b>  | <b>32</b> |
| INVESTIGACIONES REALIZADAS SOBRE EL CALENTAMIENTO GLOBAL POR EL INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA (INE).....  | 32        |
| 4.1 Documentos Instituto Nacional de Ecología .....  | 32        |
| 4.2 Investigación sobre el documento “INFORME FINAL DEL PROYECTO “ANÁLISIS DE POSIBLES IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO ESTUDIO DE CASO PRELIMINAR; CANCÚN, QUINTANA ROO (2006)”..... | 40        |
| Conclusiones.....  | 55        |
| <br>   |           |
| <b>ANEXO 5.....</b>  | <b>58</b> |
| LARGE CONTRIBUTION OF SEA SURFACE WARMING TO RECENT INCREASE IN ATLANTIC HURRICANE ACTIVITY .....  | 58        |
| 5.1 Introducción.....  | 58        |
| 5.2 Referencias artículo Mark A. Saunders y Adam S. Lea “INCREASING DESTRUCTIVENESS OF TROPICAL CYCLONES OVER THE PAST 30 YEARS” Kerry Emanuel .....                               | 63        |
| 5.3 Referencias artículo Mark A. Saunders y Adam S. Lea “UNCERTAINTY IN HURRICANES AND GLOBAL WARMING” Kevin Trenberth.....  | 66        |
| 5.4 Referencias artículo Mark A. Saunders y Adam S. Lea “HURRICANES AND GLOBAL WARMING” Landsea C.W.....   | 69        |
| <br>   |           |
| <b>ANEXO 6.....</b>  | <b>72</b> |
| U.S. AND CARIBBEAN HURRICANE ACTIVITY RATES .....  | 72        |
| 6.1 Introducción.....  | 72        |
| 6.2 Antecedentes para la comprensión de la variabilidad en el atlántico, EE.UU., y la actividad del Caribe .....   | 73        |
| 6.3 El paso a una perspectiva de mediano plazo en las tasas de actividad.....  | 74        |

|   |            |
|---|------------|
| 6.4 Obtención de expertos y período de sesiones.....  | 75         |
| 6.5 Obtención de mesa redonda.....  | 76         |
| 6.6 Información presentada por expertos.....  | 76         |
| 6.7 Actualizaciones anuales de los tipos de evento estocástico.....   | 78         |
| <b>ANEXO 7.....</b>   | <b>80</b>  |
| SIMULATED REDUCTION IN ATLANTIC HURRICANE FREQUENCY UNDER TWENTY-FIRST-CENTURY WARMING CONDITIONS.....      | 80         |
| <b>ANEXO 8.....</b>   | <b>85</b>  |
| 8.1 SEA SURFACE WARMING LEADS TO INCREASED ATLANTIC HURRICANE ACTIVITY.....                                 | 85         |
| 8.2 WARMER SEAS BOOSTED HURRICANE FREQUENCY BY 40 PERCENT: STUDY.....                                       | 85         |
| 30 Enero 2008.....  | 85         |
| 8.3 BENFIELD RESEARCH QUANTIFIES INFLUENCE OF SEA SURFACE TEMPERATURES ON HURRICANE ACTIVITY.....           | 87         |
| 8.4 LINKING WARM TO STORM.....  | 87         |
| THE ASSOCIATED PRESS.....   | 87         |
| 8.5 WARMING SEA TEMPERATURE LINKED TO HURRICANES WARMING OCEANS INCREASING HURRICANE ACTIVITY: REPORT.....  | 88         |
| 8.5 GUARDIAN HOME PAGES.....  | 88         |
| WARMER ATLANTIC FUELS HURRICANES, UK STUDY FINDS.....   | 89         |
| <b>ANEXO 9.....</b>   | <b>90</b>  |
| PRESS; AIR FOCUSES ON HURRICANE ORIGINS.....  | 90         |
| <b>ANEXO 10.....</b>  | <b>92</b>  |
| BUHRC STUDY REVEALS LARGE CONTRIBUTION OF SEA SURFACE WARMING TO INCREASED ATLANTIC HURRICANE ACTIVITY..... | 92         |
| 10.1 Resumen.....   | 92         |
| 10.2 Artículo “SEASONAL PREDICTION OF HURRICANE ACTIVITY REACHING THE COAST OF THE UNITED STATES”.....      | 93         |
| <b>ANEXO 11.....</b>  | <b>98</b>  |
| ASOCIACIÓN DE CAZADORES DE HURACANES.....   | 98         |
| 11.1 Historia de los cazadores de huracanes “Hurricane Hunters”.....  | 98         |
| <b>ANEXO 12.....</b>  | <b>105</b> |

ATMOSPHERIC WARMING AND THE AMPLIFICATION OF PRECIPITATION EXTREMES..105

|  |            |
|--|------------|
| <b>ANEXO 13.....</b>   | <b>110</b> |
| NATIONAL GEOGRAPHIC MAGAZINE, EL CAMBIO ESTÁ AQUÍ .....  | 110        |
| 13.1 Lo que vemos .....  | 110        |
| 13.2 Prueba positiva.....  | 112        |
| 13.3 Ahora es personal .....   | 114        |
| 13.4 Villa Verde .....   | 116        |
| 13.5 Cuando nos vamos .....  | 119        |
| <br>   |            |
| <b>ANEXO 14.....</b>   | <b>120</b> |
| ESTACIONES PARA EL REGISTRO DE VELOCIDAD DE VIENTO EN MÉXICO .....   | 120        |
| 14.1 Estaciones Meteorológicas Automáticas, Servicio Meteorológico Nacional / Comisión Nacional del Agua (EMAS-CNA).....   | 120        |
| 14.2 Estaciones Meteorológicas Automáticas de Superficie, Subsecretaría de Marina Dirección General de Investigación y Desarrollo, Dirección General Adjunta de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología, Dirección de Meteorología Marítima. .... | 127        |
| 14.3 INIFAP, Red Nacional de Estaciones Estatales Agroclimatológicas .....   | 128        |
| 14.4 Comisión Federal de Electricidad (CFE).....   | 130        |
| 14.5 Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE).....   | 131        |
| 14.6 National Data Buoy Center (NDBC), NOAA.....   | 131        |
| 14.5 Resumen velocidades de viento .....   | 133        |



## ANEXO 1

### EFFECTO INVERNADERO

#### 1.1 Introducción

El efecto invernadero es un proceso que se origina a partir de la energía procedente de la radiación solar que llega a la tierra. Parte de ella se refleja, pero en su mayoría penetra en la atmósfera y la calienta. Este se enfría gracias a que emite radiación infrarroja invisible. Pero parte de esta radiación infrarroja es atrapada por los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera que actúan como una cobija conservando el calor en ella. Sin el efecto invernadero la temperatura media de la tierra sería de unos 33C inferior a la actual, lo que sería hostil para la vida. El efecto invernadero es producido tanto de manera natural como de manera artificial (principalmente por la industrialización) debida al aumento de los gases invernaderos en la atmósfera.

Actualmente la producción de los gases que provocan el efecto invernadero (gases de invernadero) ha aumentado debido a la intervención humana. Estos gases (principalmente el dióxido de carbono - CO<sub>2</sub>) se encargan de absorber y retener parte de la energía emitida por el sol, impidiendo que los días sean demasiado calurosos o las noches demasiado frías; el aumento en la emisión de estos gases provoca grandes cambios en el clima a nivel mundial (haciéndolo cada vez más impredecible), sufriendo alteraciones en las temperaturas regionales, en los regímenes de lluvia, en la agricultura, incremento en la desertificación y la descongelación de los casquetes polares, elevando el nivel del mar y causando inundaciones en las zonas costeras y continentales en todo el mundo.

#### 1.2 Gases del efecto invernadero (GEI)

Se denomina GEI a los gases cuya presencia en la atmósfera contribuye al “efecto invernadero”. Los gases GEI más importantes están presentes en la atmósfera de manera natural, aunque su concentración puede verse modificada por la actividad humana, también entran en este concepto algunos gases artificiales, producto de la industria, entre ellos se encuentran: gases fluorados de efecto invernadero, carbonos hidrofluorados (HFCs), carbonos perfluorados (PFCs), hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), oxido nitroso (N<sub>2</sub>O), metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). En la figura 1.2 se muestra el comportamiento de la temperatura y el dióxido de carbono desde el año 400.000 hasta 1950. En esta gráfica se observa que estos factores siempre tuvieron un comportamiento similar sin presentar hasta el año 1950 algún cambio brusco, manteniendo un comportamiento cíclico.

## ANEXO 2

### CALENTAMIENTO GLOBAL

#### 2.1 Introducción

Existen actividades realizadas por el hombre que al parecer están surtiendo efecto sobre nuestro planeta, como el incremento de la temperatura, hasta el momento la temperatura se ha elevado entre 0.6 y 0.7°C. Además del incremento en la temperatura, la velocidad a la que está sucediendo esto demuestra que lo que está sucediendo está trayendo consecuencias negativas en ciertas partes del mundo.

#### 2.2 Aumento de la temperatura

La década de los noventa ha sido la más calurosa del último milenio. Esta elevación de temperatura, aunque pequeña, ya está provocando cambios importantes en las regiones frías del planeta. Recientemente se han registrado deshielos tanto en los polos como en las altas montañas de todo el mundo.

Se estima que la última vez que hubo agua en esta región fue hace 50 millones de años, lo que nos da una idea del impacto del calentamiento global. Bajo esta tasa de deshielo los estudios consideran que podría desaparecer el hielo en esta región del polo para el verano del 2050, causando una serie de trastornos serios en el equilibrio ecológico de una gran parte del planeta. La figura 2.1 muestra las consecuencias del aumento de la temperatura a nivel global. El deshielo en los polos, los glaciares tropicales desaparecerán, el aumento del nivel del mar y primaveras más adelantadas para América del Norte, entre otras.

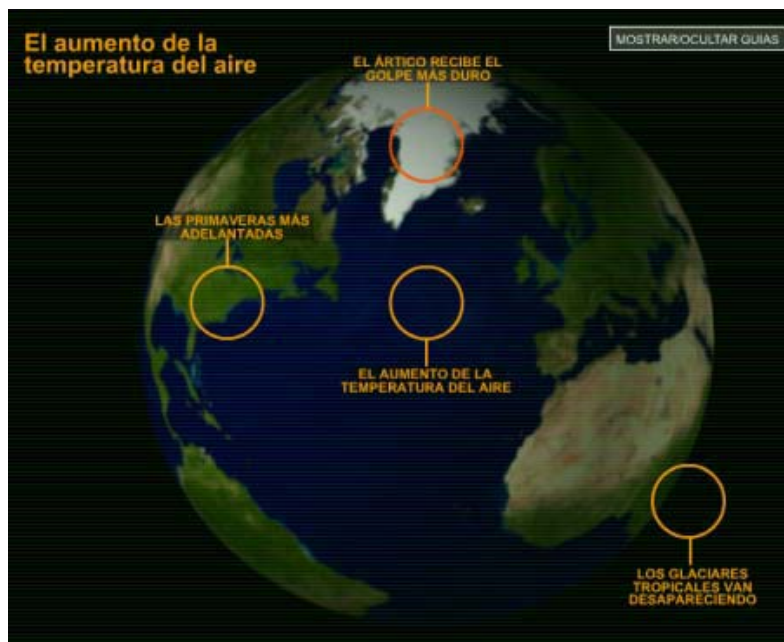


Figura 2.1 Aumento de la temperatura del aire (Discovery Channel, calentamiento global: signos y recursos, <http://www.tudiscovery.com/calentamientoglobal/>, 2008)

Algunos estudios se han enfocado en la capa de hielo sobre Groenlandia, y se ha notado que desde 1993, su cubierta de hielo ha disminuido más de un metro por año y que en la actualidad existen lagunas en lugares donde existía una cubierta de hielo de 30 m de espesor, además de que la cantidad de hielo que se derrite a nivel mundial va en aumento. Por otro lado la capa de hielo del monte Kilimanjaro en África está retrocediendo con una rapidez que podría desaparecer en menos de 15 años, causando problemas de abastecimiento de agua. Casos como este se observan en las montañas del Tíbet, Perú, así como los glaciares de Bolivia y de USA. En la figura 2.2 vemos la consecuencia que en la actualidad estamos viendo sobre los casquetes polares por el calentamiento de la temperatura.



Figura 2.2 Derretimiento de los casquetes polares (Discovery Channel, calentamiento global: signos y recursos, <http://www.tudiscovery.com/calentamientoglobal/>, 2008)

En la figura 2.3 se muestran los resultados del aumento en la temperatura en la Antártica del este, donde se ha producido un calentamiento general de alrededor 0.7C por década durante los últimos 30 años, aunque no se tiene conocimiento sobre las consecuencias que esto puede traer a la Antártica. Además se muestra como este continente no solo aislado geográficamente si no también resguardado por corrientes oceánicas y atmosféricas impiden el paso del agua y del aire, por esta razón solo la estrecha península Antártica ubicada más al norte es la que se mantiene alejada del calentamiento global, el resto del continente experimenta señales mixtas (en algunos sitios desaparece el hielo mientras que en otras aumenta).



Figura 2.3 Calentamiento en la Antártica (Discovery Channel, calentamiento global: signos y recursos, <http://www.tudiscovery.com/calentamientoglobal/>, 2008)

### 2.3 Ascenso del nivel del mar

Estudios actuales sobre esta problemática de que el incremento del mar traería grandes consecuencias, la gravedad de este problema en particular depende del nivel que pueda alcanzar y el tiempo en que ocurran dichos cambios. Hasta la fecha el calentamiento global ha provocado un incremento en el nivel del mar entre 14 y 20 cm. Cabe mencionar que las ciudades más importantes del mundo con poblaciones de aproximadamente 10 millones de habitantes se encuentran en zonas costeras. Conforme vaya subiendo el nivel del mar ira provocando erosión de las zonas costeras, contaminación de mantos acuíferos y desplazamiento de poblaciones humanas. Los proyectos de las Naciones Unidas proyectan que para el año 2100 habrá un incremento de entre 0.3 y 1 m, sin embargo en la actualidad existe un problema que con los datos que se tienen hasta ahora no se puede saber a ciencia cierta cuál será el nivel final. Cabe mencionar que el Antártico contiene alrededor de los 12 millones de metros cúbicos de hielo, alrededor de 84% de todo el hielo glacial de la tierra que causaría en caso de derretirse un nivel aproximadamente de 80 m.

### 2.4 Efectos biológicos

Los organismos biológicos de todo el planeta también están sufriendo las consecuencias del los cambios en el clima, desde los que habitan en mar hasta los de las montañas. Las aves están poniendo sus huevos hasta dos semanas antes de tiempo. Algunas especies de fauna silvestre han migrado hacia el norte o hacia elevaciones mayores en busca de las temperaturas a las que estaban acostumbradas. En las regiones frías, las poblaciones de pingüinos van disminuyendo debido a la pérdida de su hábitad. Algunas especies de árboles están ocupando espacios en latitudes más elevadas, los arboles de zonas templadas están floreando y produciendo hojas semanas antes de lo normal. Los anfibios han disminuido en un 60 a 70% en su población y se estima que 20 especies se han extinguido porque su hábitad ha desaparecido o cambiado.

### 2.5 Efectos meteorológicos

El calentamiento global está directamente relacionado con la atmósfera, esto está afectando los climas a nivel mundial, últimamente se están registrando una mayor variabilidad en los climas regionales. Un ejemplo de esto, se ha notado en el aumento de la frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos como tornados, huracanes y toda clase de tormentas alrededor del mundo. Por las altas temperaturas, las épocas de sequia se han vuelto más prolongadas y

severas. Por otro lado, el número de inundaciones se ha incrementado a través de los años. Según estudios la precipitación se ha incrementado a nivel mundial en un 2% y se espera que otros fenómenos que se han presentado de manera natural en el mundo como el fenómeno de El Niño se agraven a casusa del calentamiento del planeta.

## 2.6 Efectos sobre la salud humana

Los cambios climáticos alteran la abundancia, dinámica y distribución geográfica de las especies animales al igual que para los organismos portadores de enfermedades u organismos vectores. Por tanto, este fenómeno podría traer consecuencias importantes para la humanidad en cuanto al control de enfermedades. Por ejemplo en las dos últimas décadas, la malaria, dengue y el cólera se han incrementado, así también han aparecido 20 enfermedades nuevas según la Organización Mundial de la Salud.

Las enfermedades transmitidas por mosquitos van en aumento, esto se ve de manera clara en una región de Pakistán, un incremento de 5C desde 1978 ha contribuido a un incremento en casos de malaria de unos cientos de casos a 25000 en 1990. El dengue ha aparecido a altitudes mayores en Costa Rica (1250 m), en Colombia y la India (2200 m). Anteriormente, el rango de distribución se limitaba por la temperatura a aproximadamente 1000 m.s.n.m. En México, el vector del dengue ha sido detectado a 1600, antes de 1986, la transmisión del dengue solo era desconocida por encima de los 1200 m. En los últimos dos años también se han observado un incremento del dengue y la malaria en Argentina.

Otro problema para la salud son las oleadas de calor, que son temporadas en que la temperatura ambiente se mantiene alta. En los últimos años se han notado que las olas de calor han sido más prolongadas e intensas, sobre todo en las grandes ciudades. Durante los veranos de 1995 y 1998, en todo el mundo desde la India hasta USA, se vio un incremento en muertes ocasionadas por el exceso de calor.

La figura 2.4 muestra la temperatura de la tierra desde 1900 hasta el 2005. Se observa que las temperatura máximas con para los polos y que para Venezuela y Brasil en América del Sur, Mauritania y Namibia en África y Irán, Turkmenistán, Uzbekistán, Kazajistán y Rusia en Europa.

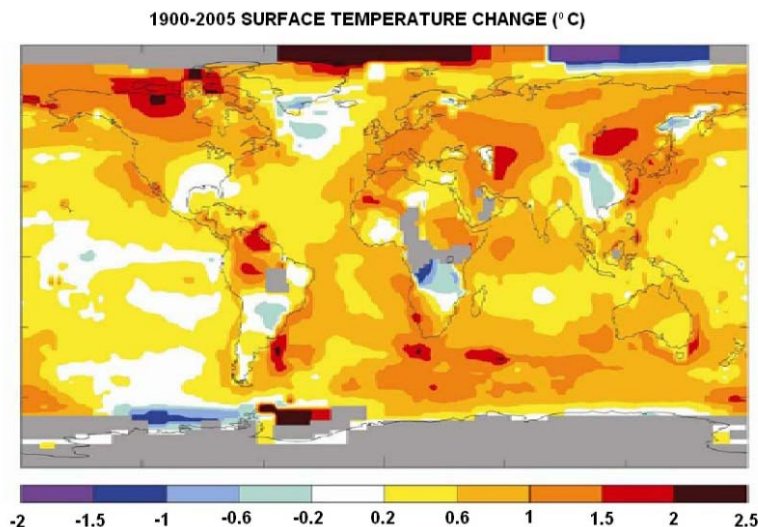


Figura 2.4 Temperatura de la superficie de la tierra (Vázquez M., 2007)



## 2.7 Problemática del calentamiento global en México

En los últimos años se han venido manifestando una crisis ambiental sin precedentes y de magnitud global, de la cual México no es ajeno en las causas que la generan, pero sobre todo en sus consecuencias para el desarrollo sustentable del país.

### 2.7.1 Agricultura

De continuar con el calentamiento global, los desiertos ganarían más terreno y provocarían que en este siglo un 75% de la superficie del país no sea apta para el cultivo del maíz, 8.4% sería moderadamente apta y un 15.9% sería apta, lo que representaría una reducción de cerca del 50% del área cultivable. En estados como Aguas Calientes, con un incremento del 5.1% sería el principal afectado, seguido de Baja California, Coahuila, Jalisco, Colima, Nayarit, Querétaro, Guanajuato, Michoacán, Sonora e Hidalgo.

### 2.7.2 Flora

Casi todos los tipos de vegetación tendrían de 10% de su superficie afectada por condiciones más secas y cálidas que las actuales, lo que representaría una fuerte presión para esas zonas. La vegetación más sensible a esos cambios de temperatura sería la de la Sierra Madre Occidental, que incluye una parte de los estados de Chihuahua y Durango, y el norte de Jalisco; la del cinturón volcánico mexicano; la de las serranías al sur del lago de Chápala, al oriente de Michoacán; la del norte de Morelos y la Sierra de Zongolica, en Veracruz, y la de los bosques mesofilos al oriente de Oaxaca y la zona de Comitán, en Chiapas. La figura 2.5 muestra un mapa de los posibles escenarios ante el cambio climático y un resumen de las entidades que más trabajan sobre las investigaciones acerca de este tema.



Figura 2.5 Mapa de sequías para México (El Universal, 2007)

### 2.7.3 Salud

Los efectos en la salud pueden ser directos, a través de ondas de calor o inundaciones, por ejemplo; o indirectos, como en el caso de cambios en la frecuencia de transmisión de enfermedades infecciosas o aquellas transmitidas por vectores. De esa manera, enfermedades infecciosas transmitidas por vectores (dengue, oncocercosis, paludismos, leishmaniasis o tripanosomiasis) y enfermedades infecciosas que no se transmiten por vector (cólera, paratifoidea, salmonelosis, fiebre tifoidea y shigelosis) se incrementarán en el país.

### 2.7.4 Clima

Hay riesgos de sequías en el norte de México, con grandes inundaciones y huracanes más intensos, así como el aumento del nivel del mar en las costas. Las mayores amenazas para el país residirían en la alteración del ciclo hidrológico que se notaría en sequías de un costo enorme, así como en la multiplicación de inundaciones y huracanes de mayor intensidad. En el caso de un incremento de alrededor de 2C, habría un incremento de 7% en la precipitación pluvial anual. La figura 2.6 muestra un estudio sobre el porcentaje de territorio que se verá afectado con el clima. Este estudio se basó en información de Canadá Climate Center Model.

#### MÁS CALOR / MAYOR ARIDEZ

El ambiente del país cambiará. Aquí un comparativo entre la situación actual y la proyectada a futuro, en relación con el porcentaje de territorio que cubrirá cada tipo de clima

| TIPO DE CLIMA        | ACTUAL       | A FINALES SIGLO XXI |
|----------------------|--------------|---------------------|
| Cálido húmedo        | <b>5.86</b>  | 6.67                |
| Cálido subhúmedo 2   | <b>3.67</b>  | 1.71                |
| Cálido subhúmedo 1   | <b>17.70</b> | 20.20               |
| Semicálido húmedo    | <b>2.10</b>  | 0.54                |
| Semicálido húmedo 2  | <b>0.38</b>  | 0.13                |
| Semicálido húmedo 1  | <b>6.58</b>  | 5.2                 |
| Templado húmedo      | <b>0.56</b>  | 0.28                |
| Templado subhúmedo 2 | <b>2.67</b>  | 1.31                |
| Templado subhúmedo 1 | <b>3.13</b>  | 2.06                |
| Semifrío             | <b>2.31</b>  | 0.00                |
| Seco cálido          | <b>11.00</b> | 18.10               |
| Seco semicálido      | <b>10.50</b> | 21.96               |
| Seco templado        | <b>11.60</b> | 12.49               |
| Árido cálido         | <b>6.07</b>  | 7.96                |
| Árido semicálido     | <b>11.37</b> | 1.58                |
| Árido templado       | <b>4.72</b>  | 0.00                |

Figura 2.6 Porcentaje de la temperatura para diferentes tipos de clima, a futuro (El Universal, 2007)

### 2.7.5 Agua

Las alteraciones en los esquemas de precipitación son los fenómenos más visibles y dramáticos del cambio climático. Una reducción del volumen de agua en cuencas demasiado explotadas puede convertirse en una catástrofe, principalmente en áreas densamente pobladas. En este



sentido se destaca la vulnerabilidad del sistema de Lerma-Chapala-Santiago, donde se concluye que la cuenca ha sufrido una disminución aproximada de 61% de su escurrimiento y de 99.7% en la reserva de agua; en cambio, el volumen de agua aprovechado aumento en 142%.

#### **2.7.6 Ciudad**

La vulnerabilidad de las ciudades crecerá ante la reducción de las precipitaciones y por la disminución en la recarga de los mantos acuíferos y, por otro lado, las inundaciones ocasionadas por precipitaciones extremas. En cuanto a la calidad del aire, problemas en el D.F, Guadalajara y Tijuana podría agudizarse. Estudios en los Estados Unidos han encontrado que un incremento en la temperatura podría ocasionar un aumento en las concentraciones de ozono en la atmósfera de las ciudades. Para el D.F esto sería muy grave por los daños que este contaminante provoca sobre la salud de la población y la destrucción de los bosques cercanos.

#### **2.7.7 Turismo**

En los próximos 15 años, el fenómeno del cambio climático tendrá severas repercusiones para los mercados turísticos del mundo al provocar la pérdida de entre un 25 y 80% de visitantes del Caribe con un aumento en la temperatura de 2 a 4C, y de 10% si el incremento es de 1C, advierten investigadores. Al experimentar veranos más cálidos, los habitantes de zonas frías tendrán que ir en búsqueda de calor en regiones tropicales, mismas que con el aumento de la temperatura padecerán ondas de calor extremos y sequías que le restaran atractivo. Se verán afectados particularmente los centros turísticos del Caribe mexicano.

#### **2.7.8 Litorales**

En la península de Yucatán, desde Quintana Roo hasta Campeche, las tierras bajas sufrirán una penetración de agua de mar muy importante, y las zonas más afectadas serán las áreas de Campeche y centro de Tabasco. El aumento del nivel del mar debido al calentamiento global impactara casi a la mitad del litoral del Golfo de México. Entre las zonas más vulnerables están las lagunas costeras y los pantanos. No solo se alterara radicalmente sistemas de gran productividad biológica, como las lagunas costeras sino también provocara un impacto irreversible sobre la biodiversidad de zonas de pantanos, como la Reserva de la Biosfera de Pantanos de Centla y el Área de Protección de Flora y Fauna de la Laguna de Términos.

## ANEXO 3

### **NATURE, NOT HUMAN ACTIVITY, RULES THE CLIMATE** **Nongovernmental International Panel on Climate Change, NIPCC**

#### **3.1 Introducción**

Este informe es un reporte del Panel No Gubernamental del cambio Climático (Nongovernmental International Panel on Climate Change, NIPCC), opuesto al Panel Intergubernamental del Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC). Este documento es un examen independiente sobre los datos que se exponen en las publicaciones del IPCC, incluyen también trabajos de investigación ignorados por el IPCC.

El NIPCC fue concebido y dirigido por el Doctor S. Fred Singer, profesor emérito de Ciencias Ambientales en la Universidad de Virginia. Es un grupo internacional de científicos no gubernamentales estudiosos que se han reunido para entender las causas y consecuencias del cambio climático, debido a que no están dispuestos a creer que el cambio climático es producido por GEI de origen antropogénico. Cuando el NIPCC vio los errores y falsedades que se cometieron en los proyectos iniciales de AR4, SEPP estableció un equipo B para producir una evaluación independiente sobre la evidencia científica disponible. La organización inicial comenzó en el 2003 en Milán, pero el equipo B solo se activo hasta después de que aparecieron los informes de AR4 y SEPP en el 2007, cambiando su nombre por NIPCC y organizando un taller de investigación en Viena (abril 2007).

Este informe se realizó debido a la preocupación que el IPCC ha provocado sobre el calentamiento global y sus razones antropogénicas, basados en una ciencia incompleta y defectuosa. Esta problemática ha llevado a demandas poco realistas de las normas de eficiencia de automóviles, construcción de estaciones de energía eólica y solar, producción de hidrocarburos (etanol y maíz) compra de fuentes de energía renovables por empresas eléctricas y leyes para las emisiones de dióxido de carbono emitido por centrales eléctricas.

El Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático del Grupo de Trabajo 1 (Ciencia) (AR4 del IPCC-2007), publicado en 2007, es un importante esfuerzo de investigación de un grupo de especialistas en muchos temas relacionados al cambio climático. Aunque AR4 es un documento impresionante, es una obra de referencias fiable sobre algunos de los aspectos importantes de la ciencia del cambio climático y la política, empañado por errores y haciendo caso omiso a los datos científicos disponibles y a las conclusiones que se han contradicho.

En general, el IPCC no considera importante varias cuestiones científicas, algunas de las cuales cambian sus conclusiones finales, como por ejemplo "la mayoría del aumento de temperatura media mundial observada desde la mediados del siglo XX, es muy probable que se deba al aumento antropogénico de gases de efecto invernadero". Las metodologías del IPCC no se aplican para determinar en qué fracción del actual calentamiento es de origen natural, o cuánto es causado por el aumento gases de efecto invernadero (GEI). Una comparación de las mejores observaciones disponibles con resultados y con simulaciones de GEI concluye que la contribución por origen antropogénico es muy pequeña. Esta prueba, aunque disponible, fue ignorada por el IPCC. El IPCC sigue subestimando pruebas abrumadoras de que, por decenios y siglos en escalas de tiempo largas, el sol y los efectos atmosféricos de nubes son responsables de gran parte de los

últimos cambios climáticos. Por lo tanto, es muy probable que el sol sea también una de las principales causas de este calentamiento.

Este informe se centra en dos grandes temas: origen antropogénico y pruebas de que las causas del actual calentamiento sea de origen natural. También se observan las siguientes falencias:

- Los modelos no son fiables a escenarios de futuras condiciones climáticas.
- El aumento del nivel del mar no es afectado significativamente por aumento de GEI.
- Los datos sobre el contenido de calor del océano han sido usados erróneamente a fin de sugerir calentamiento antropogénico. El papel de los GEI es en gran medida desconocido.
- La comprensión del dióxido de carbono atmosférico es muy pobre.
- Las mayores concentraciones de GEI, podrían ser beneficiosos para la vida vegetal y animal, y para la salud humana en concentraciones más bajas.

Entonces la pregunta básica es: ¿Cuáles son las fuentes de calentamiento del siglo XX? ¿Qué fracción es de origen natural y qué fracción es de origen antropogénico?

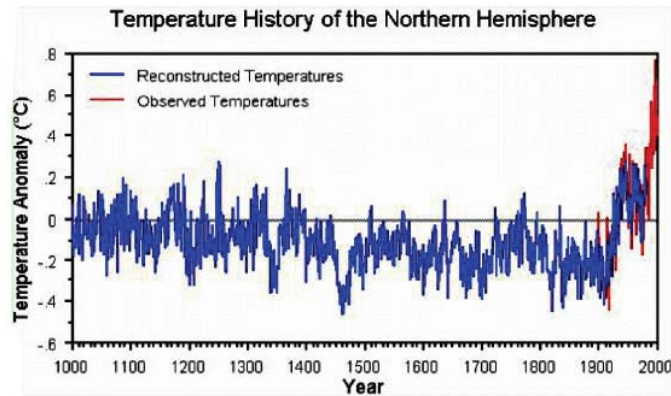
El IPCC afirma que "el aumento observado de la temperatura media mundial desde mediados del siglo XX es muy probable que se deba al aumento de GEI de origen antropogénico. Los autores le asignan casi un 90% de probabilidad a esta conclusión aunque no existan bases sólidas para esta afirmación. Su conclusión parece basarse en que la ciencia entiende muy bien el comportamiento natural del cambio climático. Por lo tanto, por eliminación, los últimos cambios climáticos deben ser inducidos por el hombre.

### **3.2 Prueba de que el calentamiento no es causa de factores antropogénicos**

Debería ser obvio, pero al parecer no lo es, que hechos tales como el deshielo de los glaciares y la desaparición del hielo marino en el Ártico, aunque interesantes, son totalmente irrelevantes para las causas del calentamiento global. Cualquier significativo recalentamiento de la tierra, si fuera de origen antropogénico o natural, derretiría el hielo con una frecuencia muy lenta. Por lo tanto, el calentamiento global antropogénico que se está produciendo, está respaldado por causas, más bien confusas. Además, las fluctuaciones de masa glaciar dependen de muchos otros factores, además de la temperatura y por lo tanto resultan ser dispositivos de medición muy pobres del calentamiento de la tierra.

### **3.3 El llamado diagrama de calentamiento "palo de hockey"**

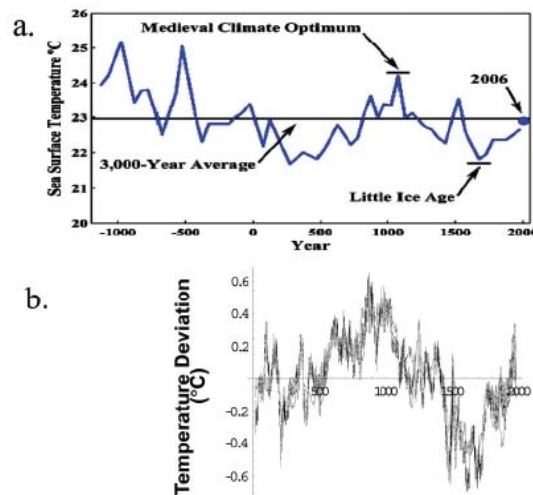
Otra pieza reclamada "prueba" para el calentamiento global, es la afirmación de que el siglo XX fue excepcionalmente el más cálido y el más caliente en los últimos 1.000 años. Comparado con el tercer informe del IPCC [IPCC-2001], no se hace hincapié en el "palo de hockey" analizado por Mann (Figura 3.1), que acaba con el Período Cálido Medieval y la Pequeña Edad de Hielo.



**Figure 1:** The 'hockey stick' temperature graph was used by the IPCC to argue that the twentieth century was unusually warm [IPCC-TAR 2001, p.3].

*Figura 3.1. Temperatura del Hemisferio Norte desde el año 1000 al 2000 (Singer S., 2008)*

### Prehistoric Temperatures from Proxy Data



**Figure 3a:** Surface temperatures in the Sargasso Sea (a two million square-mile region of the Atlantic Ocean) with time resolution of 50 to 100 years and ending in 1975, as determined by isotope ratios of marine organism remains in deep-sea sediments [Keigwin 1996]. The horizontal line is the average temperature for this 3,000-year period. The Little Ice Age and the Medieval Climate Optimum were naturally occurring, extended intervals of climate departures from the mean. A value of 0.25 degrees C, which is the change in Sargasso Sea temperature between 1975 and 2006, has been added to the 1975 data in order to provide a 2006 temperature value [Robinson et al. 2007].

**Figure 3b:** Paleo-temperatures from proxy data (with tree rings eliminated). Note the Medieval Warm Period is much warmer than the twentieth century [Loehle 2007].

*Figura 3.2 Datos de temperatura en la prehistoria (Singer S., 2008)*

El análisis de este llamado palo de hockey, fue acusado de errores metodológicos, demostrado por Steven McIntyre y Ross McKittrick [2003, 2005] y confirmado por las estadísticas de expertos como Edward Wegman (Wegman et al. 2006). La Academia Nacional de Ciencias (NAS 2006) informó que se omiten ligeramente errores y que se llega a la conclusión de que el siglo XX fue el más caliente en 400 años independiente de los análisis de las temperaturas del paleolítico, este estudio no se basa en los anillos de los árboles, estos han mostrado un Periodo Cálido Medieval más caliente que el actual.

En la figura 3.2 se observan las temperaturas en la superficie del mar Sargasso, con una pequeña era de hielo (figura 3.2a) y el clima medieval donde originalmente ocurrieron (figura 3.2b). En esta gráfica se muestra que el periodo cálido medieval es mucho más cálido que lo que se vio en el siglo XX.

### 3.4 Correlación entre la temperatura y los niveles de dióxido de carbono

El IPCC cita la correlación de la temperatura media mundial con aumentos de concentraciones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en el siglo XX. El argumento suena plausible, después de todo, el CO<sub>2</sub> es un GEI y sus niveles están aumentando. Sin embargo, la correlación es pobre y, en cualquier caso no resulta concluyente. El Reino Unido emitió un pronóstico de 10 años, en agosto de 2007, en el que predicen un mayor calentamiento poco probable para antes del 2009. Sin embargo, sugieren que entre 2009 y 2014 estos serán más cálidos que el presente (Met Office 2007).

Global and U.S. Mean Surface Temperatures

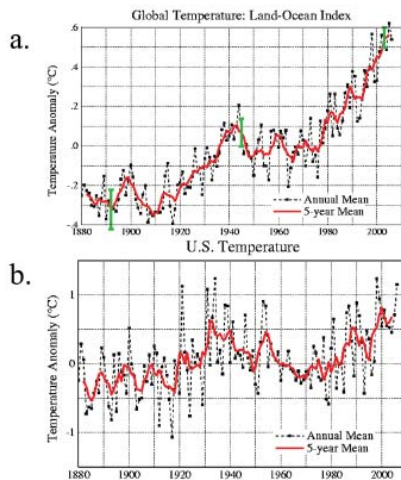


Figure 4a: The global mean surface temperature (GMST) of the twentieth century. Note the cooling between 1940 and 1975. [NASA-GISS, <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs/>]. GMST is subject to uncertain corrections; see text for a discussion of the problems of land and ocean data. The recent rise in temperatures shown here is suspect and does not agree with the measured tropospheric temperature trend (see Figure 13) or with the better-controlled US data, shown in Figure 4b.

Figure 4b: The 2007 discovery of an error in the handling of U.S. data has led to a greater amplitude of pre-1940 warming, which now exceeds the 1998 peak. The Arctic data exhibit a higher temperature in the 1930s than at present and correlate well with values of solar irradiance [Soon 2005]. Note the absence of recent warming and of any post-1998 temperature trend.

Figura 3.3 Temperatura media anual en la superficie para los EE.UU. (Singer S., 2008)

La figura 3.3 muestra las temperaturas en la superficie para USA y el índice Land-Ocean Index. Se observa que para los dos las temperaturas están en aumento desde principios 80's para Land-Ocean Index y el año 2000 para USA.

### **3.5 Los modelos no ofrecen pruebas a favor del origen antropogénico del calentamiento de la tierra**

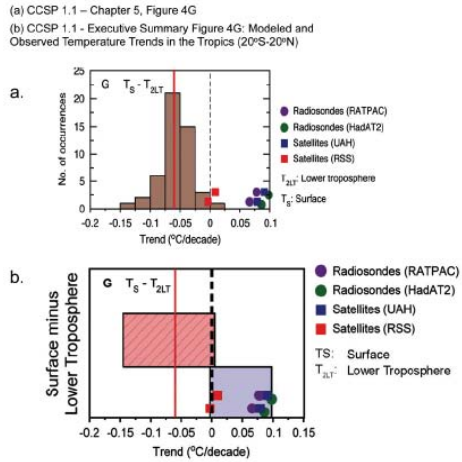
Actuales modelos climáticos dan un cambio climático, de 1,5 a 11,5C para el doble de concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico (Stainforth et al. 2005; Kiehl 2007). La amplia variabilidad se debe principalmente al escoger diferentes parámetros físicos que entrarían en la formación y desaparición de las nubes. Una crítica independiente del IPCC señala la arbitrariedad del ejercicio de clasificación, en vista de las grandes incertidumbres de algunos de estos parámetros, en particular de los aerosoles (Schwartz, de Charlson, Rodhe 2007). James Hansen, uno de los principales investigadores sobre modelos climáticos, llama la atención sobre la insuficiencia de nuestros conocimientos de aerosoles, declarando "el origen que impulsa el cambio climático a largo plazo no es todavía conocido con una precisión suficiente para definir el futuro" [Hansen 1998].

El Climate Change Science Program muestra que el resultado es inequívoco. Si bien todos los modelos de GEI muestran una creciente tendencia al calentamiento con relación a la altura en horas pico alrededor de 10 km aproximadamente (dos veces el valor de superficie), los datos de temperatura global dan como resultado algo sumamente opuesto: no hay aumento de calentamiento, sino más bien un ligero enfriamiento con la altura en La zona tropical. El Resumen ejecutivo del informe del Climate Change Science Program, reporta inexplicablemente reclamaciones de acuerdo con lo observado y lo calculado, al contrario de lo que el propio informe concluye. Lamentablemente, muchas personas no leen más allá del resumen y, por lo tanto, han sido engañados por creer que dicho informe apoya el calentamiento antropogénico.

Como se observa en la figura 3.4, los modelos muestran un histograma de valores negativos indicando que el calentamiento de la atmósfera será mayor que la superficie de calentamiento. Pero al contrario, los datos muestran principalmente valores positivos entre la diferencia en las tendencias, demostrando que se está produciendo el calentamiento medido principalmente en la superficie y no en la atmósfera.

La misma información se puede expresar aún de otra manera, como se ha visto en trabajos de investigación por Douglass et al. (2004, 2007), tal como se muestra en la figura 3.5. Los modelos muestran un aumento en la tendencia de la temperatura contra la altura, pero las observaciones indican lo contrario. Esta falta de adecuación de lo observado y calculado es la evidencia sobre la hipótesis de que el calentamiento global es de origen antropogénico. Debemos Por lo tanto, concluir que los gases antropogénicos GEI pueden contribuir sólo en una forma menor a la actual calentamiento, que es principalmente de origen natural.

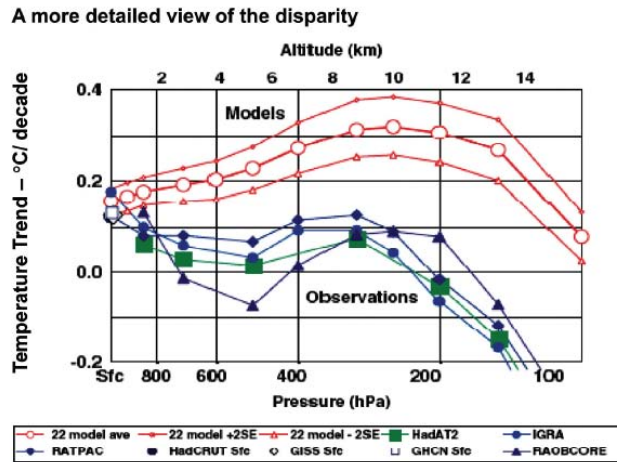
### Model-Observations Disparity of Temperature Trends



**Figure 9a:** Another way of presenting the difference between temperature trends of surface and lower troposphere; this is figure 5.4G from CCSP 2006, p. 111. The model results show a spread of values (histogram); the data points show balloon and satellite trend values. Note the model results hardly overlap with the actual observed trends. (The apparent deviation of the RSS analysis of the satellite data is as yet unexplained.)

**Figure 9b:** By contrast, the executive summary of the CCSP report presents the same information as Figure 9a in terms of 'range' and shows a slight overlap between modeled and observed temperature trends [Figure 4G, p. 13]. However, the use of 'range' is clearly inappropriate [Douglass et al. 2007] since it gives undue weight to 'outliers.'

Figura 3.4 Tendencias de modelos de temperaturas (Singer S., 2008)



**Figure 10:** A more detailed view of the disparity of temperature trends is given in this plot of trends (in degrees C/decade) versus altitude in the tropics [Douglass et al. 2007]. Models show an increase in the trend with altitude, but observations from balloons and satellites do not.

Figura 3.5 Diferencias entre las tendencias de temperaturas contra la altura en los trópicos (Singer S., 2008)



### 3.6 El registro de la temperatura global no es fiable

Es probable que los datos estén equivocados o que los modelos de computadora también se equivoquen o ambos. Varios investigadores han hablado de la dificultad de conseguir el acceso a datos originales, que permitan la verificación sobre el calentamiento global y el análisis de temperatura de la superficie terrestre. Min, Yang, Pielke 2007; McKittrick y Michaels 2006, han criticado enérgicamente el hecho de que no haya suficiente control sobre los efectos de la “isla de calor urbano”, el hecho de que el asfalto, edificios, unidades de aire acondicionado, y otros partes de la vida urbana causen el calentamiento de las zonas urbanas, no tengan nada que ver con los GEI. Un estudio temperatura de las estaciones en California no encontró calentamiento en las zonas rurales de los condados, tan solo un ligero calentamiento en zonas suburbanas de los condados.

Otra de las críticas sobre los registros de temperaturas es la mala distribución geográfica y de muestreo. El número de estaciones ha variado mucho con el tiempo y ha disminuido notablemente desde la década de 1970. Con la disminución de estas estaciones, el número de la red de muestreo ha disminuido 1200 a 600, una cobertura de 46% al 23%. Los datos sobre las temperaturas de la superficie del mar, se han obtenido de las boyas y satélites en lugar de los buques, como se hacía anteriormente, ya que los satélites proporcionan una cobertura mundial y un conjunto de datos más homogéneos sobre la atmósfera de la tierra. Por último, hay una cuestión general sobre la forma de definir una tendencia, en vista de su dependencia de la elección de un intervalo de tiempo. Este problema es más difícil debido a la aparición de frecuentes fenómenos de El Niño/La Niña y temperaturas volcánicas.

A menudo se afirma que el clima se ha calentado en el siglo XX, pero sin mencionar el calentamiento hasta 1940, en comparación a la pequeña era del hielo, es casi seguro que sus causas son de origen natural y que no había periodos fríos desde 1940 a 1975 cuando los niveles atmosféricos de CO<sub>2</sub> aumentaron rápidamente. Incluso a fines del siglo XX la tendencia al calentamiento puede no ser real. La tendencia mundial, desde 1979 derivados de los datos obtenidos por satélite, depende de la elección de la fecha de finalización.

En la figura 3.6 de acuerdo a la pre-1940 indica un calentamiento de recuperación de la pequeña edad de hielo, que probablemente fue causado GEI, sino por factores naturales, entre los que se encuentran la variabilidad solar, probablemente la más importante. Sin embargo, El IPCC en 2001 (IPCC-TAR, p. 716) cito un documento en el que se mantiene la causa antropogénica.

Global Lower Tropospheric Temperature, 1978-2007

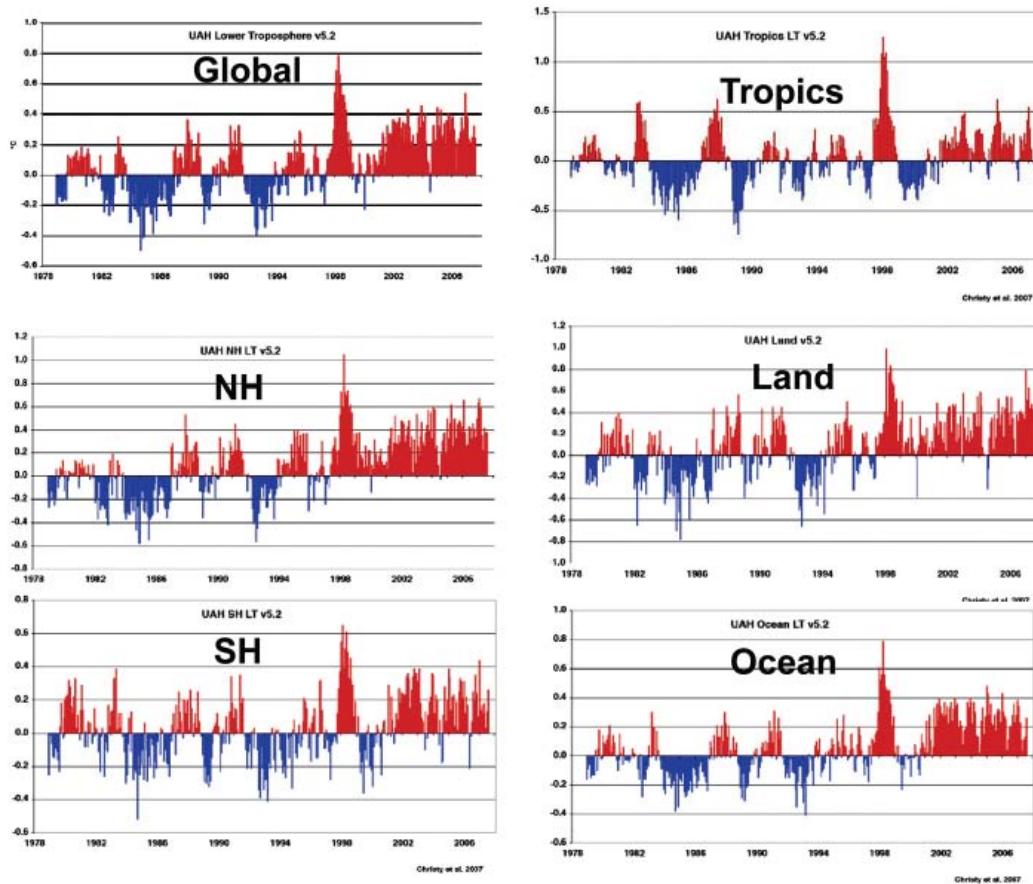


Figure 13: Lower troposphere temperatures versus time from MSU-UAH satellite data. (a) Global; (b) Northern Hemisphere; (c) Southern Hemisphere; (d) Tropics [20 N-20S]; (e) Land; and (f) Ocean [Christy 2007]. Note the absence of a significant trend before 1997 and after 1998. Evidently, the calculated linear trend values (in degrees C per decade) depend on the choice of time interval.

Figura 3.6 Temperatura global en la troposfera baja desde 1978-2007 (Singer S., 2008)

En conclusión la afirmación de que el hombre es la principal causa del reciente calentamiento no es apoyado por la ciencia. La evidencia científica citada por el IPCC en gran medida se contradice con las observaciones y análisis.

**3.7 La mayoría de las causas modernas del calentamiento son debido a causas naturales**

Hay muchas causas del cambio climático mundial, cada uno de ellas prominente en función de la escala de tiempo considerado. En una escala de tiempo de décadas o siglos, la variabilidad solar puede ser el factor más importante y no las oscilaciones naturales especialmente a escala regional, que no parecen estar conectadas a cualquier causa humana.

### **3.8 Las oscilaciones pueden jugar un papel importante en el cambio climático, pero esto aún no se puede pronosticar**

Las más importantes oscilaciones naturales son: Oscilación del Atlántico Norte (OAN), Atlántico Multi-Oscilación Decadal (AMO), Oscilación Pacífico Decadal (DOP) y el fenómeno de El Niño/La Niña (ENSO). El informe del IPCC describe bien las simulaciones de oscilaciones internas del sistema de atmósfera-océano. Sin embargo, no pueden ser simulados a la perfección por modelos climáticos.

### **3.9 El papel de las influencias solares en el clima ya no puede ser descuidado**

El IPCC ha sido sincero sobre las influencias solares en el clima. Su primer informe hizo caso omiso a la variabilidad solar. Tan solo empezó a ser involucrado después de la labor pionera de Baliunas y Jastrow (1990) y las sorprendentes correlaciones hechas entre el siglo XX, la temperatura y duración del ciclo solar, publicado por Friis-Christensen y Lassen, (1991). Incluso hasta entonces, los informes del IPCC han persistido hasta el momento, en concentrarse en los cambios de ciclo solar total en la energía solar irradiada, que son muy pequeñas, del orden del 0,1% (Lean de 1995; Willson y Mordvinov 2003). Por desconocer o hacer caso omiso de los grandes cambios de la energía solar ultravioleta (Haigh 1996, 2003) o del viento solar y su campo magnético efecto sobre los rayos cósmicos y por lo tanto, en la cobertura de nubes (Svensmark 2007), el IPCC ha logrado trivializar el clima sobre los efectos de la variabilidad solar. El IPCC no discute las referencias de los documentos de investigación básica en este campo (Veizer, Shaviv y Svensmark). Esta omisión es difícil de justificar en un informe que afirma ser el más definitivo y concluyente sobre el cambio climático. De hecho, la variabilidad solar podría explicar el precalentamiento de 1940 y el subsiguiente enfriamiento, el periodo medieval caliente y la pequeña era del hielo en un período de aproximadamente 1.500 años, que se remontan a un millón de años o más [Singer y Avery 2007].

### **3.10 Los modelos climáticos no son fiables**

El IPCC en su informe del 2001 admitió que el tema del clima la investigación y la elaboración de modelos, es un trabajo demasiado cuidadoso, y que, por tanto, la predicción a largo plazo del clima futuro no es posible al 100% (IPCC-TAR 2001, p. 774). Además el sistema climático del planeta está sujeto a importantes cambios e influencias más allá del propio comportamiento de la tierra que no se entienden bien y no se pueden controlar. Los modelos de computadora, sin duda, tratan de proyectar las posibles consecuencias de variables climáticas, sin embargo, los modelos no representan la realidad y el IPCC persiste en tratarlos como la realidad.

### **3.11 Modelos no consideran la oscuridad y el brillo solar**

Los modelos existentes no tienen en cuenta la existencia del vapor de agua y su absorción en la atmósfera por la radiación solar en el infrarrojo cercano, lo que puede conducir a un clima negativo y a una concentración de vapor de agua en la troposfera baja.

### **3.12 Modelos no reflejan con precisión la función de las nubes**

Las diferencias entre los resultados de los modelos son grandes y surgen principalmente del tratamiento de las nubes y la elección arbitraria de las nubes relacionadas con parámetros, en particular, del tamaño de la gota (Senior y Mitchell 1993), que influye mucho en el efecto de la nube albedo (relación en porcentaje de la radiación que proviene del sol). La mayoría de los efectos son causados por un pequeño subconjunto de los parámetros; por ejemplo, la elección del coeficiente

de arrastre en las nubes está asociada con el 30% de la variación vista en la sensibilidad climática (Knight 2007). Como ya se menciona, los actuales modelos de GEI no coinciden con la distribución observada de las tendencias de temperaturas. En particular, sería de esperar que la producción de aerosoles de sulfato en el Hemisferio Norte deba crear una reducida tendencia al calentamiento o incluso de enfriamiento. Las observaciones demuestran lo contrario.

### **3.13 Modelos no simulan posibles efectos negativos del vapor de agua**

El vapor de agua es el más importante GEI, difícil de explicar en términos simples, y su forma en que también puede actuar para producir una retroalimentación negativa, es decir, para reducir el presunto calentamiento por emisiones de CO<sub>2</sub>. De hecho, los actuales modelos de GEI incluyen una respuesta positiva de un aumento de vapor de agua.

### **3.14 Modelos no explican muchas características de la tierra en las observaciones del clima**

Más allá de este tema, los actuales modelos de GEI no explican muchas otras características de las observaciones sobre el clima de la tierra. Por ejemplo, la historia de las temperaturas polares, la tendencia de enfriamiento de la Antártida, el efecto de balancín del Hemisferio Norte y el Hemisferio Sur vinculadas a la circulación de los océanos, y las características tales como la oscilación Madden-Julian en los trópicos, la Oscilación del Atlántico Norte, la Oscilación del Atlántico Multi-Decadal (Schlesinger y Ramankutty 1994), la Oscilación Decenal del Pacífico (Mantua 1997), y las ocurrencias de El Niño y La Niña.

### **3.15 Modelos no pueden producir fiable las predicciones de cambio climático regional**

Los modelos de computadora son insuficientes en la simulación de la proyección de efectos regionales, especialmente cuando se trata de la precipitación. Este hecho se puede demostrar más claramente en el Informe de Evaluación Nacional de Cambio Climático (NACC de 2000) de EE.UU donde se utiliza tanto el modelo de Hadley como el modelo canadiense para 18 regiones de los Estados Unidos.

Como se ve en figura 3.7 en aproximadamente la mitad de las regiones los dos modelos dieron resultados opuestos. Por ejemplo, Dakota se convertiría en un desierto o en un pantano en el 2100, según el modelo escogido. Es significativo que el informe no cumpla con las pruebas de información de calidad.

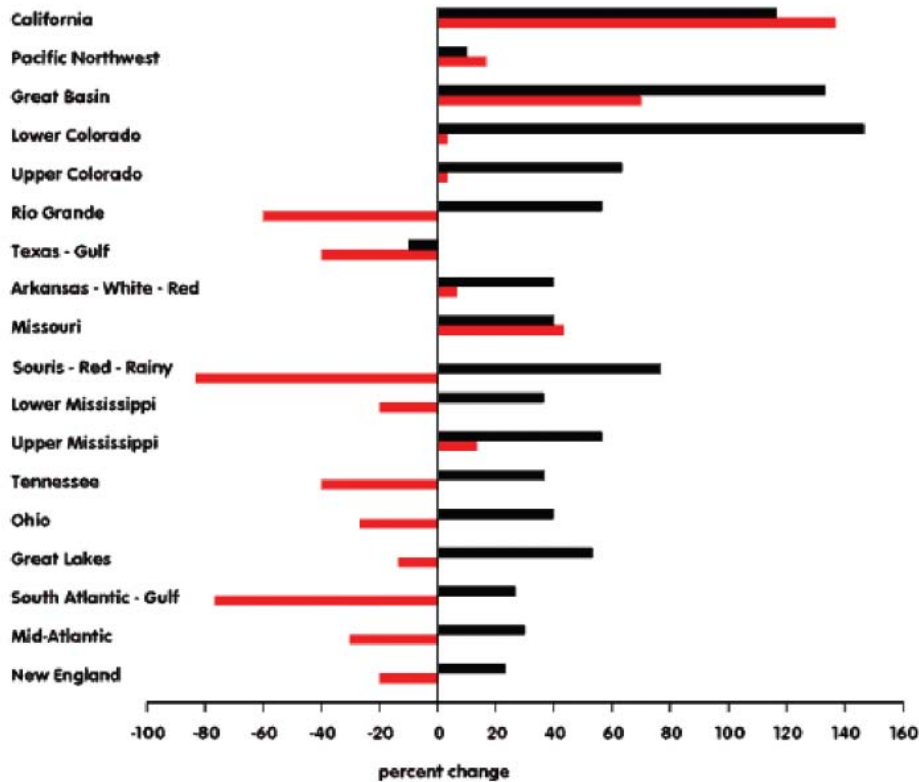
Si bien son útiles los experimentos para estudiar la sensibilidad de los parámetros de los cambios en el clima, los modelos de computadora son inapropiados para las predicciones de clima futuro. Kevin Trenberth, autor principal de la IPCC-2007], menciona:

*No hay previsiones por el IPCC en absoluto. Y nunca han estado allí. El número de asunciones que contienen dichos escenarios de emisiones, están destinadas a abarcar toda una gama de posibles. Pero ellos no consideran aspectos como la recuperación de la capa de ozono, o algunas tendencias observadas en los agentes de forzamiento. No existe una estimación, ni siquiera probabilísticamente, de la probabilidad de ocurrencia de cualquier escenario de las emisiones. Aunque las proyecciones se basan en los resultados de los modelos las diferencias de la relación clima-futuro para que el día de hoy, es incierta.*

El 'invierno nuclear' episodio de 1983 a 1984 representa un buen ejemplo de cómo el clima mundial no puede ser simulado por modelos y de cómo puede engañar al público e incluso a muchos

expertos. La Ideología, del 'Invierno nuclear' se basó en un modelo de cálculo que se utiliza artificialmente para dar el resultado deseado, descuidando importantes procesos atmosféricos. Este 'Fenómeno' fue tomado por la prensa popular, con respaldo de la Academia Nacional de Ciencias del Panel, y tomado muy en serio por los organismos gubernamentales, incluido el Pentágono. Ahora aunque con una mejoría este modelo ha resucitado (Robock 2007), pero con la mismos problemas que la versión original. En conclusión, los modelos climáticos utilizados por el IPCC no representan con exactitud el clima. No pueden hacer predicciones fiables y no deben utilizarse en la formulación políticas del gobierno.

**Percent Change in Predicted Rainfall - 1990 to 2090 - Two Climate Models**



**Figure 16:** A result from the U.S. National Assessment of Climate Change [NACC 2000]: Expected precipitation for 18 regions of the United States, according to the Hadley model and Canadian model. Note the huge differences between the two model results in magnitude and even in sign. For example, the Dakotas (Souris - Red - Rainy) can turn either into a swamp or into a desert, depending on which climate model is used.

*Figura 3.7 Porcentaje de precipitación de 1990 a 2090, con dos modelos diferentes (Singer S., 2008)*

### 3.16 Tasa de aumento del nivel del mar, poco probable que aumente

El nivel del mar es uno de los más temidos efectos de cualquier futuro calentamiento de la tierra, pero el debate público de este problema se ve acosado por los datos y extremadamente por pobres análisis engañosos. Las estimaciones sobre el aumento del nivel del mar son poco fiables. La mayor parte de la discusión, incluida la del IPCC, está formulada en términos de media mundial

del nivel del mar. Aun suponiendo que esta estadística se pudiera estimar con precisión, tiene poco valor en la práctica. El nivel del mar relativo, es muy variable en todo el mundo. Hoy en día no existe un nivel mundial significativo promedio del nivel relativo del mar (Douglas 2001). En uno de los sitios con mayor peligro de extinción, las Maldivas, condenado a desaparecer por aumento del nivel del mar, las evidencias tanto por satélite de altimetría y registros de marea, no han registrado ningún aumento considerable. Contrariamente a lo que dice el IPCC, el nivel del mar disminuyó en un 20 a 30 cm en los últimos 30 años (Mörner 2004).

Algunos análisis (Holgate 2006), han sugerido incluso una desaceleración de la tasa del nivel del mar durante la segunda mitad del siglo XX. Podemos concluir, por lo tanto, que ha habido una insignificante aceleración, en su caso, en aumento desde 1900 a pesar de los cambios de temperatura. Esta conclusión está completamente en desacuerdo con la del IPCC, sin embargo, es apoyada por muchos investigadores independientes (Douglas 2001).

### **3.17 Los pronósticos de un rápido aumento del nivel del mar no son creíbles**

Recientemente, Stefan Rahmstorf (2007) publicó un nuevo enfoque en la predicción sobre el aumento del nivel del mar, que supera las actuales estimaciones del IPCC. Simplemente asume que la tasa de aumento es proporcional a la temperatura media mundial. No hay ninguna base teórica para apoyar esta hipótesis y de hecho, se contradice con las pruebas observadas: el aumento del nivel del mar ha continuado a la misma velocidad, incluso cuando el clima era de enfriamiento de 1940 a 1975. Es probable que dentro de las observaciones reales en los próximos años se muestren extremas estimaciones equivocadas.

### **3.18 ¿Es de origen antropogénico los GEI que calientan los océanos?**

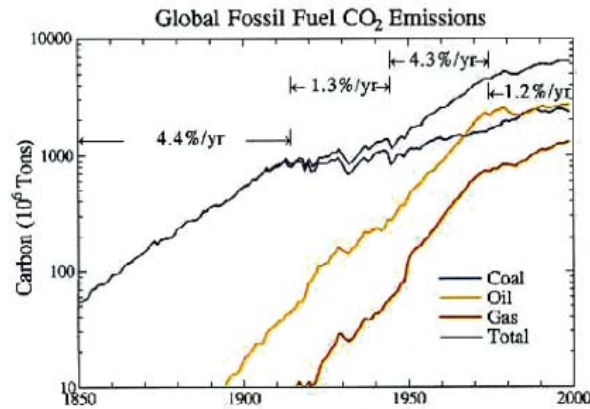
En el 2005, Hansen anunció que había encontrado una pista sobre el calentamiento antropogénico comparando la tasa creciente de los océanos calientes con una energía asumida en la parte superior de la atmósfera. El problema es saber qué parte de la energía se transmite a la capa debajo del mar a fin de ayudar a calentar el océano (Singer 2005, B; Singer 2006). Peter Minnett (2006) cree que los datos muestran que la totalidad de la energía contribuye al aumento de temperatura de la superficie del mar. En respuesta a la afirmación del aumento de temperatura observado de los océanos se ofrece una posible explicación, ya que tenemos que considerar la posibilidad de que el aumento de temperatura sea parte de errores de medición en los últimos 25 años. Fácilmente la combinación de datos entre barcos, aviones y boyas puede conducir a una serie de datos errados dando como resultado un ficticio aumento de temperatura.

### **3.19 ¿Cuánto sabemos sobre dióxido de carbono en la atmósfera?**

La verdadera interrogante es: ¿Puede la tasa de aumento de concentración CO<sub>2</sub> ser explicado con la suficiente precisión, teniendo en cuenta las diversas fuentes e incertidumbres asociadas con ellos, para así poder predecir los efectos de las reducciones antropógenas de emisiones de GEI? Ernst-Georg Beck, ha demostrado gracias al montaje de más de 90.000 estaciones de medición de CO<sub>2</sub> atmosférico que datan del siglo XIX, que las grandes variaciones, un aumento importante de la temperatura de los océanos desde 1920 a 1940 (Beck 2007), la cuestión todavía no se ha resuelto plenamente. Por otra parte, se observó que la distribución de CO<sub>2</sub>, y su desarrollo a través del tiempo, proporcionan pruebas importantes para la prueba del crecimiento de CO<sub>2</sub> por parte humana.

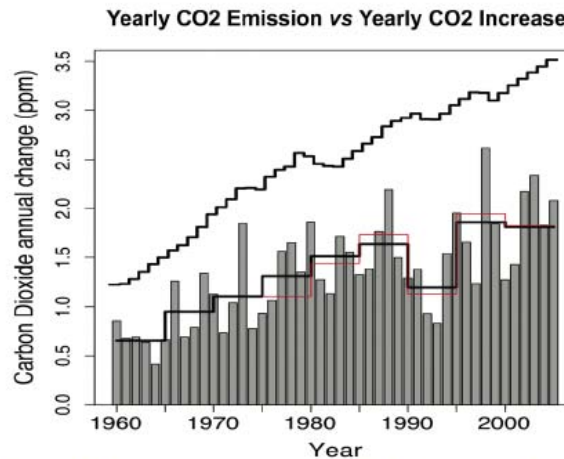
La figura 3.8 muestra las tendencias de las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> por el uso de combustibles fósiles desde 1850 a 2000. Las emisiones crecieron a una tasa anual del 4,4% de

1850 a 1915, se redujo a 1,3% desde 1915 a 1945 (reflejo de la depresión económica mundial), aumentó a 4,3% durante la recuperación de 1945 a 1975, y, por último, una vez más disminuyó a 1,2% en el período comprendido entre 1975 a 2000, que refleja la difusión de tecnologías con mayor rendimiento energético.



**Figure 22:** Growth of CO<sub>2</sub> emissions (in megatons per year of carbon) from fossil fuels [Marland 2007]. The top curve gives the total values and growth rates as shown. Note the rapid rise of oil use and then natural gas. Note also that the vertical scale is logarithmic; an exponential rise in emission therefore will appear to be 'linear.'

Figura 3.8 Emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> por el uso de combustibles fósiles (Singer S., 2008)



**Figure 23:** The year-to-year increase of CO<sub>2</sub> vs. time. The bar graph shows an increase in the atmospheric levels, an irregular pattern that correlates well with El Niño warming events and volcanic cooling events. Yet the release of CO<sub>2</sub> from fossil-fuel burning (upper curve) increases smoothly [IPCC 2007, p. 516]. Presumably, there are strong temperature-dependent variations in the CO<sub>2</sub> absorption of the ocean.

Figura 3.9 Cambios en emisiones de CO<sub>2</sub> antropogénico desde 1960 (Singer S., 2008)



La figura 3.9 se compara los cambios en emisiones de CO<sub>2</sub> por origen humano desde 1960. La fracción de las emisiones en la atmósfera varía considerablemente y parecen correlacionarse con la temperatura del océano, el fenómeno de El Niño (temperatura), erupciones volcánicas, y no a emisiones humanas de CO<sub>2</sub>.

Estudios anteriores (IPCC-2007) sugieren que existe una fuerte capacidad de absorción de carbono en el Hemisferio Norte, y que los trópicos son una fuente neta de carbono. Algunas pruebas, se consideran controversiales ya que datos detallados de CO<sub>2</sub> (Fan, 1998) de América del Norte revelan que es un sumidero neto de carbono (IPCC-AR4 2007, p. 523). Sin embargo, informes de Stephens (2007) señalan que las distribuciones verticales globales de CO<sub>2</sub> en la atmósfera no son coherentes con los de la interpretación y si más compatibles con los modelos que muestran una menor cantidad de carbono, posiblemente, una fuerte absorción de carbono en los trópicos.

### **3.20 Papel de los océanos como fuente de CO<sub>2</sub> y sumideros**

El papel desempeñado por un calentamiento del océano parece ser incuestionable. La solubilidad del CO<sub>2</sub> en el agua disminuye al aumentar la temperatura por aproximadamente 4% por cada grado centígrado. Por lo tanto, la capacidad de un calentamiento del océano por absorber CO<sub>2</sub> disminuye. El IPCC no discute más allá de solo mencionar que el CO<sub>2</sub> es absorbido en las partes más frías de los océanos y que pueden ser liberados en las partes más cálidas. Un estudio más profundo sobre el tema tiene en cuenta la circulación de los océanos y cómo estos atraen CO<sub>2</sub> en agua fría a la superficie. Esto también implica conocer el grado de saturación de las masas oceánicas, como una función del tiempo y el grosor de la capa de mezcla, probablemente una función de la superficie de los vientos y el estado del mar.

La tasa de absorción del CO<sub>2</sub> por parte del océano depende de la diferencia entre la presión parcial de CO<sub>2</sub> en la atmósfera y la presión que existiría si el océano y la atmósfera estuvieran en equilibrio. Le Quere (2007) revela que la tasa de absorción del Océano Austral, una de las más importantes regiones de absorción de CO<sub>2</sub>, se ha desacelerado en relación con lo que se esperaba aumentara con las concentraciones de CO<sub>2</sub> desde 1981. Ellos atribuyen este déficit a un aumento de vientos suaves sobre el Océano Antártico. Los autores predicen que esta relativa tendencia continúe.

### **3.21 Efectos de la actividad humana sobre las emisiones de dióxido de carbono son benignos**

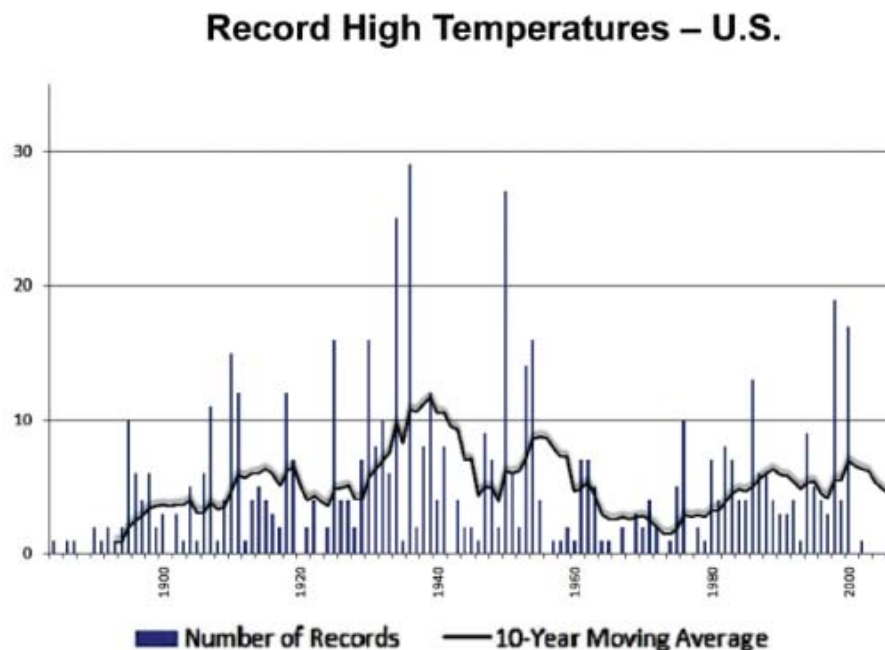
Hay motivos para creer que el IPCC ha exagerado futuras tendencias de las emisiones, hay pruebas claras y convincentes de que los niveles más altos de CO<sub>2</sub>, incluso si van acompañados de temperaturas más altas y los cambios en las precipitaciones, serían beneficiosos. Una extensa bibliografía de documentos sobre los aumentos de CO<sub>2</sub> da lugar a muchos cambios que podrían ser beneficiosos. En el pasado geológico, los niveles de CO<sub>2</sub> habían sido muchas veces superiores a los valores actuales, y pese a esto han sostenido una gran flora y Fauna (Berner 1997 2001; IPCC-2007, pág. 441). Experimentos de laboratorio muestran que unas 300 ppm en el aumento del contenido de CO<sub>2</sub> plantearía una productividad en la mayoría de plantas herbáceas en aproximadamente una tercera parte (Kimball 1983; Idso 1992). 176 experimentos en árboles y otras plantas leñosas revelan una media de crecimiento del 48% de aumento de un 300 ppm en el aumento de CO<sub>2</sub> (Poorter 1993 1994; Wullschlegler Et al. 1995, 1997). Niveles más altos de CO<sub>2</sub> causan que las plantas sean más capaces de resistir condiciones de sequía (Tuba et al. 1998).

El enriquecimiento de CO<sub>2</sub> atmosférico, ayuda a las plantas a hacer frente a los efectos negativos de una serie de problemas ambientales, entre ellos la alta salinidad del suelo, temperaturas del aire altas, baja intensidad de luz, bajos niveles de fertilidad de los suelos (Idso y Idso 1994). La evidente supervivencia de los osos polares y otras especies, de las capas de hielo polar, glaciares, y de corales, todos demuestran que las temperaturas más cálidas no han sido catastróficas, ya que muchos parecen temer. En Contrario, un marcado clima más frío, sin duda, si sería perjudicial.

### 3.22 Mayores concentraciones de CO<sub>2</sub> no son responsables de eventos meteorológicos extremos

Según el IPCC: "Es muy probable que calor extremo, olas de calor y precipitaciones intensas se hagan cada vez más frecuentes" (-AR4 del IPCC de 2007, SPM, p.12). Este argumento es ampliado en el informe principal. La frase "Se harán cada vez más frecuentes" implica que estos eventos ya empezaron a ser más frecuentes. Bruce Hall (2007) ha examinado los datos climáticos para 50 estados de EE.UU., su gráfico de la serie Acta-1884 (figura 3.10).

En esta figura 3.10 se muestran 25 registros altos de temperatura desde 1934 y 29 en 1936, pero ninguna en 2001, 2003, 2004, ó 2005. Esto no es evidencia de que en EE.UU. las temperaturas vayan en aumento.



**Figure 25:** Extreme high-temperature values recorded, by state, in the United States since 1880 [Hart 2007]. Note the peaking around 1940 but not during recent decades; it suggests that the 1930s – not the 1990s – were the warmest decade of the twentieth century.

*Figura 3.10 Datos de temperatura desde 1880 para 50 estados de EE.UU. (Singer S., 2008)*

Las olas de calor en Europa pueden ser explicadas en su totalidad por la mayor incidencia de anomalías en la circulación (más al sur). El Papel de CO<sub>2</sub> en el origen de estas anomalías no es muy conocido, lo que hace imposible esta atribución en este momento. También se ha producido un intenso, si un clima más cálido conduciría a más tormentas severas y más frecuentes y/o más

intensos ciclones tropicales. En cuanto a las tormentas, sobre eventos de precipitación en los EE.UU. estas solo aumentaron entre 1900 y 1990 (Karl y Knight 1998) y no proporcionan pruebas de que el aumento tenga algo que ver con los GEI o la temperatura, ya que hubo una ligera disminución de las temperaturas durante ese período. Los aumentos en la máxima anual de 24 horas de precipitación no se han observado en Alemania en los últimos 50 Años (DWD, alemán Servicio Meteorológico Nacional), La Península Ibérica (Gallego et al. 2006] o en Partes de China (Wu et al. 2007).

Parece bastante plausible que los valores más altos de la temperatura sobre el nivel del mar produzcan huracanes más fuertes (Emanuel 2005; Emanuel y Mann 2006). Pero registros históricos de huracanes del Atlántico no llevan a cabo tales predicciones (Goldenberg et al. 2001 2005, 2006, 2007). Los recientes trabajos de Vecchi y Soden (2007) sugieren que un clima más cálido llevaría a un aumento de vientos de cizalla vertical, que impedirían el desarrollo de los ciclones tropicales (huracanes). Y con respecto a las tormentas de latitudes medias, a nivel mundial el calentamiento daría lugar a una disminución de la temperatura del gradientes entre el ecuador y los polos y por lo tanto, a menos tormentas intensas (Legates 2004, Khandekar 2005).

### 3.23 Beneficios económicos del calentamiento global

Las temperaturas en climas templados, beneficiarían la agricultura y las industrias forestales, la reducción de las facturas de calefacción, y bajos gastos de construcción. Robert Mendelsohn y James E. Neumann (1999) presentaron una síntesis de estudios sobre los costos y beneficios de nivel mundial del calentamiento, que se resume en la tabla 3.1

En resumen este informe del NIPCC muestra las deficiencias de los datos de los océanos, que cubren el 70% del planeta, y que están también sujetos a incertidumbres. Los únicos datos confiables provienen de los satélites meteorológicos, y estos no han mostrado ninguna tendencia al calentamiento desde 1998. También se muestra que si el ser humano contribuye con el efecto de GEI al calentamiento global este es Insignificante. Utilizando datos publicados por el IPCC y con más detalle en los datos de estaciones en EE.UU, hemos demostrado que lo observado en cuanto a tendencias de temperaturas están en desacuerdo con los modelos calculados sobre GEI. Es significativo que el IPCC no haya hecho nunca tal comparación, o que hayan descubierto el mismo resultado, es decir, que el actual calentamiento es principalmente de origen natural en lugar de antropogénico. Estas pruebas nos muestran que el siglo 20 no es inusual y que el calentamiento ha tenido mucho más periodos calientes en su pasado histórico, sin ningún tipo de consecuencias catastróficas. También se discuten muchos de los defectos en los modelos climáticos, como intento por simular lo que sucede en el ambiente real.

Si la contribución humana al calentamiento del planeta debido al aumento de los niveles de GEI es insignificante, ¿por qué los modelos de GEI calculan grandes aumentos de temperatura, es decir, muestran valores altos de la sensibilidad climática? La explicación más razonable es que los modelos hacen caso omiso de la negativa retroalimentación que se produce en la atmósfera real. Nuevas observaciones de los satélites indican que la distribución del vapor de agua podría producir una fuerte consecuencia negativa. Si el calentamiento actual no se debe al aumento de GEI, ¿cuáles son las causas naturales que pueden ser responsables de ambas situaciones, calentamiento y enfriamiento como se ha observado a lo largo de la historia? La evidencia empírica sugiere firmemente que la principal causa del enfriamiento y calentamiento en una escala decadal se deriva a la actividad solar a través de la modulación de los rayos cósmicos que a su vez afectan la nubosidad atmosférica. De acuerdo con investigaciones, los rayos cósmicos varían y son también responsables de los principales cambios climáticos observados en el registro paleolítico que se remonta 500 millones de años atrás.

Tabla 3.1 Impacto anual estimado para EE.UU. en base al CO<sub>2</sub> (Singer S., 2008)

| <b>Estimated Annual Impact on U.S. of Doubling of CO<sub>2</sub> (billions of 1990\$)</b> |                                |                               |
|---|--------------------------------|-------------------------------|
| <b>Sector</b>   | <b>2060 economy</b>            | <b>1990 economy</b>           |
| <b>Market sector impact estimates</b>   |                                |                               |
| Agriculture   | +\$41.4                        | +\$11.3                       |
| Timber  | +\$3.4                         | +\$3.4                        |
| Water resources - market only   | -\$3.7                         | -\$3.7                        |
| Energy  | -\$4.1                         | -\$2.5                        |
| Coastal structures  | -\$0.1                         | -\$0.1                        |
| Commercial fishing  | -\$0.4 to +\$0.4               | -\$0.4 to +\$0.4              |
| Total (market sectors)  | +\$36.9<br>(+0.2% of 2060 GDP) | +\$8.4<br>(+0.2% of 1990 GDP) |
| <b>Nonmarket sector impact estimates</b>  |                                |                               |
| Water quality   | -\$5.7                         | -\$5.7                        |
| Recreation  | +\$3.5                         | +\$4.2                        |

Figure 26. The net effects of the modest warming caused by a doubling of carbon dioxide concentrations are likely to be positive in the U.S., with benefits exceeding costs by some \$36.9 billion a year in 2060 (+0.2 percent of 2060 GDP). Adapted from Mendelsohn and Neumann 1999, Table 12.2, page 320.

Los resultados se mantienen, el origen natural y una moderada tendencia el calentamiento con efectos beneficiosos para la humanidad y la vida silvestre. Este tiene obvias implicaciones políticas: los sistemas de propuestas para el control de las emisiones de CO<sub>2</sub>, entre ellos el de Protocolo de Kyoto, propuestas en los EE.UU. para el gobierno federal y estatal, y propuestas para un sucesor internacional a los tratados de Kyoto, son innecesarias, sería ineficaces en caso de aplicarse, y entonces los recursos podrían ser mejor aplicados a problemas sociales (Singer, Revelle y Starr 1991). Incluso si una parte sustancial del calentamiento se debiera a los GEI ningún control de los esfuerzos que actualmente se contempla darían resultados. Por ejemplo, con el Protocolo de Kyoto se disminuiría a tan solo 0,02C para el año 2050, un cantidad indetectable.

En conclusión, el aumento de dióxido de carbono no es responsable del actual calentamiento y las políticas adoptadas son innecesarias. Además nuestro conocimiento imperfecto de las causas y consecuencias del cambio climático solo significa que la ciencia está lejos de poder simular

situaciones tales como escenarios climáticos. Cualquier intento de Influencia de las temperaturas globales mediante la reducción de tales emisiones sería inútil y caro.

ANEXO 4

INVESTIGACIONES REALIZADAS SOBRE EL CALENTAMIENTO GLOBAL POR EL INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA (INE)

Este pequeño informe trata de estudiar cada una de las bases científicas en la que están basados los documentos que el INE refiere al calentamiento global y la incidencia en el comportamiento de los fenómenos naturales, como son los huracanes.

4.1 Documentos Instituto Nacional de Ecología

La figura 4.1 muestra el portal de internet sobre el tema del cambio climático en México del INE, además de los enlaces sobre los estudios que se han realizado al respecto.



Figura 4.1 Ruta de la base de datos sobre cambio climático realizadas por el INE (www.ine.gob.mx/)

4.1.1 Documento ESTRATEGIA NACIONAL DE ACCIÓN CLIMÁTICA

Este documento señala:

- Aunque la evidencia científica no es concluyente, existe la preocupación de que los eventos climáticos extremos, tales como ciclones tropicales, tornados y efectos del niño/niña se vuelvan más frecuentes y más severos a raíz del cambio climático. Los cambios pueden presentarse en las trayectorias de las tormentas, exponiendo nuevas áreas a impactos y riesgos asociados con las mismas. Es de esperarse de que el clima regional se vuelva más variable y menos predecible.

Este fragmento forma parte de las bases sobre el cambio climático a nivel mundial y que hacen parte para los siguientes capítulos de este documento, ya que en ellos se manifiestan medidas de mitigación y programas que tratan de contrarrestar los posibles cambios a nivel económico y social de México. También se menciona la investigación a nivel internacional (Panel Intergubernamental del Cambio Climático, IPCC) en temas como: vulnerabilidad y adaptación ante el cambio climático, valoración del fenómeno de El Niño y sus impactos regionales, análisis de los aspectos científicos, técnicos y económicos sobre emisiones de GEI, efectos de las estrategias de acción climática de los países., comprensión de la variabilidad climática en América, estudios comparativos de ecosistemas, biodiversidad, usos del suelo y recursos hidrológicos en América, cambios en la composición de la atmósfera, océanos y aguas interiores, entre otras. Se mencionan también los antecedentes en investigaciones sobre cambio climático en México por entidades como la UNAM (Instituto de Geofísica y Centro de Ciencias de la Atmósfera) sobre emisiones de GEI, políticas de energética en México, reforestación y estudios sobre el aumento en el nivel del mar. Además se menciona el proyecto de Estudio de País sobre cambio climático.

#### **4.1.2 Documento “MEXICO’S THIRD NATIONAL COMMUNICATION TO THE UNITED NATIONS FRAMEWORK, CONVENTION ON CLIMATE CHANGE”**

Resume varios programas y/o estrategias en cuanto a las emisiones de GEI y las acciones que se están haciendo al respecto en México. A continuación se hará breve resumen del programa CLIMATE CHANGE ESCENARIOS FOR MÉXICO, INE/ICCA-UNAM para analizar los puntos de vista en cuanto a la incidencia del cambio climático y los huracanes.

En este documento se consideran los diferentes escenarios climáticos (IPCC) y lo necesario que es incorporar la futura generación de GEI al desarrollo socioeconómico mundial del clima del planeta. Estos escenarios de emisiones se basan en diferentes hipótesis acerca del desarrollo socioeconómico del planeta (alto A1B, medio alto A2, medio bajo B2 y bajas emisiones B1).

Existen diversos modelos climáticos que se han utilizado conjunto a futuros escenarios climáticos generados por el IPCC. La climatología se construye con datos de 30 años (2020, 2050 y 2080). Se comprobó según Global Circulation Models (GCM) que en México el clima sería más cálido (2 a 4C) alrededor del año 2050, ver figura 4.2. Los resultados indican que en la parte norte del país se experimentara un aumento de temperatura durante la primera década del siglo 21, de ahí la importancia de desarrollar estrategias de mitigación. En cuanto a las precipitaciones, según la figura 4.3 se ve una disminución de la precipitación que oscila entre 0 y 0.6 mm/día. Este valor indica la reducción de hasta un 15% en las regiones del centro del país y de solo un 5% en la zona costera del Golfo de México (escenarios A2 y B2). Los cambios previstos en la temperatura y precipitaciones se analizaron por medio de diagramas de dispersión. Esto hizo posible distinguir la dispersión entre los modelos y escenarios de emisiones y por consiguiente, tratar de determinar el grado de confianza que puede ser colocado en las proyecciones futuras. Todos los modelos indican un aumento de la temperatura, por lo que existe una gran certeza en el uso de estos escenarios, aunque el tamaño de este aumento es todavía muy incierto. En caso de las precipitaciones existe una disminución de alrededor de un 0 y 20% según las proyecciones para el primer semestre del año y cada vez más pequeños hacia el comienzo del verano, convirtiéndose incluso en incrementos hacia el último trimestre del año con valores entre un 0 y 5%.

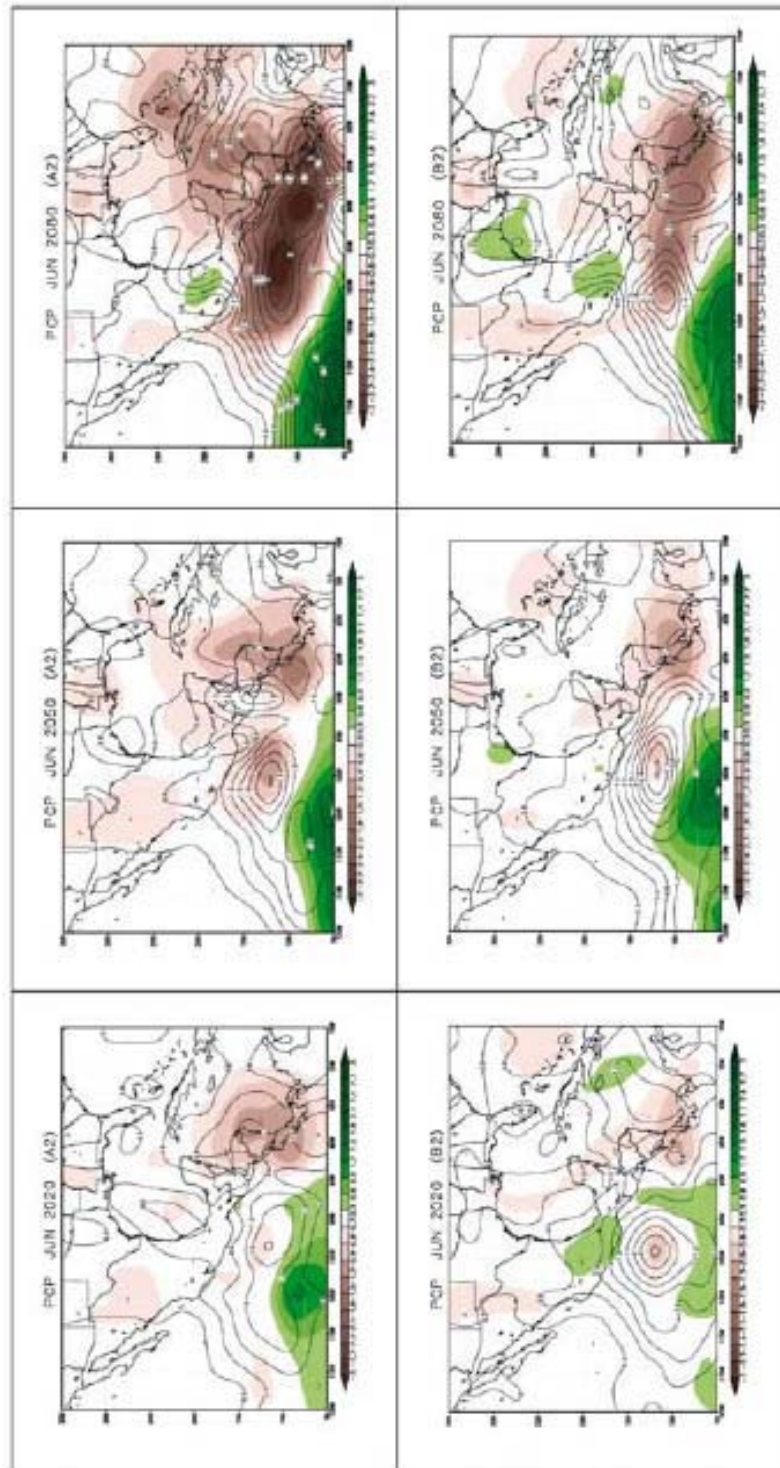
En cuanto a los fenómenos extremos como huracanes y frentes fríos se requiere una consideración especial en cuanto a las proyecciones de precipitaciones en México. Es posible que estos frentes fríos puedan llegar a ser menos frecuentes. Es incierto en qué manera este calentamiento pueda afectar esta disminución de la precipitación, pero de acuerdo a ciertas hipótesis estos tenderán a disminuir principalmente en la cuenca del Golfo de México. En el caso



de los huracanes se considera que en promedio, aumentara la intensidad con una disminución del promedio de la presión central del sistema de aproximadamente un 14% con aumentos de 6% en la intensidad de viento y un aumento en las precipitaciones de un 18% dentro de un radio de 100 km desde el centro del huracán. Tales cambios proyectados pueden ser difíciles de detectar en los datos actuales.

Como conclusión, solo existen modelos que pueden simular fenómenos naturales pero que no tienen suficientes datos lo cual no nos asegura que sus predicciones sean un 100% segura. Esto no es malo ya que gracias a estos modelos y estudios en este temas se ha empezado a incluir estrategias ante “posibles” efectos naturales destructivos en cuanto a la influencia del calentamiento global en los fenómenos naturales.

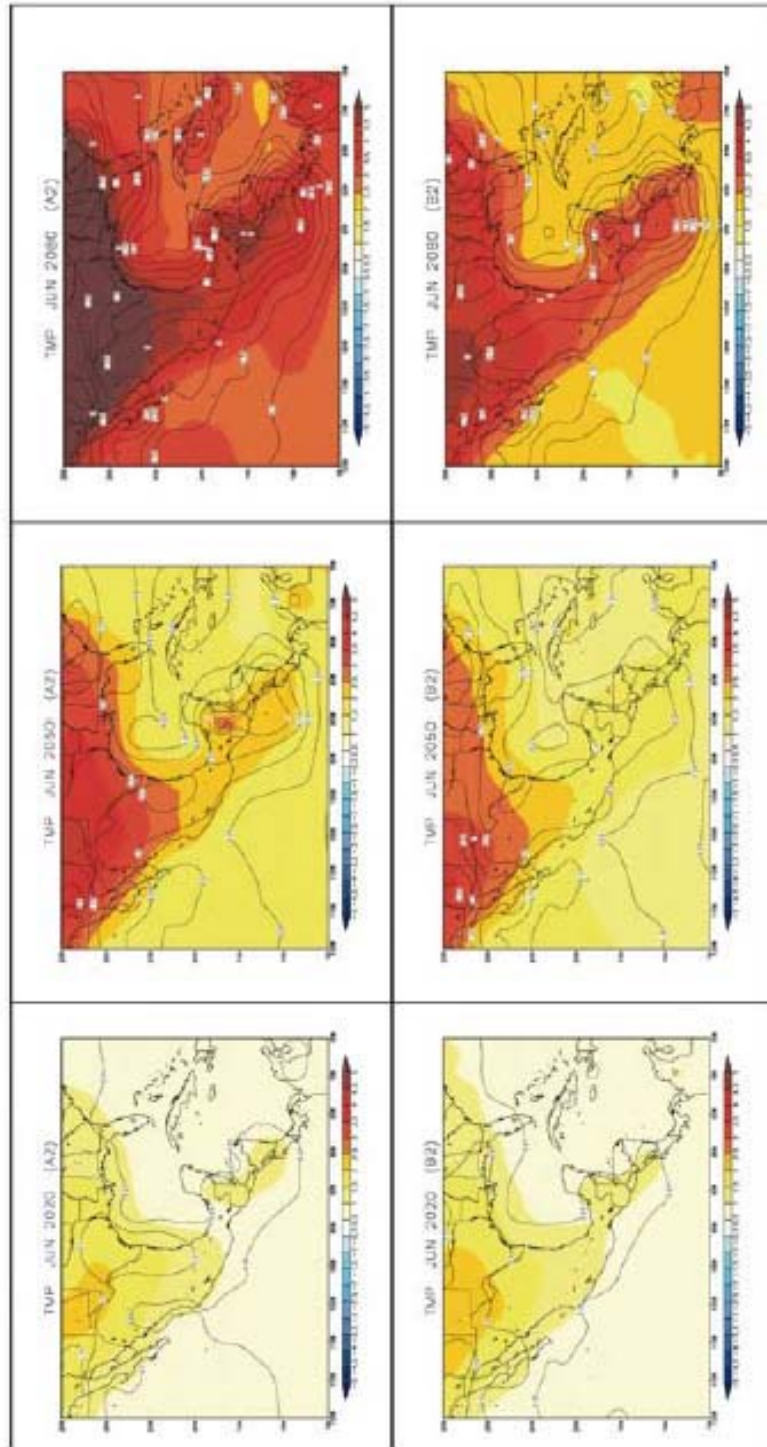
FIGURE IV.2. MEDIAN OF CHANGES PROJECTED IN PRECIPITATION (MM/DAY) FOR JUNE IN 2020, 2050 AND 2080 CLIMATES, ON A COLOR SCALE



The lines correspond to the interquartile range between projections of anomalies. The upper panel corresponds to A2 emissions scenarios, the lower one to B2.

Figura 4.2. Escenarios del cambio de temperatura para 2030, 2050 y 2080 (Convention On Climate Change, Ministry of Environmental and Natural Resources National Institute of Ecology, 2007)

FIGURE IV.1 SCENARIOS OF SURFACE TEMPERATURE CHANGE (°C) FOR JUNE, IN THE 2020, 2050 AND 2080 CLIMATES, FOR EMISSIONS SCENARIOS A2 (UPPER PART) AND B2 (LOWER PART), ACCORDING TO DIFFERENT GCM PROJECTIONS



The colors correspond to the average temperature projected, and the lines to the dispersion (standard deviation) between projections.

Figura 4.3. Escenarios precipitación para 2030, 2050 y 2080 (Covention On Climate Change, Ministry of Environmental and Natural Resources National Institute of Ecology, 2007)

#### **4.1.3 Documento “AVANCES DE MÉXICO EN MATERIA DE CAMBIO CLIMÁTICO 2001-2002”**

Este documento en su capítulo *El Cambio Climático Global*, el Dr. Víctor magaña resume una serie de conclusiones tales como:

- Establece que las formas de variabilidad del clima son muchas y por tanto no es muy fácil predecirlas, es por eso que predecir que produce cambios en el clima de un año a otro o en escalas mayores de tiempo, constituye un reto.
- Aunque entendemos las causas astronómicas de las variaciones del tiempo y el clima, existen fluctuaciones en escala de días a siglos, de gran interés para la sociedad, que se está lejos de explicarlo.
- El problema de pronunciarse de manera definitiva respecto al cambio climático radica en que, a diferencia de los ciclos regulares de las glaciaciones o de las estaciones, muchas apenas comienzan a explicarse y no es fácil diferenciarlas del cambio climático de origen antropogénico.
- Las anomalías del clima experimentadas en el último siglo o por vivirse en las próximas décadas podrían incluir alteraciones en las formas como actualmente experimentamos la variabilidad interanual o interdecadales del clima.
- Eventos intensos o frecuentes (huracanes de mayor magnitud, ondas cálidas o frías más pronunciadas) son algunas de las formas como la atmósfera podría manifestar las alteraciones climáticas como resultado de la actividad humana.
- La mayoría de los modelos del clima sugieren que a mayor concentración de GEI, mayor la magnitud de la anomalía climática.
- No existe un experimento climático único para analizar el cambio climático, pues depende de cómo se piense que serán las emisiones.
- No existen aun evidencias observacionales o en los modelos que indiquen que esté sucediendo cambios en los fenómenos naturales. De manera similar se pronostica u aumento de intensidad y frecuencia en huracanes aunque en el Pacífico suceda en el caso del Atlántico no parece suceder.
- Desafortunadamente no se puede obtener NINGUNA conclusión sobre este punto de vista de huracanes-calentamiento global, a partir de modelos, ya que no son capaces de simular ciclones tropicales, esenciales para describir el clima mexicano. En pocas palabras, hay procesos que se espera se modifiquen basados en principios físicos fundamentales, que, sin embargo, ni los modelos ni las observaciones aun delatan.

Para este subcapítulo queda clara la conclusión que no hay una evidencia radical sobre el aumento de los huracanes por causa del cambio climático. Se destaca este capítulo en particular por ser el correspondiente a las evidencias existentes sobre el calentamiento global y los huracanes. En general este documento tiene diferentes estudios sobre el aumento de la temperatura a nivel mundial y regional, el problema sobre el abastecimiento de agua y su repercusión en los sistemas económicos del país (agricultura, forestal, biodiversidad, sector pesquero, entre otras.), estudios sobre escenarios climáticos de México y las condiciones extremas a que se llegaría al ocurrir el cambio climático (sequías e inundaciones), vulnerabilidad en sistemas industriales.

#### **4.1.4 Documento “MÁS ALLÁ DEL CAMBIO CLIMÁTICO, LAS DIMENSIONES PSICOSOCIALES DEL CAMBIO AMBIENTAL GLOBAL”**

En su capítulo Cambio Climático: el peso de la evidencia y sus implicaciones para la sociedad, hace referencia:

- Hasta ahora, la evidencia científica señala que es muy posible que el aumento de las concentraciones de GEI que ocurran en las próximas décadas ocasione (junto con el aumento de temperatura, alteraciones en la precipitación y alteraciones en la frecuencia y magnitud de los eventos climáticos extremos) impactos directos e indirectos irreversibles sobre los sistemas físicos y biológicos para adaptarse a estos impactos, sobre todo en las escalas de tiempo tan reducidas en las que se presentarían.
- La evidencia científica no es terminante, debido a todavía discrepancias sobre todo en cuanto a la asociación de algunos de los fenómenos observados y documentados con el cambio climático.

Al igual que los libros anteriores se mencionan las medidas de mitigación, políticas y demás alternativas para disminuir los potenciales riesgos que puedan presentarse ante el cambio climático pero desde una perspectiva social y más de comunidades. Además como se observa textualmente todo es incierto.

En conclusión la base de datos del INE según estudios de investigadores todavía no se tiene una certeza inminente de que exista una relación del cambio climático y los huracanes ya que todo se basa en modelos que intentan simular de alguna manera las características de la atmósfera y demás variables que harían que los huracanes fueran cada vez más intensos, además de que los registros de estaciones no son lo suficientemente claros y precisos. Por otra parte no es de conocimiento ajeno que el calentamiento de la temperatura en la superficie terrestre se encuentre afectada por los GEI, así que todas aquellas medidas de prevención, mitigación y leyes por parte de países desarrollados al igual que las que están en vigor en México son una manera a mediano plazo de poder evitar aquellos daños sociales y económicos que se están dando actualmente en temas de agua y agricultura.

En otra parte, la página del INE (figura 4.4), muestra otra base de datos de documentos relacionados con el calentamiento global y sus estrategias y/o planes de mitigación en el sector urbano y eléctrico entre otros.



Figura 4.4 Ventana del enlace Cambio Climático del INE (www.ine.gob.mx/)



De esta base de datos solo nos interesa uno al cual le daremos un seguimiento más completo ya que sus bases científicas son mucho más complejas e interesantes.

#### 4.1.5 Documento “INFORME FINAL DEL PROYECTO “ANÁLISIS DE POSIBLES IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO, ESTUDIO PRELIMINAR: CANCÚN, QUINTANA ROO”

Publicado en el año 2006. Parte de su introducción menciona:

- El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático en su Tercer Informe de Evaluación concluye que es muy probable que haya un aumento en los sucesos meteorológicos extremos, tales como olas de calor, mayores precipitaciones que dan lugar a inundaciones, y temperaturas mínimas más altas y menos días fríos. Es probable que haya un aumento en algunas zonas en las intensidades de viento máximo y precipitación de los ciclones tropicales.
- De acuerdo al estudio publicado por Knutson y Tuleya (2004) en el Journal of Climate, se simula un clima más cálido incrementando 1% de CO<sub>2</sub> por año y realiza además una simulación de control (sin incremento de CO<sub>2</sub>). Algunos de los resultados de este estudio se muestran en la Figura 4.5, donde la línea delgada es el histograma del número de ocurrencias de ciclones en relación a su intensidad en la simulación de control. La línea gruesa es el histograma obtenido en aquellas simulaciones de clima más cálido debido a un aumento del bióxido de carbono.

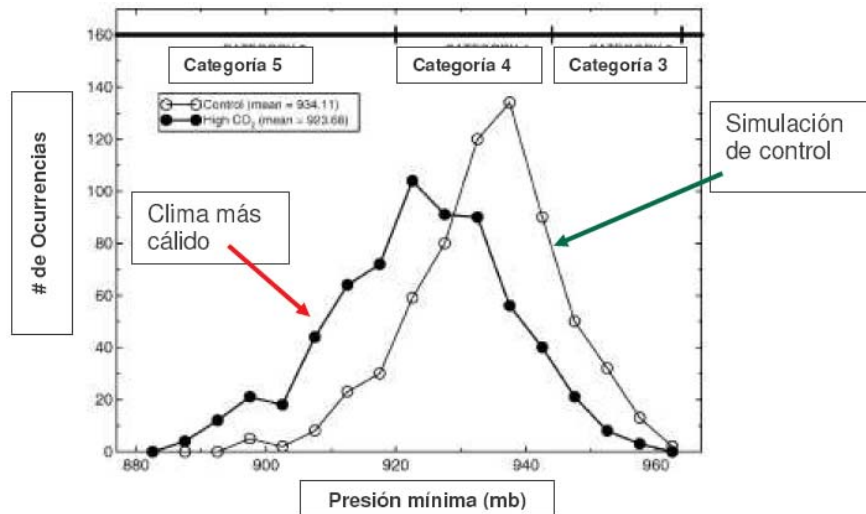


Figura 4.5 Histograma de frecuencia vs presión mínima (Knutson T., et al, 2004)

Los resultados del trabajo de Knutson y Tuleya, concluyeron:

- La presión central de los ciclones muestra una caída del 14%
- Existe un 6% de incremento en los vientos máximos en superficie
- Se observó un 18% de incremento en un radio de 10Km del centro
- Se duplica la probabilidad de ocurrencia de huracanes categoría 5

Otra forma de estimar el límite superior de intensidad de ciclones tropicales se calcula utilizando la temperatura en la superficie del mar y los perfiles atmosféricos termodinámicos. Esta metodología fue desarrollada por Kerry Emanuel en los años 1986, 1988 y 1994 y se conoce como la teoría de “Máxima Intensidad Potencial (MIP)”. En las ecuaciones matemáticas de esta teoría, la temperatura en superficie del mar juega un papel primordial, ya que ésta es una de las variables más importantes que determinan el límite superior de intensidad de los huracanes.

La figura 4.6 muestra el comportamiento de la presión mínima y el viento máximo para huracanes calculados utilizando la teoría de máxima intensidad potencial, donde la variable independiente es la temperatura de la superficie del mar. La teoría de máxima intensidad potencial de huracanes, también concluye que, ante un clima más cálido (temperaturas del mar más elevadas) los ciclones tropicales tienden a ser más intensos.

Estas son las citas sobre las bases científicas de este documento, además se debe mencionar que algunas de las graficas no tienen referencia de donde fueron sacadas, así que estas no se toman en cuenta.

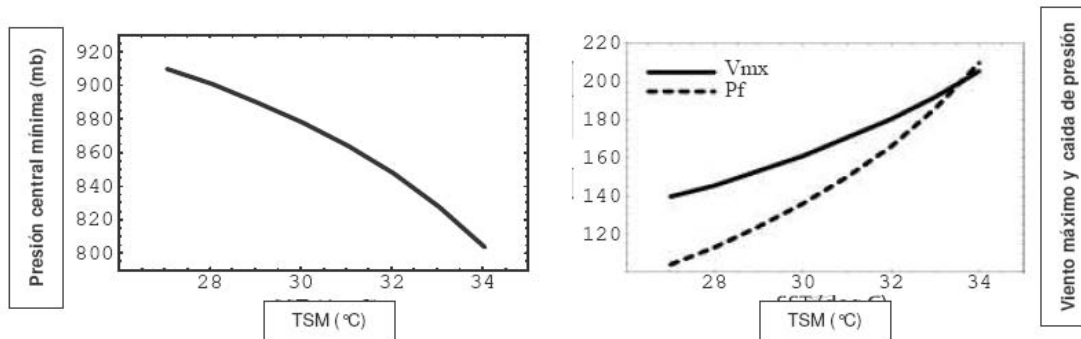


Figura 4.6 Graficas presión central y viento máximo vs temperatura (Emanuel K.A., 1986, 1988 y 1994)

#### 4.2 Investigación sobre el documento “INFORME FINAL DEL PROYECTO “ANÁLISIS DE POSIBLES IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO ESTUDIO DE CASO PRELIMINAR; CANCÚN, QUINTANA ROO (2006)”

Este trabajo analiza la problemática de Cancún, Quintana Roo desde el punto de vista del aumento de temperatura previsto por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) plasmados en el Segundo Informe de Evaluación donde se afirma que para este siglo se ha observado un aumento en la temperatura en un rango de 1 - 3.5C a 1.4 - 5.8C, también se habla sobre el aumento en el nivel del mar (entre 9 y 88 cm), aumento de los sucesos meteorológicos extremos (olas de calor, mayores precipitaciones, inundaciones, temperaturas mínimas más altas y menos días fríos).

A continuación trataremos de desglosar cada cita bibliografía a la que este documento hace referencia y verificaremos cada una de las conclusiones a la que se llega.

Cita bibliográfica No 1:

*El panel Intergubernamental para el Cambio climático en su Tercer Informe de Evaluación concluye: Es muy probable que haya un aumento de sucesos meteorológicos extremos, tales como olas de calor, mayores precipitaciones que dan lugar a inundaciones y temperaturas mínimas más altas y menos días fríos. Es probable que haya un aumento en*



*algunas zonas en las intensidades de viento máximo y precipitación de los ciclones tropicales.*

Esta cita hace referencia al 3er informe “MÉXICO TERCERA COMUNICACIÓN NACIONAL ANTE LA CONVENCION MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO”, que manifiesta que con base a los resultados de los escenarios climáticos generados con Modelos de Circulación General (MCG) bajo escenarios de emisión A2 y B2 se llegaron a las siguientes conclusiones:

- Es muy probable que el clima de México sea más cálido para el 2020, 2050 y el 2080 principalmente en el norte del país.
- Se proyectan disminuciones en la lluvia, así como cambios en su distribución temporal, con respecto al escenario base desde 1961 a 1990. Se esperan reducciones de hasta 15% en regiones del centro y de menos de 5% en la vertiente del golfo de México, principalmente entre enero y mayo.
- Los componentes del ciclo hidrológico indican que en México cerca del 5% de la precipitación se evapotrasnpora y que un 5% se recarga a los acuíferos. El balance hídrico sugiere que el aumento en la temperatura hará que la humedad en el suelo disminuya. Las evaluaciones del IPCC indican que México puede experimentar una disminución significativa en el escurrimiento, del orden de 10 al 20% a nivel nacional y un 40% en los humedales costeros del golfo.
- En caso de fenómenos extremos como frentes fríos (nortes), es posible que estos se vuelvan menos frecuentes. Es incierto en qué medida dicha disminución podría afectar las precipitaciones, pero de acuerdo con ciertos escenarios, estas tenderán a disminuir principalmente en la vertiente del Golfo de México.
- La temperatura de la superficie del mar en el Caribe, Golfo de México y Pacífico mexicano podría aumentar entre 1 y 2C. con base en consideraciones físicas, incrementos en la temperatura del mar aumentando la eficiencia de los ciclones tropicales y favoreciendo las probabilidades de que estos alcancen categorías mayores.
- A partir del 2020, los mayores incrementos de temperatura se darán bajo el escenario A2 en comparación con el B2, debido principalmente a la diferencia en emisiones de GEI entre ambos escenarios. De ahí la importancia en proveer estrategias globales de mitigación de emisiones de GEI.

Ahora bien, trataremos de estudiar estos escenarios del IPCC. Se busco alguna referencia que pudiera ayudarnos en conocer de que se trataban dichos escenarios, el documento “RESUMEN PARA RESPONSABLES DEL POLÍTICAS –ESCENARIOS DE EMISIONES-, INFORME ESPECIAL DEL GRUPO DE TRABAJO III DEL IPCC”.

Estos escenarios abarcan intervalos de emisiones de todas las especies pertinentes a GEI y azufre, más las fuerzas determinantes de estos. Los escenarios son imágenes alternativas de lo que podría acontecer en un futuro y que constituyen un instrumento apropiado para analizar de qué manera influirán las fuerzas determinantes en las emisiones futuras de GEI. Estos escenarios son de utilidad para el análisis del cambio climático y en particular para la creación de modelos de clima para la evaluación de los impactos para las iniciativas de adaptación y de mitigación pertinentes. La figura 4.7 muestra los escenarios y las características de cada línea evolutiva según el IPCC.

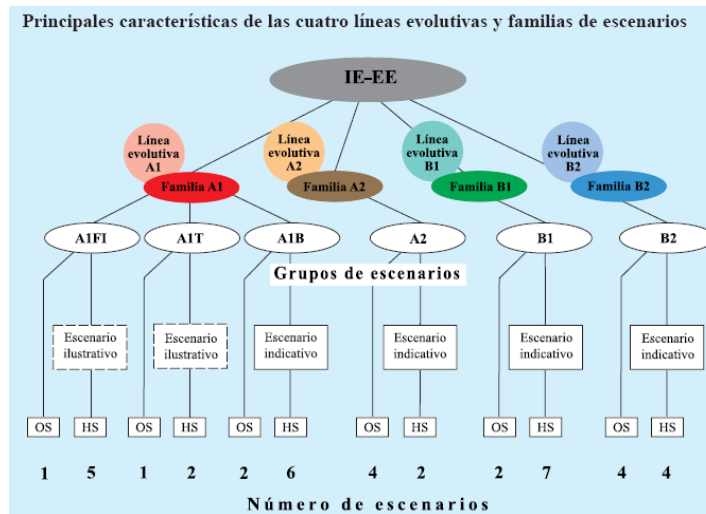
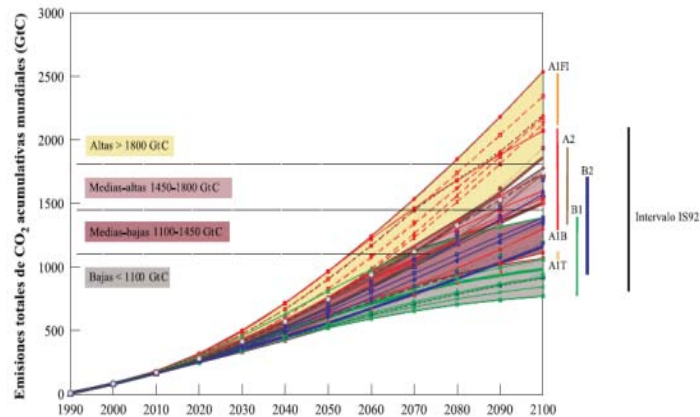


Figura 4.7 Numero de escenarios (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio Climático, 2000)

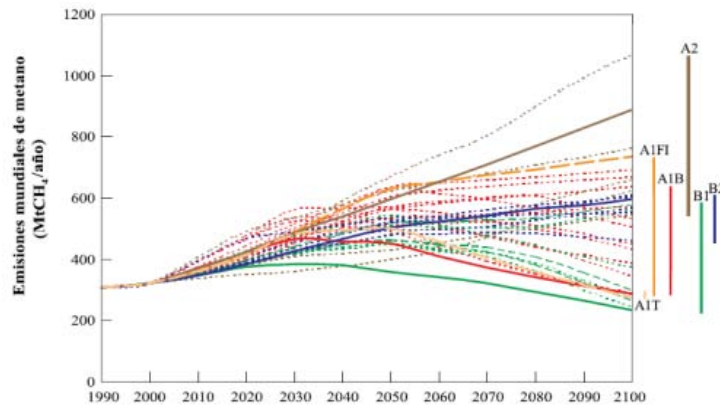
En figura 4.7 se observan los escenarios A2 y B2 que son a los que hace referencia el IPCC. Su definición de cada uno de ellos es la siguiente:

- La familia de líneas evolutivas A2 describen un mundo muy heterogéneo. Sus características más distintivas son la autosuficiencia y la conservación de las identidades locales. Las pautas de fertilidad en el conjunto de las regiones convergen muy lentamente, con lo que se obtiene una población mundial en continuo crecimiento. El desarrollo económico está orientado básicamente a las regiones y el crecimiento económico por habitante así como el cambio tecnológico mas fragmentados y son más lentos que en otras líneas evolutivas.
- La familia de líneas evolutivas y escenarios B2 describe un mundo en el que predominan las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y medioambiental. Es un mundo cuya población aumenta progresivamente a un ritmo menor que en el A2, con unos niveles de desarrollo económico intermedios, y con un cambio tecnológico menos rápido y más diverso que en las líneas evolutivas B1 y A1. Aunque este escenario esta también orientado a la protección del medio ambiente y a la igualdad social, se centra principalmente en los niveles regional y local.
- Dentro de cada familia de escenarios se han desarrollado dos clases principales: unos, basados en supuestos armonizados sobre la población mundial, el crecimiento económico y el uso final de la energía y otros basados en una cuantificación alternativa de la línea evolutiva.

En la figura 4.8, se representan los intervalos de valores de las emisiones acumulativas de los 40 escenarios IE-EE (Informe Especial sobre Escenarios). Es importante señalar que de acuerdo a esta grafica, los escenarios en los que se basan la IPCC para afirmar que existe un evidente aumento en los GEI están sucediendo actualmente y que por esta razón es evidente que los estudios que se hagan con este enfoque, utilicen estos dos escenarios por ser los más concluyentes. Las emisiones totales antropógenas de metano  $CH_4$  y Oxido nitroso  $N_2O$  abarcan una amplio intervalo de valores de aquí al final del siglo XXI. En varios de estos escenarios estos gases empiezan a decaer hacia el año 2050.



(a) Emisiones de CO<sub>2</sub>



(b) Emisiones de metano

Figura 4.8 Emisiones de CO<sub>2</sub> (a), y metano (b) (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio Climático, 2000)

En la familia B2, las emisiones siguen aumentando aunque muy lentamente. En la familia A2 el rápido crecimiento de la población, sumado a unos aumentos menos rápidos de la productividad agraria determinan un crecimiento rápido y continuo de este tipo de emisiones.

Cita bibliográfica No 2:

*De acuerdo al estudio publicado por Knutson y Tuleya (2004) en el Journal of Climate, se simulan un clima más cálido incrementando 1% de CO<sub>2</sub> por año y se realiza además una simulación de control (sin incremento de CO<sub>2</sub>). Los resultados de este trabajo mostraron que en el clima más cálido:*

- *La presión central de los ciclones muestra una caída de 14%*
- *Existe un 6% de incremento en los vientos máximos en superficie*
- *Se observo un 18% de incremento de precipitación en un radio de 100 km del centro*
- *Se duplica la probabilidad de ocurrencia de huracanes de categoría 5*

Como se menciona en la cita No 2 estas conclusiones fueron basada en el artículo "IMPACT OF CO<sub>2</sub> WARMING ON SIMULATED HURRICANE INTENSITY AND PRECIPITACION: SENSITIV

TO THE CHOICE OF CLIMATE MODEL AND CONVECTIVE PARAMETERIZATION” escrito por Thomas R. Knutson, Robert E Tuleya publicado en la revista Nature en el año 2004.

Este artículo mediante estudios ha encontrado que los huracanes simulados bajo condiciones de alto niveles de emisiones de CO<sub>2</sub> presentan precipitaciones más intensas que las condiciones actuales. Los resultados globales en promedio de todos los experimentos indican aumentos de 6% en la velocidad de la superficie, 18% en la precipitación media. Aplicando también teorías de potencial de intensidad para huracanes en entornos climáticos simulados con aumentos en la intensidad de los huracanes, estos por efectos de los GEI por el calentamiento global, además de un riesgo en la aparición de categorías de huracanes muy destructivos (categorías 5).

A continuación se describen los aspectos más relevantes de este artículo.

Emanuel Kerry en 1987 utilizo un modelo teórico para la simulación de ciclones tropicales y propuso una teoría de Intensidad Máxima de los mismos en un escenario de GEI, calentando más el clima y obteniendo un mayor potencial de intensidad que el clima actual. Este trabajo realizado por Emanuel obtuvo apoyo de expertos en la materia como Hollan-1997, Tonkin-1997, Henderson-sellers-1998, Knutson-1998, Tuleya-1999, Walsh y rain en 2000. En este estudio se encuentran limitantes en los modelos anidados de Knutson (2001) y Knutson-Tuleya (1999), se menciona que el clima tropical que se utiliza para el modelo de simulación de huracanes (clima actual y alto niveles de CO<sub>2</sub>), se ha obtenido de simulaciones a partir de un modelo de clima mundial (The Geophysical Fluid Dynamics Laboratory GFDL R30) y que esta versión es la única que se ha utilizado para modelar el comportamiento de huracanes. Se utilizaron 9 escenarios de clima a nivel mundial para este modelo de GFDL, estos escenarios han sido propuestos como parte de un proyecto conjunto de varias instituciones (Coupled Model Intercomparison Project (CMIP2+) (tabla 4.1). Se realizaron 4 diferentes versiones de parametrización de convección de cumulus.

La tabla 4.1 muestra el resumen de los 9 escenarios utilizados en la modelación.

*Tabla 4.1. Resumen de los 9 escenarios utilizados en la modelación y sus diferentes desarrolladores (Knutson T., et al, 2004)*

| Model         | Developer  |
|---------------|--|
| CCCma (CGCM2) | Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (CCCma), Canada |
| CSIRO (Mk2)   | CSIRO, Australia   |
| CSM1          | NCAR-led consortium, United States                                 |
| ECHAM4/OPYC3  | Max Plank Institute, Germany                                       |
| GFDL (R30)    | NOAA/GFDL, United States   |
| HadCM2        | Met Office, United Kingdom   |
| HadCM3        | Met Office, United Kingdom   |
| MRI (CGCM2.3) | MRI, Japan   |
| PCM           | NCAR and Department of Energy, United States                       |

Una importante limitación en este estudio es que no se abordó el tema de los posibles cambios en la frecuencia de los ciclones tropicales en un clima más cálido. Anteriormente se han hecho intentos por abordar este tema en estudios sobre la incidencia de los vórtices en las tormentas. Algunos estudios sobre el tema son: (Broccoli y Manabe 1990; Haarsma et al. 1993; Bengtsson et al. 1996; Krishnamurti et al. 1998; Sugi et al. 2002; Tsutsui 2002) y modelos anidados regionales (Nguyen and Walsh 2001) y Royer et al. (1998) entre otros. Estos estudios han dado resultados contradictorios, incluso con respecto al signo en el cambio de la frecuencia con el calentamiento por GEI. Estos resultados se han concluido como no concluyentes (Henderson-Sellers 1998; Giorgi 2001). Otra de las limitaciones que este estudio es no tomar en cuenta el aspecto de las influencias dinámicas como lo son el viento de cizalla vertical y temporales.

## **Metodología para las simulaciones de huracanes**

### **Huracán modelo**

Cada uno de los modelos usaron condiciones iniciales, flujos uniformes de 5 m/s sin vertical o cortante horizontal por encima de la capa límite. La temperatura de la superficie del mar (Sea Surface Temperature, SST), perfiles verticales de temperatura, y humedad lateral están previstos en base a la SST. Se incluyeron perturbaciones iniciales a los antecedentes del medio ambiente como se describirá más adelante y se hizo evolucionar dicho ciclón tropical durante un periodo de 5 días. El modelo utilizado en este estudio fue una versión de más resolución que consta de 42 niveles triplemente anidados y una malla que mejora algunas características importantes del huracán, como el ojo.

### **Modelo convectivo de parametrización (cumulus)**

Para este modelo se utilizaron cuatro métodos de parametrización convectiva para la versión de GDFL en la prueba de sensibilidad. De estos 4 tipos dos incluyen 2 flujos de masa, uno convectivo y uno que no incluye convección. Algunos de modelos que se analizaron fueron los siguientes:

- PAN es una simplificación de SAS (Arakawa-Schubert) del régimen de flujo de masa aplicado por Pan y Wu (1995) y Hong y Pan (1996). Este sistema utiliza también una versión actual de de la GDFL.
- EMAN es un modelo de flujo desarrollado por Emanuel (1991) y Emanuel Zivkovic-Rothman (1999) aplicado en la Marina de los Estados Unidos en la predicción del clima (Navy Operational Global Atmospheric Prediction System (NOGAPS; Peng 2003). Para el caso de convecciones EMAN utiliza una alta resolución con espaciamentos muy pequeños a fin de mejorar la calidad de los resultados.
- KURI es un ajuste suave de la convección utilizado en modelos de GDFL antes de la temporada de huracanes en el 2003.

La figura 4.9 ilustra la precipitación instantánea (cm/día) en 120 horas de simulación para casa caso de parametrización convectiva.

En figura se muestran los resultados solo difieren en el tipo de convección utilizada, todos los casos muestran un buen desarrollo del núcleo del huracán. Las precipitaciones mayores se observan en el modelo de PAN y la más pequeña para KURI. En resumen los resultados indican que la parametrización convectiva puede tener un impacto importante sobre la simulación de huracanes además de que el modelo de convección resuelta por Emanuel "resolved convection" muestra una razonable simulación de huracanes de primer orden.

En el proceso de iniciación los valores de SST y de los perfiles de temperatura y humedad para los experimentos se derivan de modelos climáticos mundiales. Se desarrollaron 6 experimentos cada uno desarrollado con una pequeña perturbación base, pero no idénticos, como condiciones iniciales. Este enfoque se utiliza para evaluar la solidez de los resultados a las variaciones iniciales.

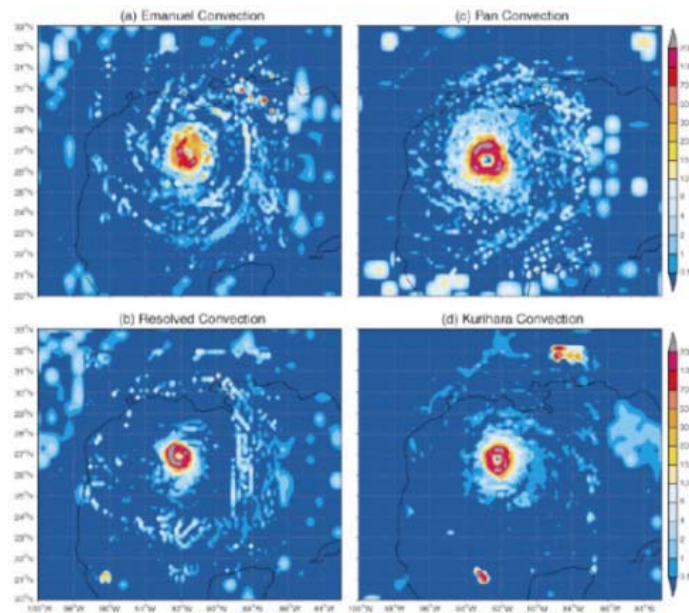


Figura 4.9. Tasas de precipitación instantánea (cm/día) usando los modelos de convección de Emanuel a), convección resuelta inner-nest Emanuel b), PAN c) y KURI d). Las condiciones iniciales se derivan de datos de HadCM3 NW (informes de control para la cuenca del Pacífico, costa del golfo de EE.UU.) (Knutson T., et al, 2004)

### Modelo global de los escenarios de cambio climático

Como se menciono anteriormente se modelaron condiciones de frontera (SST, temperatura de la atmósfera y vapor de agua) para los 9 modelos de huracanes (CMIP2+). Para cada modelo las condiciones de frontera se obtuvieron de series de tiempo para los meses de julio a noviembre de 3 cuencas de ciclones tropicales: Noroeste Pacífico (NW), Noroeste Atlántico (NW), Noreste Pacífico (NE), a pesar que no se realizaron otras cuencas como India Norte, Sur de la india y el Suroeste del Pacífico. Las estadísticas preliminares de las cuencas indican que el comportamiento de las tres cuencas que analizamos es muy similar a las estudiadas.

Las altas emisiones de CO<sub>2</sub> se definen como la suma de la media en un plazo de 80 años que representaría un clima más cálido. Todos los modelos mostraron un aumento sustancial de CO<sub>2</sub> inducida por la SST que va desde +0.8C a +2.4C., la figura 4.10 indica que hay una tendencia considerable en la incertidumbre de las tasas de calentamiento en la región tropical de la tormenta debido tal vez a la sensibilidad de las diferentes cuencas al clima, la manera en que absorben en calor y otros procesos regionales.

Existe una incertidumbre en las tasas de calentamiento del CO<sub>2</sub> en el futuro ya que las emisiones antropógenas y los escenarios pueden cambiar. Sin embargo el estudio de este comportamiento podría tomar muchos años para poder dejar claro todos los factores que pueden influir en estas tasas (Stouffer 2004). Uno de los rasgos característicos de los modelos de calentamiento, es un mayor calentamiento de la parte alta de la tropósfera relativa a la superficie.

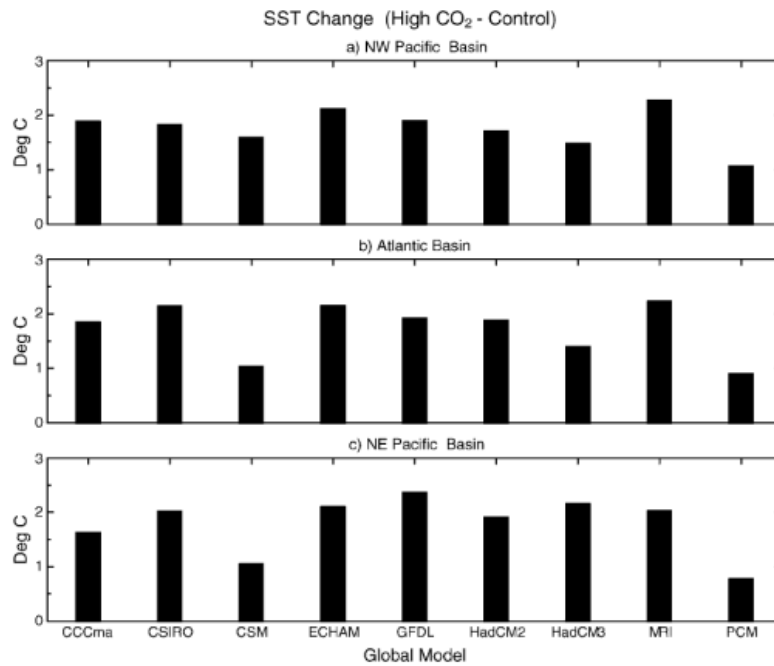


Figura 4.10. Cambio en la SST en °C para cada modelo de CMIP2+. Esto representa el calentamiento que se produce en las 3 cuencas en un periodo de 80 años y con el escenario de aumento de concentraciones de CO2 (aumento de 1%/año. Estos cambios se generaron con escenarios de alto contenido de CO2 y con escenarios de control (sin incremento de CO2) (Knutson T., et al, 2004)

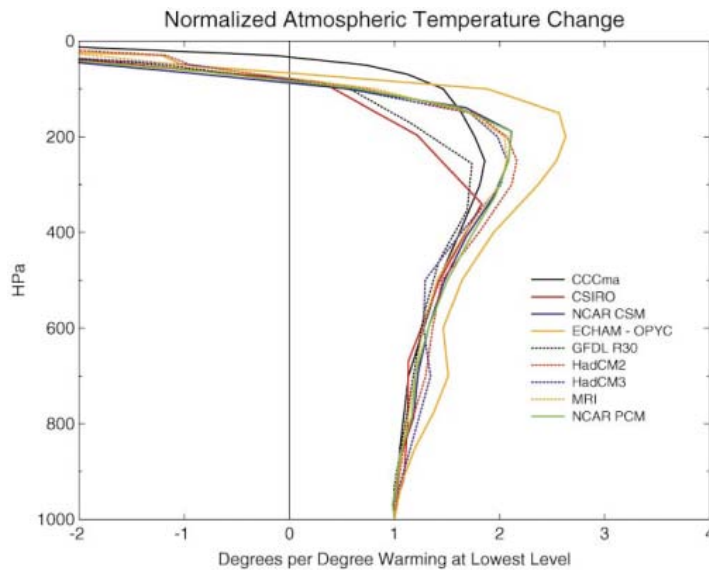


Figura 4.11. Cambios normalizados de temperatura (Knutson T., et al, 2004)



Esta alza se puede ilustrar fácilmente en la figura 4.11, el modelo de ECHAM4/OPYC3 muestra un mayor calentamiento de la troposfera superior mientras que CSIRO y GFDL muestra un menor calentamiento probablemente resultado del ajuste de las tasas de los modelos.

Si bien los modelos del CMIP2+ son muy concordantes con respecto a una mejora en la superficie de la troposfera superior inducida por el calentamiento, es importante señalar que se observó que las tendencias de temperatura de la troposfera a lo largo de los finales del siglo XX no se modelan muy bien como modelos de simulación que incluyen datos históricos más reales (Santer 1996; Tett 1996; Hansen 2002).

La humedad relativa tropical se muestra en la figura 4.12, en esta se observa que en la parte baja de la troposfera la simulación de los modelos muestran un cambio de más o menos un 62%. En la parte superior de la troposfera en unos 400 a 200 mb existe una tendencia entre los modelos a una reducción, aunque el cambio es relativamente pequeño (21-25%). Esta disminución en la humedad relativa de la troposfera junto con el calentamiento de la atmósfera implica un sustancial aumento en el contenido del vapor de agua en altas condiciones de CO<sub>2</sub>.

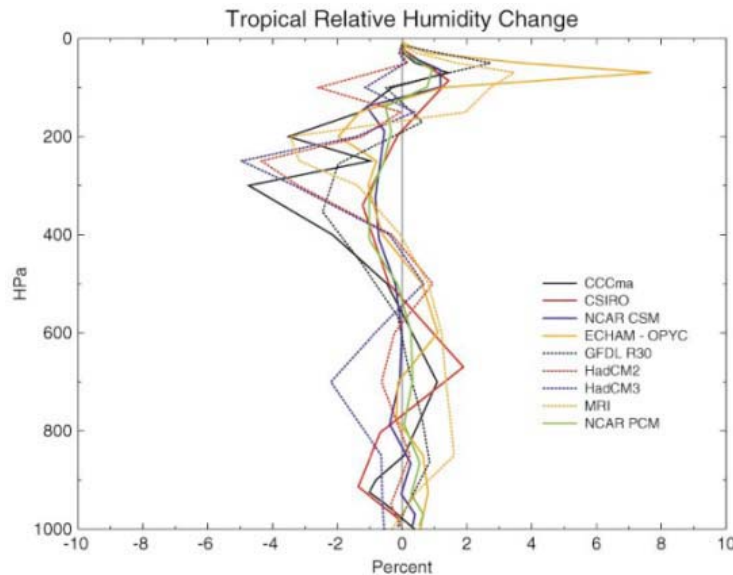


Figura 4.12. Cambios normalizados de humedad relativa (%) (Knutson T., et al, 2004)

### Resultados de la simulación de modelos cmip2+

#### Intensidad de tormenta y cambios de precipitación

Las simulaciones se realizaron por 5 días para cada modelo, se probaron diferentes combinaciones de condiciones iniciales, condiciones ambientales (9 diferentes modelos climáticos), escenarios climáticos (aumento de CO<sub>2</sub>), cuencas tropicales (3 diferentes cuencas), parametrización de convección de cúmulos en el régimen de los huracanes, pequeñas perturbaciones al azar. Un total de 1296 experimentos fueron realizados.

En la figura 4.13 se muestran los resultados de los 9 modelos, en ellas se evidencia una tendencia a huracanes más intensos para una mayor concentración de CO<sub>2</sub>. En varios de los modelos se observa que se intensifican las tormentas en el primer día o en el final de la simulación. Otra

característica de los modelos es el diferente grado de dispersión que muestran entre sí, algunos muestran una dispersión muy agrupada, mientras que GDFL GCM y KURI muestran una dispersión mucho más amplia.

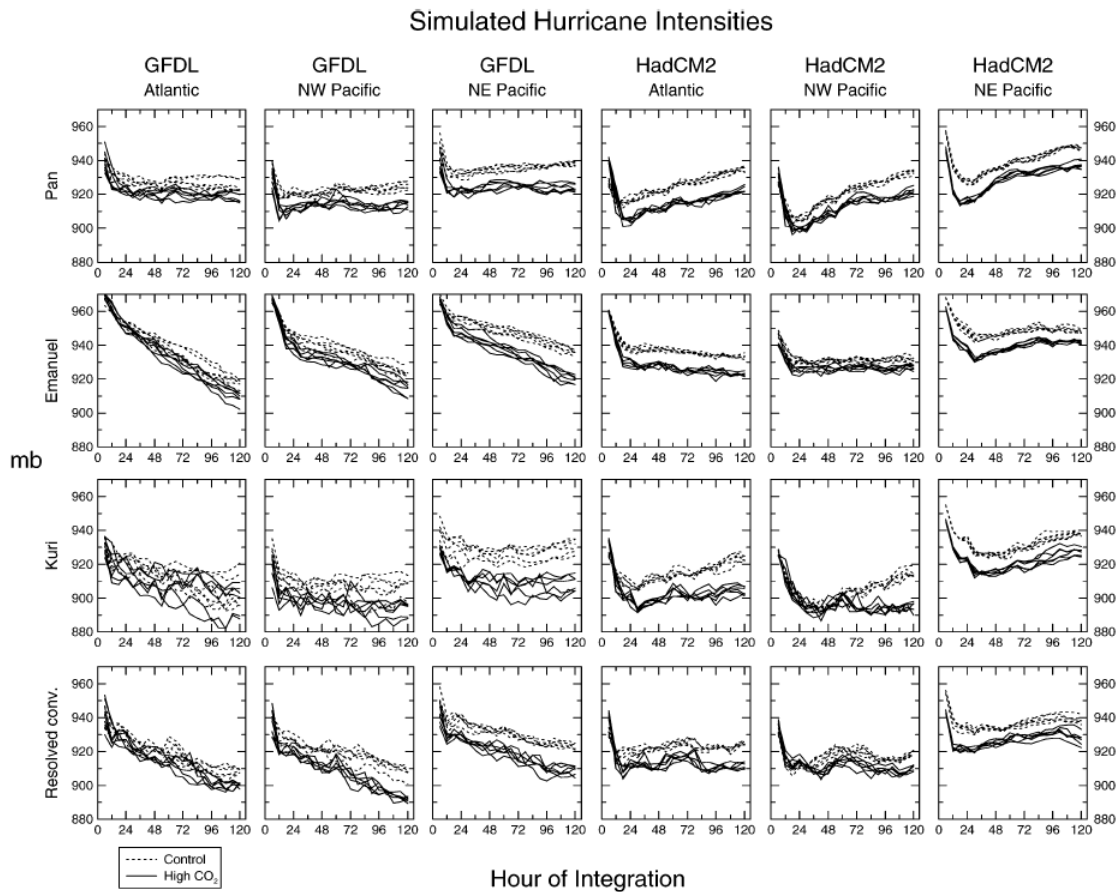


Figura 4.13 Tiempo mínimo de las presiones centrales (mb) de 5 días de duración de la tormenta. Las líneas punteadas y solidas representan 6 conjuntos de miembros de control del aumento de CO<sub>2</sub>. Los esquemas de convección utilizados en los modelos incluyen el huracán Pan, Emanuel, Kuri y la red de convección resuelta por Emanuel (Knutson T., et al, 2004)

La figura 4.14 muestra el resumen general de los resultados de las simulaciones de intensidades para los 1296 experimentos realizados, esta figura combina los resultados de todos los regímenes de convección juntos. La barra en la parte superior de la grafica representa la escala saffir-simpson de intensidades. El cambio hacia mayores intensidades con altas concentraciones de CO<sub>2</sub> parece ser equivalente a la mitad de la categoría de esta magnitud. Se observan mas tormentas que podrían llegar a categoría 5 (la más destructiva). Aunque este experimento no puede simular la frecuencia de tormentas el resultado si muestra un aumento en huracanes categoría 5.

En cuanto a la simulación de la intensidad en términos de velocidad de viento se muestra en la grafica 4.15, donde se muestra cada versión de parametrización de convección. Los resultados arrojaron una condición menos intensa para la convección de Emanuel (50 m/s) y de similar

intensidad para los otros regímenes (61 a 62 m/s). En todos es claro el cambio hacia tormentas más intensas bajo condiciones de alto CO<sub>2</sub>, los porcentajes de aumentos son muy similares para los diferentes esquemas que van desde 5 a 7%.

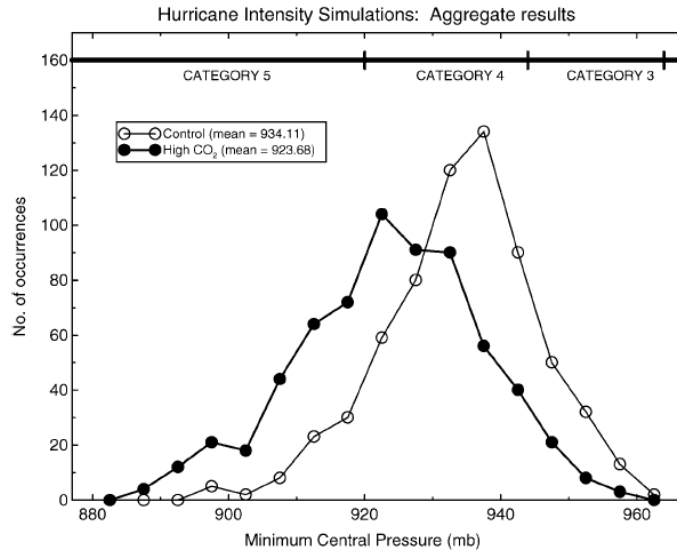


Figura 4.14 Histogramas de frecuencias que muestran los resultados de la intensidad de huracanes (Mb). Los histogramas se forman a partir de la central de las presiones min, en promedio Más de la final de las 24 h de cada 5 días de la prueba. La línea negra con los círculos sólidos muestra los resultados para los casos de alto CO<sub>2</sub> (Knutson T., et al, 2004)

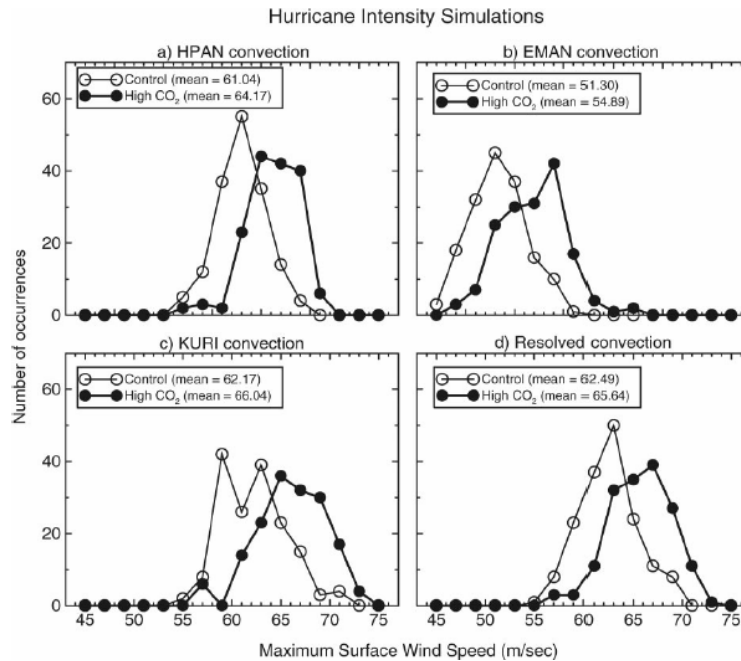


Figura 4.15 Histogramas de intensidades relacionadas con el viento (Knutson T., et al, 2004)

Para el caso de la precipitación figura 4.16, la principal estadística que se utilizó fue evaluar la precipitación dentro de un radio de 100 km del centro de la tormenta (presión mínima central) en la hora 120. Las simulaciones para todos los regímenes de convección muestran un marcado aumento en las precipitaciones. El porcentaje de aumento que se observó varía de un 12 a un 13% para KURI y para las convecciones resueltas de Emanuel PAN de un 22 a un 26%. En todos los casos el aumento de CO<sub>2</sub> es altamente significativo.

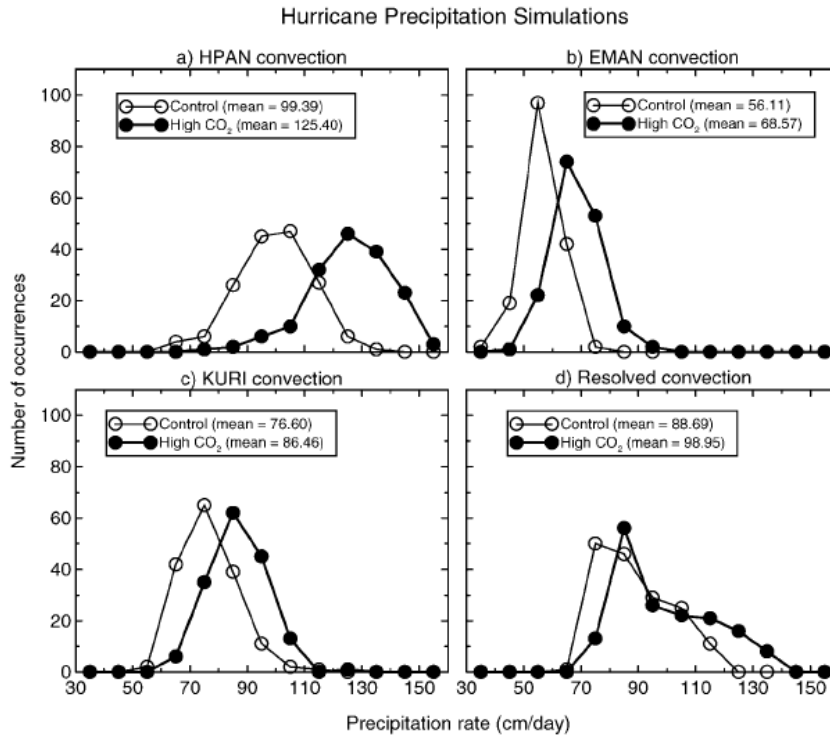


Figura 4.16 Simulaciones de precipitaciones (Knutson T., et al, 2004)

El resumen de los resultados de simulación para varias tormentas en intensidad y precipitación se muestran en la tabla 2. Estos resultados sugieren que las tasas de precipitación cerca de la región central del huracán pueden aumentar en un porcentaje mayor al nivel de humedad, por lo que el aumento en las presiones puede ser el resultado de una mayor humedad y una mayor convergencia asociadas a la circulación de la tormenta.

Tabla 4.2. Resumen de simulación de precipitación e intensidad de tormentas (Knutson T., et al, 2004)

|  | All convection schemes |          | HPAN    |          | EMAN    |          | KURI    |          | Resolved |          |
|--|------------------------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|----------|----------|
|  | Control                | % Change | Control | % Change | Control | % Change | Control | % Change | Control  | % Change |
| Max surface wind speed (m s <sup>-1</sup> )            | 59.2                   | 5.8%     | 61.0    | 5.1%     | 51.3    | 7.0%     | 62.2    | 6.2%     | 62.5     | 5.0%     |
| Min central pressure (mb)                              | 934.11                 | 13.7%    | 938.15  | 13.4%    | 942.75  | 13.3%    | 926.48  | 15.4%    | 929.07   | 12.7%    |
| PI (Emanuel, mb)                                       | 908.83                 | 7.5%     |         |          |         |          |         |          |          |          |
| PI (Holland, mb)                                       | 927.59                 | 15.9%    |         |          |         |          |         |          |          |          |
| CAPE (J kg <sup>-1</sup> )                             | 1924.8                 | 20.6%    |         |          |         |          |         |          |          |          |
| Precipitation (100-km radius; cm day <sup>-1</sup> )   | 80.2                   | 18.3%    | 99.4    | 26.2%    | 56.1    | 22.2%    | 76.6    | 12.9%    | 88.7     | 11.6%    |
| Precipitation (max in domain; cm day <sup>-1</sup> )   | 706.2                  | 23.9%    | 697.0   | 27.6%    | 581.7   | 19.4%    | 652.9   | 32.9%    | 893.4    | 17.3%    |
| Precipitation (inner-nest avg; cm day <sup>-1</sup> )  | 1.62                   | 6.7%     | 1.74    | 8.8%     | 1.27    | 8.7%     | 2.18    | 2.7%     | 1.28     | 8.6%     |
| Boundary layer specific humidity (g kg <sup>-1</sup> ) | 17.07                  | 12.7%    |         |          |         |          |         |          |          |          |

En la figura 4.17 se muestra el porcentaje del cambio en la caída de presión para cada cuenca. Se observa que hay una tendencia en los cambios porcentuales más pequeños de los modelos NCAR, CSM y PCM que para los otros modelos de CMIP2+. Aunque no se muestra en el artículo los resultados de esta figura fueron normalizados para cada modelo.

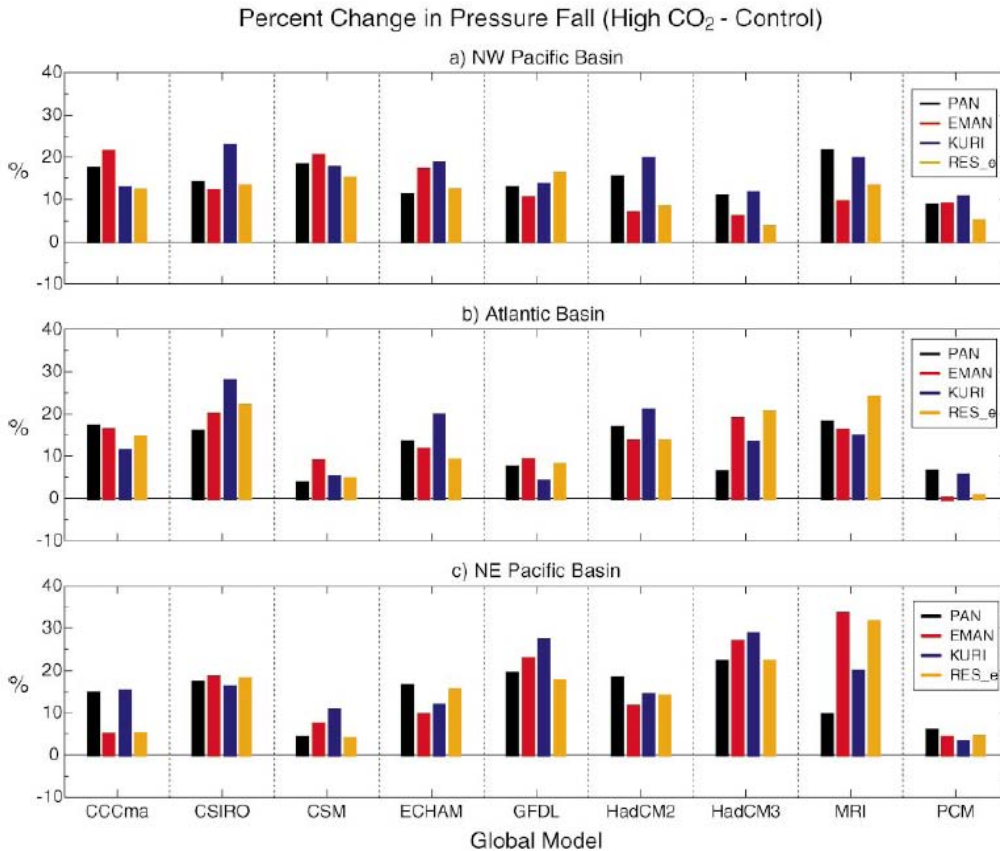


Figura 4.17 Porcentaje de cambio en la caída de presión (Knutson T., et al, 2004)

#### Intensidad de tormenta y cambios de precipitación

La dispersión en la simulación de la intensidad de los huracanes frente a la SST se muestra en la figura 4.18. Los resultados de los diferentes regímenes de convección se trazan en 4 casos de convección, estas van desde 0.64 para Emanuel a 0.84 para KURI.

Existe una clara relación en el modelo de alta SST con la intensidad simulada. Estas graficas muestran que para un valor determinado de SST la intensidad simulada es mayor para el control que para los altos índices de CO<sub>2</sub>. La magnitud del cambio se encuentra entre 5 y 10 mb, esta característica es probable que tenga un efecto en el calentamiento de la troposfera superior, como lo demostrado por Shen 2000. El aumento del calentamiento en la troposfera superior reduce el calentamiento en la intensidad de las tormentas simuladas. En otras palabras la SST aumenta y el aumento en el calentamiento de la troposfera superior por alto CO<sub>2</sub> desarrolla efectos opuestos sobre las intensidades, con un evidente efecto dominante de la SST, ya que hay un aumento de las intensidades de tormentas con altas concentraciones de CO<sub>2</sub>. También existe una relación entre la energía potencial convectiva (CAPE) y la intensidad (tabla 2). El porcentaje de cambio a nivel

global de CAPE es de 21% lo que es substancialmente mayor que el porcentaje de cambio global de la caída de presión y la velocidad de viento en la superficie. El aumento en la CAPE para entornos de altas concentraciones de CO<sub>2</sub> se encontró en 26 de los 27 modelos, este aumento es coherente con teorías que sugieren una relación entre la CAPE y climas más cálidos (Ingersoll y Reno 1996).

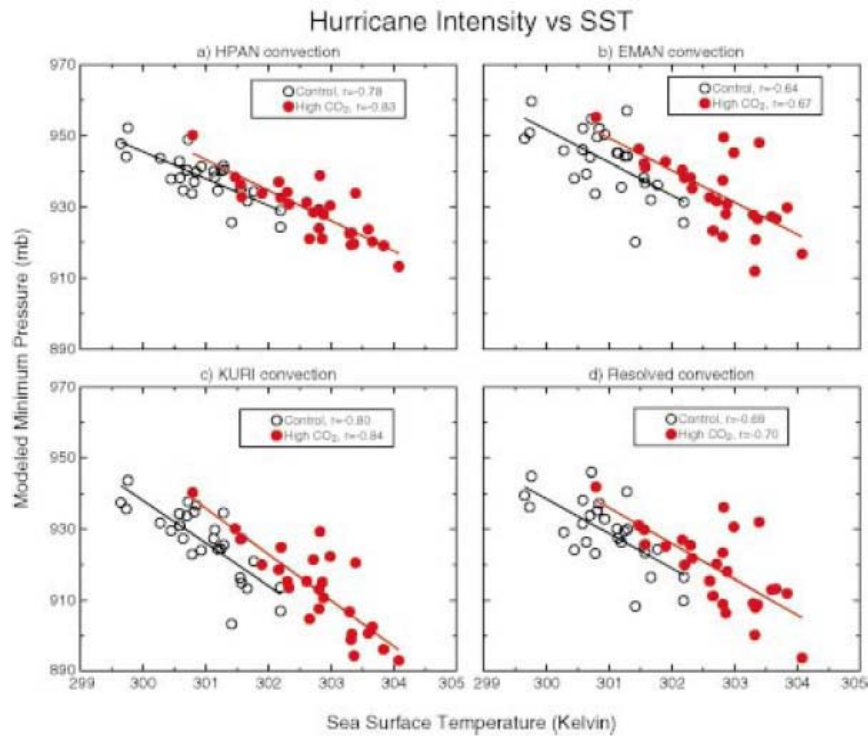


Figura 4.18 Relación de intensidad de huracán vs SST (Knutson T., et al, 2004)

Las correlaciones entre intensidad y el potencial de intensidad de los ciclones (PI) son también mostradas en la tabla 4.3. Estas estimaciones se basan en modelos de Emanuel y Holland.

Tabla 4.3 Correlaciones entre la intensidad de huracanes simuladas y varias medidas de la termodinámica del medio ambiente utilizada para obtener condiciones de frontera y condiciones iniciales para la simulación de huracanes (Knutson T., et al, 2004)

|                         | HPAN    |                      | EMAN    |                      | KURI    |                      | Resolved |                      |
|-------------------------|---------|----------------------|---------|----------------------|---------|----------------------|----------|----------------------|
|                         | Control | High CO <sub>2</sub> | Control | High CO <sub>2</sub> | Control | High CO <sub>2</sub> | Control  | High CO <sub>2</sub> |
| Intensity vs            |         |                      |         |                      |         |                      |          |                      |
| SST                     | -0.78   | -0.83                | -0.64   | -0.67                | -0.80   | -0.84                | -0.69    | -0.70                |
| CAPE                    | -0.66   | -0.66                | -0.70   | -0.71                | -0.67   | -0.65                | -0.72    | -0.70                |
| PI (Emanuel*)           | 0.36    | 0.53                 | 0.33    | 0.43                 | 0.41    | 0.61                 | 0.33     | 0.44                 |
| PI (Holland)            | 0.48    | 0.76                 | 0.31    | 0.51                 | 0.38    | 0.67                 | 0.35     | 0.58                 |
| Precipitation           |         |                      |         |                      |         |                      |          |                      |
| SST                     | 0.83    | 0.89                 | 0.76    | 0.71                 | 0.69    | 0.72                 | 0.07     | 0.24                 |
| Specific humidity       | 0.52    | 0.63                 | 0.64    | 0.58                 | 0.44    | 0.48                 | 0.33     | 0.34                 |
| CAPE                    | 0.34    | 0.53                 | 0.40    | 0.31                 | 0.60    | 0.62                 | 0.31     | 0.33                 |
| Delta intensity vs      |         |                      |         |                      |         |                      |          |                      |
| Delta SST               |         | 0.77                 |         | 0.57                 |         | 0.70                 |          | 0.68                 |
| Delta CAPE              |         | 0.75                 |         | 0.52                 |         | 0.58                 |          | 0.47                 |
| Delta PI (Emanuel*)     |         | 0.50                 |         | 0.40                 |         | 0.53                 |          | 0.46                 |
| Delta PI (Holland)      |         | 0.69                 |         | 0.38                 |         | 0.59                 |          | 0.37                 |
| Delta precipitation     |         |                      |         |                      |         |                      |          |                      |
| Delta SST               |         | 0.57                 |         | 0.55                 |         | 0.59                 |          | 0.08                 |
| Delta specific humidity |         | 0.55                 |         | 0.67                 |         | 0.50                 |          | 0.11                 |
| Delta CAPE              |         | 0.44                 |         | 0.35                 |         | 0.39                 |          | -0.09                |

\* Assumes pseudoadiabatic ascent and neglects dissipative heating.

### En cuanto a la función de la cizalla vertical

Como se mencionó anteriormente este aspecto no fue incluido en los experimentos que se realizaron. Tanto los métodos teóricos de PI por Emanuel-Holland y nuestra idealizada simulación de huracán, el intento por cuantificar la influencia de la termodinámica del medio ambiente (SST, temperatura atmosférica, humedad) en la intensidad de los ciclones tropicales no atienden explícitamente el problema de las influencias de factores dinámicos. Sin embargo se cree que las influencias pueden desempeñar un papel importante en la determinación de la frecuencia de los ciclones tropicales y su intensificación.

Estas influencias pueden proporcionar una explicación para la observación estadística de los ciclones en el Atlántico y Pacífico, ya que una vez que alcance fuerza un huracán tiene igual probabilidad de llegar a cualquier intensidad sin exceder el PI (potencial de intensidad). Estudios de Emanuel (2000) y Tonkinet (2000) apoyan la afirmación de que a pesar de las influencias dinámicas el potencial y la intensidad de los ciclones pueden ser estimados en base al conocimiento de la termodinámica. Emanuel (1999) utiliza un simplificado modelo numérico para demostrar que muchos casos recientes, la evolución de la intensidad de los huracanes se pueden simular desde el conocimiento de la intensidad inicial de la tormenta, termodinámica de la atmósfera y el intercambio de calor con el océano (sin necesidad de un modelo de dinámica atmosférica). La importancia de las influencias termodinámicas y la intensidad de fuertes huracanes continúa siendo una rea de investigación activa.



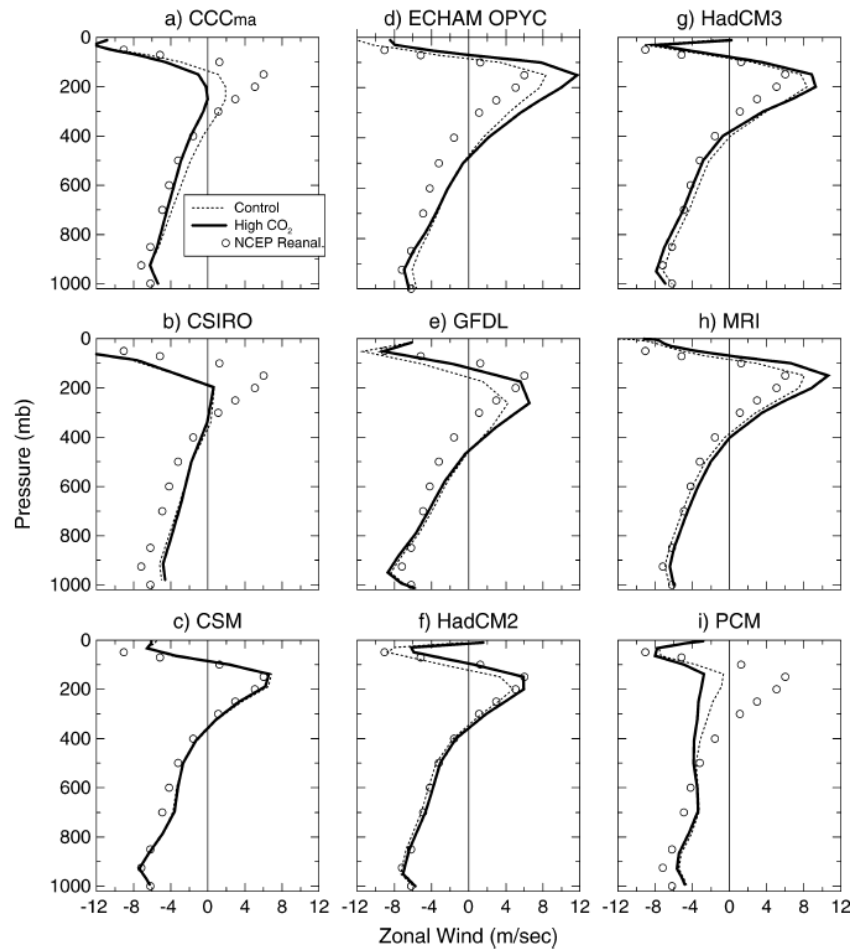


Figura 4.19 Perfiles verticales de viento para la cuenca del Atlántico obtenido de los modelos CMIP2+ (Knutson T., et al, 2004)

Algunos investigadores han hecho intentos para incluir estas influencias dinámicas en la evaluación de GEI en los cambios de intensidad, utilizando modelos (Walsh 1999 y Ryan 2000). Sin embargo uno puede cuestionar la forma realista sobre las influencias de estas sobre las tormentas como el viento de cizalla vertical. Por ejemplo podría citar que si un fuerte huracán ocurriera en una temporada y en condiciones de cizalla sería muy desfavorable para este ciclón.

Aunque este aspecto no es tomado en cuenta en este trabajo sería de interés examinar la forma en que la cizalla vertical puede transformar los resultados de los modelos que se plantearon. En la figura 4.19 se comparan los perfiles de viento para las tormentas de Atlántico Tropical y sus emisiones de CO<sub>2</sub> inducidas por el cambio entre los diferentes modelos de CMIP2+. En la figura se observan círculos que muestran la climatología zonal del perfil de viento en base al re análisis NCEP-NCAR (Kalnay 1996). A pesar de la cizalla vertical del viento en algunas zonas es muy débil para algunos modelos, en respuesta al calentamiento inducido por el CO<sub>2</sub>. Los resultados de esta grafica muestran resultados a una tendencia de más cizalla vertical ante los escenarios de más CO<sub>2</sub> en la mitad de los modelos con pocos cambios o reducciones. Estos resultados siguieren una tendencia en algunos modelos en algunas cuencas hacia una menor ciclogénesis tropical para el

medio ambiente en términos de viento de cizalla vertical, a pesar que los resultados son muy dependientes.

### Conclusiones

Los resultados presentados en este artículo indican que básicamente las simulaciones de los huracanes más intensos y tormentas en escenarios de alto nivel de concentraciones de CO<sub>2</sub> no son fuertemente dependientes de un modelo de clima mundial, ni sobre la parametrización convectiva que se utilizó en el modelo del huracán. Esto sugiere que las conclusiones son buenas en el contexto de un diseño idealizado experimental usando las variantes del modelo de GDFL descrito aquí y usando la teoría de potencial de intensidad. Un estudio anterior de Knutson 2001, indica que nuestros resultados son buenos en cuanto al acoplamiento del océano en las simulaciones de huracanes.

Un análisis estadístico histórico de la intensidad de ciclones tropicales (Emanuel 2000) encontró que una vez que un ciclón tropical alcanza la fuerza de un huracán tiene la probabilidad de aproximarse a cualquier intensidad de huracán pero no superior a la intensidad de su potencial. Esto sugiere que el aumento de intensidad simulada en este trabajo puede ser aplicable al límite de la intensidad media y superior de los ciclones tropicales en ambientes calientes (alto CO<sub>2</sub>) aunque los cambios en la circulación de los ciclones podrían alterar esta evaluación. La magnitud de la simulación de aumento en estos experimentos fue de un 16% en la superficie máxima de los vientos de ciclones tropicales, debido a un escenario de cambio climático consistente de 80 años en el incremento de CO<sub>2</sub> (1%/año).

Los pequeños cambios en la SST observados en un periodo de 50 años en los trópicos implican que la intensidad pueda cambiar poco en relación con la precisión de los registros históricos de intensidades de las tormentas y de la magnitud de la variabilidad de intensidades en algunas cuencas. Esto implica que a más CO<sub>2</sub> los cambios en la intensidad de ciclones tropicales son poco probable que sean detectados en las próximas décadas. Por otra parte hasta ahora la cuenca del Atlántico no ha mostrado una significativa tendencia al calentamiento, esto como resultado de registros de intensidad encontrados para esta cuenca. Así desde la perspectiva del Atlántico y la SST, no hay ninguna expectativa de una tendencia al alza en intensidades máximas de ciclones en los últimos 50 años.

En resumen este tema presenta una serie de aspectos que requieren una investigación más a fondo. Después de analizar este artículo se puede concluir que hasta ahora no hay algo realmente concreto que pueda demostrar que el actual aumento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera unida a varias acciones antropógenas de las cuales está siendo afectado nuestro planeta pueda atraer más huracanes, mas intensidades y más frecuencia, ya que lejos de concluir esto, dichos estudios solo muestran que actualmente debemos enfocarnos más en estudiar aspectos que puedan llegar a marcar pauta en estas relaciones.

A pesar de que este artículo muestra las desventajas y ventajas que tiene sus modelos y de que falta mucho por hacer, el documento del INE concluye:

- *La historia de ciclones tropicales en el Océano Atlántico, la teoría de Intensidad Máxima Potencial y los modelos climáticos, muestran que incrementos en la temperatura de superficie del mar van acompañados de huracanes más intensos*
- *Seis de los diez huracanes más intensos de la historia del océano se han observado en el Mar Caribe. Los otros cuatro en el Golfo de México*

- *Ante el calentamiento global previsto por el IPCC, podemos esperar huracanes más intensos que los registrados hasta ahora, por lo cual Cancún requiere tomar medidas de adaptación ante este hecho, con el fin de mantener de forma sostenible y durante las siguientes décadas su actividad turística, social y económica.*

Lo anterior muestra que hay que tener más reservas sobre los estudios que actualmente se están realizando y que se realizaron en materia de calentamiento global y huracanes, lo que sí es importante, es tomar conciencia sobre las medidas de mitigación que se podrían poner en funcionamiento en Cancún como en cualquier zona costera de nuestro país, no tan solo para prevenir efectos del cambio climático si no para estar siempre listos en caso de alguna contingencia sobre desastres naturales.

## ANEXO 5

### LARGE CONTRIBUTION OF SEA SURFACE WARMING TO RECENT INCREASE IN ATLANTIC HURRICANE ACTIVITY

MARK A. SAUNDERS Y ADAM S. LEA

#### 5.1 Introducción

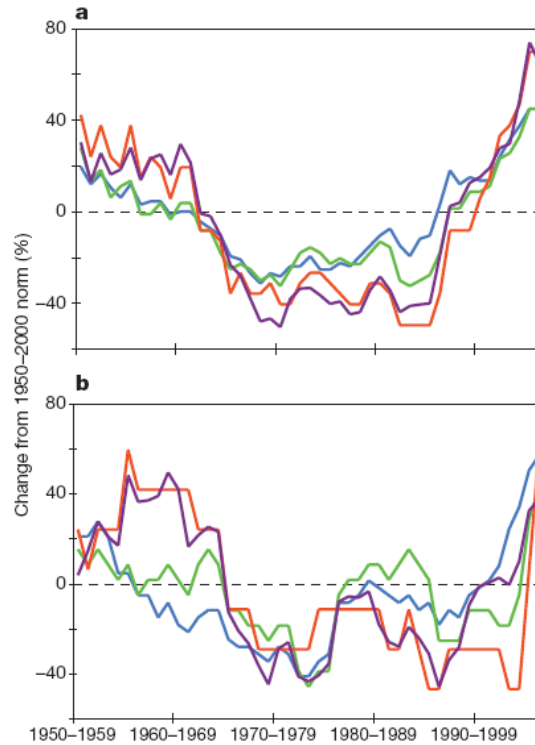
La actividad de huracanes del Atlántico se ha incrementado significativamente desde 1995, pero las causas de este aumento siguen siendo inciertas. Comúnmente se piensa que el aumento de temperaturas en la superficie del Océano Atlántico ha tenido un papel fundamental en este tema, pero la magnitud de este no se conoce todavía. En este artículo se muestra un modelo estadístico basado en dos variables ambientales, las temperaturas locales de la superficie marina y un campo de vientos en la atmósfera, estas pueden reproducir en una gran proporción la varianza en el Atlántico y la actividad de los huracanes entre el 1965 y 2005. Los resultados indican que la sensibilidad de la actividad de huracanes del Atlántico Tropical en los meses de agosto a septiembre y la temperatura durante este periodo es tal que un aumento de 0.5C incrementaría en un 40% la frecuencia de la actividad de los huracanes. Los resultados también indican que el calentamiento de la superficie del mar fue el responsable del 40% del aumento de la actividad de los huracanes. Este análisis no determina si el calentamiento inducido por los gases de efecto invernadero (GEI) contribuyan o no al aumento de la actividad de los huracanes, pero si la capacidad de los modelos de clima para reproducir la relación observada entre los huracanes y la temperatura de la superficie del mar, útil para evaluar si es probable proporcionar proyecciones fiables de los cambios futuros en la actividad de los huracanes en el Atlántico.

La actividad de huracanes en el Atlántico norte se ha incrementado significativamente desde 1970 y 1980, esta proporción de años junto con la actividad sobre 1950 al 2000 significa que se ha incrementado en un 16% entre 1970 a 1994 y 82% para 1995 a 2005 (Bell, G. D. et al. 2006). Esta actividad se ha interpretado como consecuencia de un retorno a la fase positiva de las condiciones del Atlántico Multidecadal o como parte de una tendencia al alza del calentamiento mundial. Para proporcionar una proyección fiable para el futuro de los huracanes es esencial primero cuantificar las contribuciones dinámicas (circulación de la atmósfera) y termodinámicas (calentamiento del mar).

Se usaron datos de viento máximo sostenidos de EE.UU. proporcionados de la base de datos de la National Hurricane Center's North Atlantic desde 1950 a 2005. Como lo recomendó Landsea, no se aplicaron modelos bias-removal para los datos de 1950 a 1969. Se emplearon registros mensuales de temperatura de la superficie del mar (TSM) y datos mensuales de viento a 925 hPa (cerca de 750 m por sobre el nivel del mar), 850 hPa y 200 hPa entre 1965 al 2005 (datos del National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research). Se definieron las tormentas a lo largo de la actividad del Atlántico Tropical, estas tormentas representaron el 85 a 90% de los huracanes y huracanes más intensos que llegaron a tierra en EE.UU. entre 1950 y 2005. Se emplearon estos datos para modelos estadísticos a fin de explicar mejor su actividad interanual, de modo que su incertidumbre fuera más pequeña.

En la figura 5.1, se compara la frecuencia y la actividad de los huracanes que tocaron tierra en el Atlántico Tropical entre 1996 y 2005 con un pico en la actividad de la década de los años 50's. los registros de ciclones tropicales para la cuenca del Atlántico se consideran fiables desde el año 1960, pero entre 1950 y 1965 son malos debidos a la falta de imágenes de satélites geostacionales. Los niveles de actividad se muestran en promedios de 10 años de funcionamiento con el último valor correspondiente al periodo de 1996 a 2005. En un periodo de 10 años se

elimina la influencia de el Niño/La Niña y la Oscilación del Sur en la variabilidad y tendencias a largo plazo. La figura 5.1 muestra un patrón similar para cada medida en la actividad de huracanes; en la década de 1950 y principios de 1960 la actividad de la cuenca Atlántica fue de 20 a 40% por encima de la norma, así como para el periodo entre 1970 y 1980 la actividad se redujo a un 20 y 40% por debajo de la norma; de 1996 a 2005 se incremento de 40 a 70% por encima de la norma. Para la actividad de los huracanes en tierra (figura 5.1b) la serie de tiempo es más ruidosa pero en general el modelo se repite, lo que demuestra que la actividad en el Atlántico tropical y actividad de huracanes en tierra están vinculados positivamente cuando se toman promedios de tiempo de varios años.



**Figure 1 | The recent exceptionally high hurricane frequency and activity.** Ten-year running averages for different measures of tropical Atlantic (a) and US-landfalling (b) hurricane frequency and activity between 1950 and 2005 are expressed as percentage departures from norm values for 1950–2000. The measures shown are numbers of tropical storms (blue), numbers of hurricanes (green), numbers of intense hurricanes (red) and the ACE index (purple)<sup>18</sup>. For b these measures refer to US-landfalling events, and ACE is the US ACE index<sup>29</sup>.

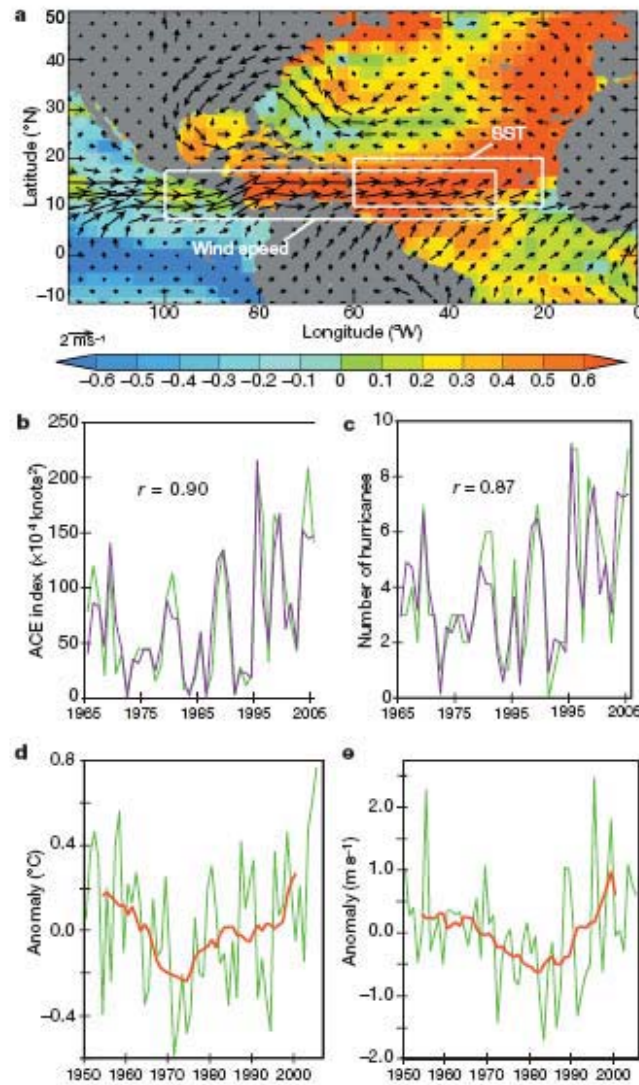
*Figura 5.1 Frecuencia y actividad de huracanes. (Saunders M., et al, 2008)*

La contribución del mar al reciente calentamiento y la frecuencia y actividad de huracanes se examina por medio de un modelo estadístico con una sólida base física. Se aplicó el modelo con los registros de huracanes del año 1965 porque se consideraron fiables en este tiempo. Este modelo reproduce en gran proporción entre un 75 a 80% la varianza de la actividad de los huracanes del Atlántico tropical entre 1965 y 2005 con un conocimiento de dos campos ambientales: uno, la temperatura de la superficie del mar y el otro de la atmósfera de viento sobre el terreno. La influencia ciclónica del campo de vientos y cizallamiento vertical del viento jugaron un

papel fundamental en el medio ambiente anual de la actividad de los huracanes (figura 5.2 y tabla 5.1).

La figura 5.2 muestra la diferencia entre la TSM y los vientos tomados a 925 hPa en un periodo de años. Cuando el índice ACE 1965-2005 se encuentra en su parte superior e inferior se muestran las anomalías entre TSM y 925 hPa, el viento vinculado a las temperaturas de huracanes activas entre los meses de agosto y septiembre. Los rectángulos blancos que se muestran en la figura 5.2a marcan las áreas utilizadas para las dos claves ambientales (TSM y vientos). Las temporadas activas de huracanes son asociadas por debajo de la norma de agosto a septiembre a 925 hPa de vientos alisios y por encima de la norma agosto a septiembre de TSM en el MDR. Se supone un perfecto conocimiento de los campos, se aplica una regresión múltiple lineal con crossvalidación y bloque de eliminación para calcular los hindcast (para poner a prueba el modelo) para las cuatro diferentes medidas (números de tormentas tropicales, número de huracanes, número de huracanes intensos e índice de energía ciclónica acumulada (ACE)), de la actividad atlántica de los huracanes durante 1965 y 2005. Las series de tiempo de la prueba del modelo fueron comparadas con los valores actuales del índice ACE y el número de huracanes en la figura 5.2b y 5.2c. El modelo es muy preciso, explica un 81% y 76% de la varianza de estas dos medidas entre 1965 y 2005. El papel clave de los meses de agosto a septiembre es manifiesto por su anomalía en las series de tiempo (figura 5.2d, 5.2e), que muestra las tendencias a lo largo de un lapso similar a la tendencia en la actividad de los huracanes (figura 5.1). Además las temperaturas de 1996 a 2005 muestran un aumento de 0.7°C máximas de 10 años ya que los registros comenzaron desde 1950.

La correlación Hindcast de la frecuencia en la actividad ciclónica del Atlántico entre 1965 y 2005 se comparo para 4 diferentes modelos estadísticos como lo muestra la tabla 1, estos modelos comprenden dos con una predicción simple y dos predicciones normales. El único factor predictivo de los modelos es el de emplear los meses de agosto a septiembre de TSM en el MDR, agosto a septiembre con 925 hPa  $\mu T$  de viento, agosto a septiembre TSM en MDR y Agosto a septiembre 850-200 hPa viento de cizalla vertical. La tabla 5.1 muestra que las dos predicciones del modelo con los meses de agosto a septiembre de TSM en el MDR y de agosto a septiembre de 925 hPa  $\mu T$  viento se desempeña mejor para cada medida de la actividad de huracanes. También se observa que de agosto a septiembre TSM en el MDR explica por sí solo el 40-50% de la varianza en la actividad de huracanes durante 1965 y 2005, y que agosto a septiembre 925 hPa  $\mu T$  viento explica individualmente mas varianza que la que hace TSM.



**Figure 2 | Nature and performance of the statistical model replicating hurricane frequency and activity in the tropical Atlantic between 1965 and 2005.** **a**, The two August–September environmental field areas that comprise the model and the August–September anomalies in SST (colour-coded in degrees Celsius) and 925-hPa wind anomalies (arrowed) linked to active Atlantic hurricane years. **b**, **c**, Comparison of the model’s hindcast performance (purple) with actual values (green) for the ACE index (**b**) and number of hurricanes (**c**). **d**, **e**, The anomaly time series relative to the norm for 1950–2000 (green) and its associated ten-year running average (red) for the two environmental fields comprising the model, namely August–September SST (**d**) and 925-hPa  $u_T$  wind (**e**).

Figura 5.2 Naturaleza y comportamiento de los modelos estadísticos de frecuencia y actividad de huracanes entre 1965-2005 en el océano Atlántico (Saunders M., et al, 2008)



Tabla 5.1 Predicciones 1965-2005 en función de predicciones de frecuencia y actividad de huracanes (Saunders M., et al, 2008)

| Predictor(s)  | Hindcast correlation skill |                       |                               |           |
|---|----------------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------|
|   | Numbers of tropical storms | Numbers of hurricanes | Numbers of intense hurricanes | ACE index |
| August-September MDR SST  | 0.68                       | 0.68                  | 0.64                          | 0.71      |
| August-September 925-hPa $u_1$ wind   | 0.80                       | 0.78                  | 0.73                          | 0.83      |
| August-September MDR SST and August-September 925-hPa $u_1$ wind              | 0.86                       | 0.87                  | 0.79                          | 0.90      |
| August-September MDR SST and August-September 200-850-hPa vertical wind shear | 0.78                       | 0.81                  | 0.74                          | 0.83      |

The MDR area is 10-20° N, 20-60° W. The 925-hPa  $u_1$  wind area is 7.5-17.5° N, 30-100° W. The region used for the 200-850-hPa vertical wind shear is 12.5-17.5° N, 40-85° W. Hindcast correlation skill is the Pearson product-moment correlation between the predicted and actual time series.

Sobre el aumento de frecuencia y la actividad de los huracanes en el Atlántico tropical a consecuencia de la TSM para los meses de agosto a septiembre, el modelo aborda esta preocupación a través de modelos estadísticos y eliminando la influencia de vientos atmosféricos debidos a que la TSM y el viento aportan un 75 a 80% de la varianza en la actividad de huracanes durante 1965 y 2005, las diferencias en el numero de tormentas y la actividad se mantienen después de la eliminación de la influencia del viento se supone que se debe a la diferencia en la TSM. La eliminación de las influencias del viento se logra a través de regresión lineal múltiple.

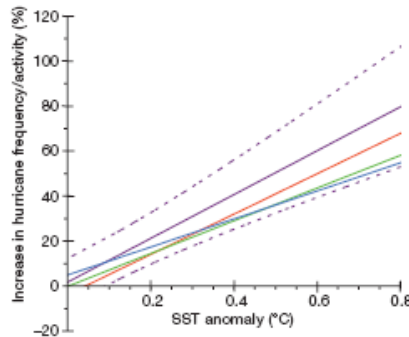


Figure 3 | Sensitivity of tropical Atlantic hurricane activity to increasing August-September SST in the MDR after removing the influence of atmospheric wind. The four frequency and activity measures are the same as in Fig. 1 (numbers of tropical storms (blue), numbers of hurricanes (green), numbers of intense hurricanes (red) and ACE index (purple). Linear regression fits for each measure and the 95% confidence interval for the ACE index fit (dashed purple lines) are shown. All fits are built on data from 1965-2005. The anomaly in SST in the MDR is relative to the 1950-2000 norm value of 27.31 °C. The percentage increases in hurricane frequency and activity are also relative to 1950-2000 norm values.

Figura 5.3 Sensibilidad de la actividad de huracanes en el Atlántico por el incremento de TSM en el MDR después de remover el viento (Saunders M., et al, 2008)

La figura 5.3 muestra la contribución de deducir el calentamiento del mar al aumento de la frecuencia de los huracanes y su actividad entre 1965 y 2005. El aumento de agosto a septiembre de TSM en la MDR en 0.5C por encima de su valor de la norma del clima 27.3C está vinculada con aumentos por encima de 1950 a 2000 en los valores de la norma 31+-17% (numero de tormentas tropicales) y 49+-18% (índice ACE), con incertidumbres siendo el intervalo de confianza del 95%. Las proporciones de la norma sobre la frecuencia de las tormentas y actividad durante 1996 y 2005 (figura 5.1) vinculados al aumento de 0.27C en el mes de agosto a septiembre de TSM en MDR son los siguientes: 37+-20% (numero de tormentas tropicales), 46+-22% (numero de huracanes), 35+-49% (numero de huracanes intensos) y 40+-15% (índice ACE), con la incertidumbre de nuevo en intervalo de confianza de 95%. La probabilidad de un vinculo positivo entre el aumento entre

agosto a septiembre de TSM en la frecuencia de huracanes y la actividad durante 1996 y 2005 es de más de 99% para todas las medidas.

Este estudio muestra que la actual sensibilidad de la frecuencia de huracanes y del calentamiento del mar en la MDR es grande: un aumento de 0.5C entre agosto a septiembre de la TSM está vinculada a un aumento del 40% en la frecuencia. Este hallazgo se refiere a la formación de tormentas en las regiones tropicales del Atlántico norte a partir del cual entre 85 y 90% se originan en tierra. La inclusión de la formación de tormentas tropicales en los subtropicos reduce ligeramente la sensibilidad en un 35% del aumento en la frecuencia para un 0.5C entre agosto a septiembre de TSM en el MDR. En años individuales, la sensibilidad será superior o inferior a ese promedio, por ejemplo en El Niño o eventos de sensibilidad será probablemente inferior. El artículo explica que aunque la actividad ciclónica según ellos se ha incrementado desde 1995 no existen estudios que logren relacionar una causa fija a este crecimiento, además de determinar que el calentamiento por GEI no es determinado en este estudio sino más bien el hecho de que nuevos modelos puedan llegar a reproducir de una forma confiable la relación que existe entre los huracanes y la TSM, para poder llegar a proporcionar información útil para poder mitigar en gran medida los poderes destructivos de estos huracanes.

Como se menciona la actividad de los huracanes se ha incrementado posiblemente como una consecuencia del retorno de condiciones multidecadales o parte de una tendencia al alza del calentamiento global, todavía no se ha decidido cual influye, se necesita investigar mucho sobre la circulación en la atmósfera y el calentamiento del mar. La conclusión es que siguen quedando aspectos que dejamos por fuera en los modelos, además de que las bases de datos pueden llegar afectar si están mal el curso de las conclusiones que podamos inferir en cualquier estudio. Por eso debemos ser muy prudentes en cuanto a las conclusiones de un modelo de simulación.

## **5.2 Referencias artículo Mark A. Saunders y Adam S. Lea "INCREASING DESTRUCTIVENESS OF TROPICAL CYCLONES OVER THE PAST 30 YEARS" Kerry Emanuel**

Estudios sobre la variabilidad de los ciclones tropicales en el Atlántico norte revelan grandes oscilaciones interanuales, interdecadales en la frecuencia de las tormentas que han estado vinculados a fenómenos climáticos regionales como lo son El Niño/La Niña, Oscilación del Sur, Estratosfera Oscilación Cuasi-Bienal y Multidecadal en la región del Atlántico norte. Pero estas no están del todo bien documentadas porque no se tienen registros de años completos. Se han estudiado los posibles efectos del calentamiento global sobre la actividad ciclónica tropical y se han elaborado modelos y estudios empíricos, fundamentalmente teorías cuantitativas según la medición de la superficie máxima de la velocidad del viento, estos estudios muestran que cuando se acumulan muestras más grandes de estadísticas sobre la intensidad de huracanes, estas están fuertemente controladas por el potencial teórico.

Modelos del clima mundial muestran un aumento substancial de la intensidad con potencial antropogénico del calentamiento de la atmósfera, dando lugar a una predicción de que realmente la intensidad aumentara con el tiempo. Un estudio reciente utilizando un modelo numérico predice que una variabilidad de diferentes modelos de clima mundial apoya las predicciones respecto a los cambios en la intensidad de las tormentas con un calentamiento en zonas tropicales de 0.5C, sin embargo estas predicciones son muy pequeñas.

Las predicciones de modelos climáticos sobre la influencia con el calentamiento global y la frecuencia de las tormentas son muy inconsistentes y no que no existe una tendencia detectable al aumento mundial anual de la frecuencia de los ciclones tropicales en la historia.

Aunque la frecuencia de los ciclones tropicales, es un importante problema científico, no es la única amenaza de un ciclón tropical, la pérdida que estos daños genera en la población es evaluada por la siguiente ecuación:

$$PD = 2\pi \int_0^{\tau} \int_0^{r_0} C_D \rho |V|^3 r dr dt$$

Donde PD es el poder de disipación,  $C_D$  es el coeficiente de arrastre de superficie,  $\rho$  la densidad del aire en la superficie y  $V$  la magnitud de los vientos en la superficie. La cantidad de PD o unidades de energía refleja la potencia total disipada por una tormenta en su vida, pero lamentablemente la integral es difícil de evaluar utilizando datos históricos.

Estudios detallados muestran que los perfiles radiales de las velocidades son geoméricamente iguales, considerando que el pico de las velocidades de viento exhibe una pequeña correlación con las medidas de las dimensiones del viento. Estas variaciones pueden introducir errores en la evaluación de la ecuación (tamaño de la tormenta). En la integral de la ecuación anterior la superficie de la densidad varía en aproximadamente un 15% mientras que el coeficiente de arrastre es también aumentado el doble con la velocidad de viento, estabilizando las velocidades en alrededor de 30 m/s. Como la ecuación anterior está dominada por altas velocidades entonces el producto de  $C_D \rho$  se transforma en una constante y entonces se redefine la ecuación quedando así:

$$PDI \equiv \int_0^{\tau} V_{\max}^3 dt$$

Donde  $V_{\max}$  es la velocidad máxima sostenida del viento a una altura de 10 m. Este nuevo índice es el mejor indicador de amenaza de ciclones tropicales ante la frecuencia e intensidad de una tormenta y no de la disipación neta del potencial. La disipación de energía es de interés directo desde el punto de vista de la contribución de los ciclones tropicales a la mezcla de los océanos y la circulación termohalina (circulación convectiva que afecta de modo global al conjunto de las masas de agua oceánicas), este índice es similar a la energía acumulada de un ciclón o índice de energía ciclónica acumulada (ACE), definido como la suma de los cuadrados de las velocidades máximas del viento durante el tiempo que duran las fuerzas del huracán.

En la figura 5.4, se muestra el PDI para el Atlántico norte y las principales temperaturas en la superficie del mar para el mes de septiembre. En esta gráfica se muestra una fuerte y obvia relación entre las dos series de tiempo, lo que sugiere que la TSM ejerce un fuerte control sobre el PDI. En el Atlántico multidecadal es evidente en las series TSM, así como las oscilaciones relacionadas a El Niño/La Niña en el Atlántico norte, pero en las últimas décadas se observa un aumento muy significativo reflejo probablemente del calentamiento global.

La figura 5.5 muestra el acumulado anual suavizado de PDI para el Pacífico norte occidental, junto con la TSM de julio a noviembre medidos y suavizados para la región principal del norte del Pacífico. En esta gráfica se observa que estos parámetros están fuertemente relacionados. Las series de TSM muestran un aumento desde 1975 inusual comparado con el estándar visto (70 años atrás) que venían normales con oscilaciones de aumentos en la TSM.

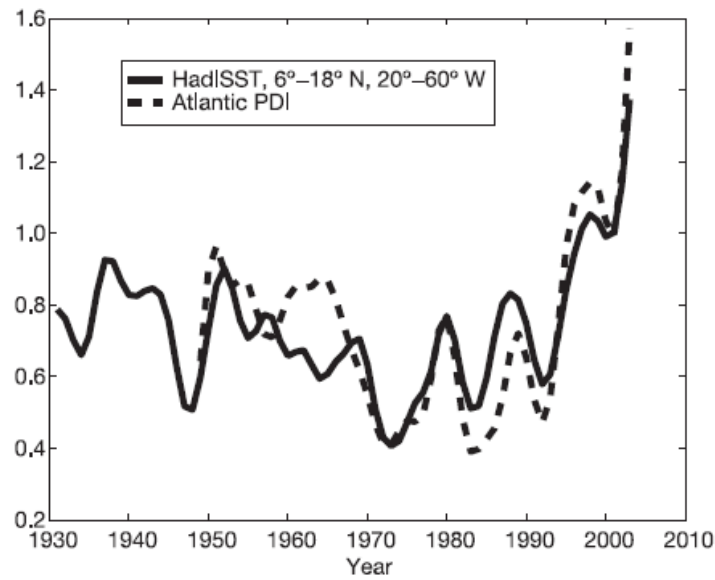


Figura 5.4. Medida del poder de disipación total anual de los ciclones tropicales en el Atlántico norte comparado con la TSM en septiembre (Emanuel K.A., 2005)

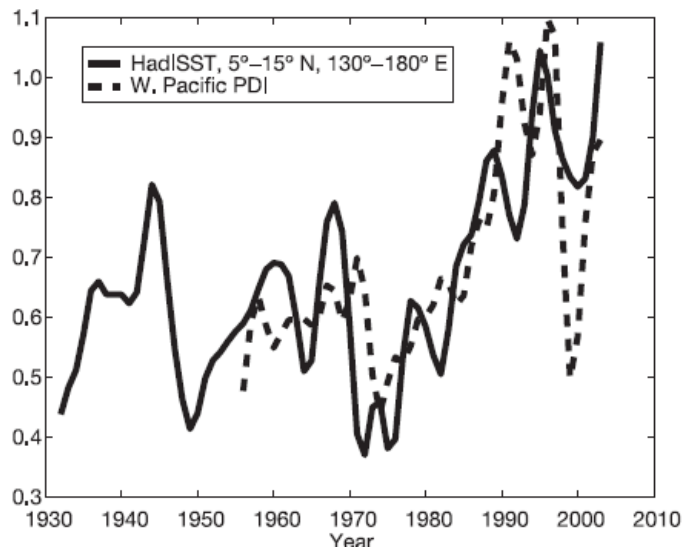


Figura 5.5 Acumulado anual de PDI para el Pacífico norte comparado con la TSM de los meses julio-noviembre (Emanuel K.A., 2005)

Hay razones para creer que el nivel mundial de TSM podría tener tendencias a menores afectaciones en ciclones tropicales ubicados en fluctuaciones regionales como la intensidad ciclónica sensible a las diferencias de TSM y la temperatura media en la troposfera. La reactivación de la media de la TSM desde 1975 ha sido en general atribuible al calentamiento global lo que sugiere que la tendencia al alza de los PDI de los ciclones es por lo menos parcialmente

antropogénica. Es interesante observar que esta tendencia esta mas marcada para el Atlántico norte que en el Pacífico en los últimos 30 años.

El gran aumento de PDI en los últimos 30 años esta dado a que las tormentas se han hecho cada vez más intensas o en promedio ha sobrevivido a altas intensidades para largos periodos de tiempo. El acumulado anual de tormentas en el Atlántico norte y Pacífico occidental ha aumentado en por lo menos un 60% desde 1949. El promedio anual de tormentas con velocidades pico sumada a la del Atlántico norte, este y oeste del norte del Pacífico también han aumentado durante este periodo en un 50%, así como la duración y volumen de intensidad están contribuyendo al aumento de disipación del potencial neto. En teoría las velocidades pico de viento deberían aumentar en un 5% por cada 1C de incremento en la TSM. Dado a que el aumento ha sido de 0.5C estos vientos picos deberían tener un aumento del 2 al 3% y del poder de disipación por lo menos un 6 al 9%, aunque un esperado aumento de vida útil de la tormenta podría incrementar su PDI en 8 a 12%, muy por debajo de los cambios observados.

Los ciclones tropicales no responden directamente a la TSM, sin embargo y en la medida apropiada de su entorno es la termodinámica ambiental el potencial de la intensidad que no solo depende de la temperatura de la superficie sino sobre todo del perfil de la temperatura de la troposfera. Se han utilizado diariamente el promedio de re-análisis de datos del Hadley Center SST para reconstruir el potencial máximo de las velocidades de viento y luego el promedio de su resultado por cada año calendario y durante las mismas áreas tropicales para calcular la media de TSM del Atlántico y Pacífico, dando como resultado que la TSM aumenta en un 10% por encima del periodo de registro en lugar de un previsto 2 a 3%. Terminado el re-análisis los datos se muestra que la temperatura de la atmósfera no sigue la misma tendencia que la SST. Este tiene un efecto de aumentar la intensidad. Dado el aumento observado del 10% la expectativa en el incremento del PDI es de un 40% tomando en cuenta el aumento en la duración de los acontecimientos. Lo anterior sugiere que solo una parte de lo observado aumento el PDI de los ciclones tropicales, y que está relacionado directamente al aumento de TSM, el resto solo puede explicarse por cambios en otros factores que influyen en la intensidad de los huracanes como lo es el cizallamiento vertical del viento

Cualquiera que sea la causa la duplicación del PDI en ese registro debe ser una preocupación ya que es una medida del potencial destructivo de los ciclones. Por otra parte la mezcla superior de los océanos de los ciclones tropicales es un importante contribuyente a la circulación termohalina que es una hipótesis del autor. El calentamiento global debería traducirse en un aumento de la circulación y por tanto en un aumento de la entalpia (contenido de calor) de transporte oceánico en los trópicos.

El anterior artículo nos da a conocer un índice capaz de evaluar las pérdidas que un huracán puede traer dependiente al potencial de energía disipada del mismo. Se comparan TSM en Atlántico y Pacífico con su PDI, dando como resultado aumento de la intensidad de los huracanes, cabe señalar que los datos que se usaron para este estudio fueron hasta 2005.

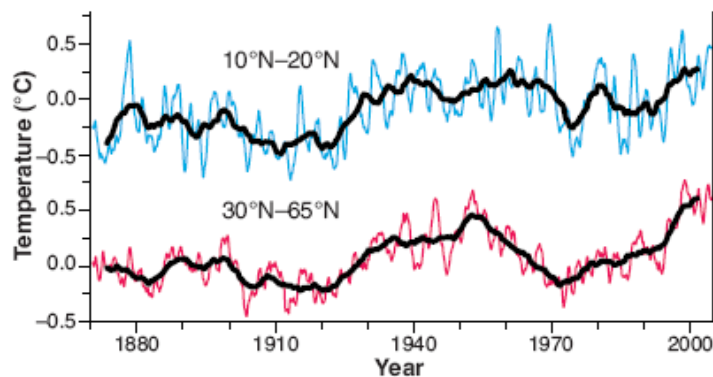
### **5.3 Referencias artículo Mark A. Saunders y Adam S. Lea "UNCERTAINTY IN HURRICANES AND GLOBAL WARMING" Kevin Trenberth**

Durante la temporada de huracanes del 2004 en el Atlántico norte, 4 huracanes azotaron a Florida, al mismo tiempo en el Pacífico 10 ciclones tropicales o tifones golpearon a Japón. Algunos de estos aumentos en tormentas tropicales se atribuyen al calentamiento global, pero otros dicen que no tienen nada que ver. En las estadísticas existen hipótesis nulas donde se confirman que no hay evidencia para aprobar lo contrario, pero la aceptación de una hipótesis nula no quiere decir que no

haya ninguna tendencia, solo que no puede ser probada a partir de los datos y que puede ser necesario utilizar mejores y mayores datos.

Asociados con pruebas estadísticas, es también vital lograr una comprensión física de los cambios en la actividad de huracanes y sus orígenes. El huracán se produce como una actividad general en los océanos situados en regiones en la que las temperaturas de la superficie del mar son mayores a 26°C. En el Atlántico la TSM y los huracanes varían ampliamente sobre escalas de tiempo multidecadal e interanuales. Uno de los factores de año tras año es la variabilidad de El Niño/La Niña: los huracanes en el Atlántico son reprimidos cuando El Niño está en el Pacífico. La variabilidad decadal se piensa está asociada a la circulación termohalina (circulación convectiva que afecta de modo global al conjunto de las masas de agua oceánicas), conocida como Oscilación del Atlántico Multidecadal. Esta afecta el número de huracanes, formando los principales tormentas tropicales (Atlántico y Mar Caribe).

Además de la variabilidad Interanual y Multidecadal, la tendencia en cuanto al aumento de la TSM durante el siglo XX no es lineal. Esta tendencia es más pronunciada para los últimos 35 años en el Atlántico norte (figura 5.6). Este calentamiento se ha asociado a la actividad humana. En el Atlántico norte tropical (región de más relevancia en ocurrencia de huracanes) la variabilidad multidecadal domina la TSM, pero en el periodo comprendido entre 1994 y 2004 el promedio decadal es no obstante, la más alta por >1C no está pronunciado, esto probablemente se deba al extratropical Atlántico norte.



**Getting warmer.** Annual mean SST anomalies relative to 1961 to 1990 (23) for 1870 to 2004, averaged over the tropical Atlantic (10°N to 20°N, excluding the Caribbean west of 80°W) (top) and the extratropical North Atlantic (30°N to 65°N) (bottom). Heavy lines are 10-year running means.

Figura 5.6 Calentamiento de la TSM (Trenberth K., 2005)

Por otro lado la TSM no es la única variable importante que afecta a los huracanes. Otros factores que han influido en el aumento de la actividad de los huracanes en la última década incluyen la amplificación de altas presiones en la cresta de la troposfera superior en todo el Atlántico norte y oriental, viento de cizallamiento vertical, vientos atmosféricos en África oriental que favorecen el desarrollo de los huracanes y la estabilidad de la atmósfera.

Las altas TSM son asociadas con el aumento del vapor de agua en la troposfera baja. Desde 1988 la cantidad total de vapor de columna de agua sobre el océano ha aumentado en un 1.3% por

década, la variabilidad y las tendencias de vapor de agua son relacionadas con anomalías en la TSM. Este comportamiento es similar a lo esperado teóricamente y apoyado en modelos de proyecciones sugieren que la humedad relativa se mantiene casi en el mismo aumento que la TSM. Ambos incrementos aumentan la energía disponible para la convección de la atmósfera, como tormentas eléctricas y el desarrollo de ciclones tropicales. Sin embargo, la energía potencial convectiva disponible es también afectada por grandes cantidades de aire que aumentan la estabilidad y la sequedad de la atmósfera y que se asocia con el cizallamiento del viento en toda la troposfera. El potencial disponible de energía convectiva parece haber aumentado desde 1958 a 1997, lo que debería aumentar las posibilidades de una mayor convección húmeda y por tanto más huracanes.

Una medida importante de la actividad regional acumulada de energía de ciclones es el índice ACE. Desde 1995 los índices de ACE, todos menos dos temporadas de huracanes para el Atlántico han estado por encima de lo normal, las excepciones son los años de El Niño 1997 y 2002. Según la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), la temporada de los huracanes entre 1994 al 2004 fueron en promedio un 13.6 tormentas tropicales, 7.8 huracanes y 3.8 de grandes huracanes, con un índice ACE de 169% en promedio. En cambio la temporada de huracanes de 1970 al 1994 (25 años anteriores) sus promedios fueron de 8.6 tormentas tropicales, 5 huracanes y 1.5 grandes huracanes y 70% ACE. En el 2004 el ACE alcanzó el tercer valor más alto desde 1950, hubo 15 tormentas incluidos 9 huracanes.

A pesar del aumento en la actividad no existe ninguna base teórica sólida que pueda llegar a la conclusión acerca de que el calentamiento global sea el culpable de estos cambios, lo que se puede afirmar es que los cambios ambientales que se están llevando a cabo favorecen una mayor convección y por tanto más tormentas eléctricas. Pero para obtener huracanes estas tormentas deben ser primero tormentas tropicales. Modelos de proyección de vientos cortantes en regiones de huracanes responden al calentamiento global causado por el aumento de dióxido de carbono en la atmósfera tienden a diferir. Todavía no es posible decir como el fenómeno de El Niño y otros factores afecten a la formación de huracanes a medida que el mundo se vaya calentando. Sin embargo, una vez que una tormenta tropical se ha formado, el cambio en las condiciones ambientales proporciona más energía para alimentar una tormenta, sugiriendo más intensidad con lluvias más pesadas. Groisman no ha encontrado estadísticamente pruebas importantes de que la precipitación está asociada al aumento de los huracanes a lo largo de la costa contigua a los EE.UU. en el siglo XX, sin embargo su análisis no incluye años después del 2000, y ahí existe una clara evidencia de aumento de precipitaciones después del huracán de 1995. Groisman encontró una tendencia lineal al alza en la cantidad de precipitación de 7% en el siglo XX, aumento de precipitación (la más alta de 5%) y muy alta (la mayor de 1%) fueron mucho mayores que 14 y 20%, respectivamente.

La variabilidad es grande, las tendencias asociadas a la influencia humana son evidentes en el entorno de los huracanes y sugieren que la intensidad de las precipitaciones y huracanes están aumentando, aunque este aumento no puede ser probado de forma estadística. Los resultados del modelo sugieren un cambio en la intensidad de los huracanes hacia huracanes más extremos. El hecho de que los huracanes hayan aumentado en el Atlántico no es una garantía de que la tendencia continúe, debido a la necesidad de condiciones favorables para permitir condiciones de vorticidad. La capacidad de predecir esos aspectos requiere una comprensión y una proyección del cambio en clima regional, en particular de las cuencas oceánicas tropicales. Por ahora el desarrollo social y económico de zonas, se ponen en evidente peligro con la ocurrencia de huracanes. La clave científica es no demostrar que el número de huracanes ha aumentado si no como están cambiando. En conclusión estos artículos no dejan de ser modelos que aunque demuestren que



hay relación de TSM con huracanes, no existe una evidencia estadística que compruebe dichas teorías.

#### 5.4 Referencias artículo Mark A. Saunders y Adam S. Lea "HURRICANES AND GLOBAL WARMING" Landsea C.W.

Este artículo es como una crítica al trabajo de Emanuel Kerry hacia los resultados y graficas obtenidas de estudios. Afirma que algunas de sus conclusiones no son válidas ya que en ellas se muestra y al mismo tiempo se concluyen cosas distintas, a continuación analizaremos estos puntos.

Emanuel demuestra una sorprendente relación entre la temperatura de la superficie del mar y el poder destructivo en el Atlántico y oeste del Pacífico. Una de las preguntas que este autor se plantea es el hecho de que sus observaciones no están correctas de acuerdo con los datos, ya que Emanuel utiliza una combinación bias-removal que no se justifica y, además de una investigación de las series de tiempo los ciclones tropicales no muestran la tendencia de aumento de la destructividad. Estos factores sólo indican que en lugar de ese sorprendente aumento en la actividad de los ciclones, este valor es igual o aun mayor que en el último periodo activo de la mitad del siglo XX.

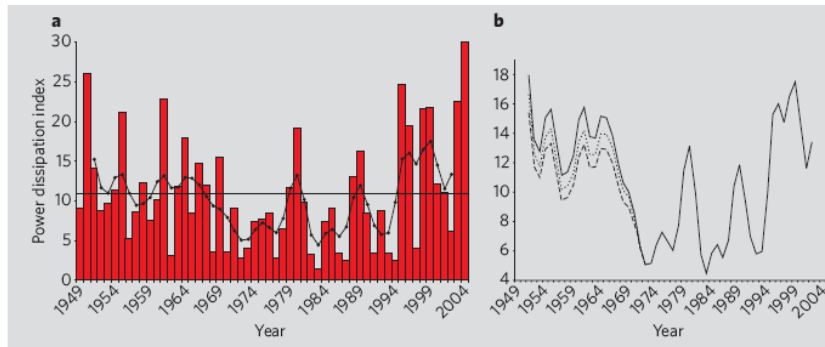


Figura 5.7. Índice PDI en los últimos 55 años.

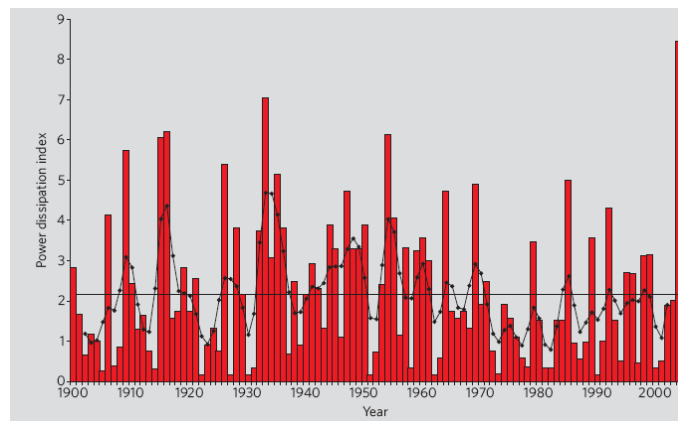


Figura 5.8. PDI continental de los EE.UU. en el momento de impacto para los años 1900-2004 (Landsea C., 2005)

Algunas de las graficas que Emanuel postula, Landsea menciona que hay inconsistencias o no coinciden con su descripción. La figura 5.7 y 5.8 presentan un suavizado de los datos del índice disipación de energía PDI con dos pases de filtro 1-2-1, pero en los puntos finales (donde es crucial para las conclusiones) en lugar de retener datos inalterados por el suavizado, importante porque los últimos datos dibujados en la grafica de Emanuel (figura 5.7) son mucho mayores que cualquier otra parte de la serie de tiempo. Incluso después de añadir los datos del año pasado en la temporada de huracanes al análisis y, a continuación, utilizando correctamente el filtro tal y como se describe, el punto final de la serie de tiempo ya suavizada ya no salta de manera tan sorprendente en el último par de años (figura 5.7a).

Una segunda observación es sobre lo que concierne a la combinación bias-removal usada para alterar los datos del Atlántico para 1946 a 1969. Emanuel pudo demostrar un sin precedente en la actividad de los huracanes en los pasados 10 años, solo reduciendo notablemente los vientos de los ciclones tropicales para las primeras dos décadas de la serie de tiempo. El intenta usar un suavizado que reduciría los vientos de 2.5 a 5 m/s para el periodo entre 1940 a 1960, a causa de una inconsistencia en la relación de presiones-viento durante esos años comparados con los subsecuentes (y presumiblemente más exactos) datos. Sin embargo la función utilizada por Emanuel para reducir los vientos fue más allá de las recomendaciones, con el suavizado bias-removal usado, se incremento a 12.2 m/s para la reducción de huracanes más fuertes en el periodo de tiempo 1949-1969.

En grandes huracanes, los vientos son substancialmente más fuertes en la superficie del océano, por lo que no es claro que los ciclones tropicales del Atlántico en la década de 1940 a 1960 se reduzcan en cuanto a las velocidades de viento. Esto se entiende ahora al ser físicamente razonable que la intensidad de los huracanes en el decenio de 1970 hasta principios del decenio de 1990 se haya subestimado, en lugar de la década de 1940 y 1960. Al examinar los cambios en intensidad sobre el tiempo, es por lo tanto mejor utilizar la base de datos original de los huracanes que aplicar un ajuste general de los datos en un intento por suavizar.

En la figura 5.7b se muestra la curva del suavizado con la combinación bias-removal y los valores de PDI sustancialmente grandes en los datos originales de huracanes; esos últimos indican las amplitudes para 1949-1969 son comparables con a los de la mayoría de los últimos 10 años. Estos son coherentes con anteriores trabajos, haciendo hincapié en la actividad de las oscilaciones multidecadales. También es probable que los valores de PDI de la década de los años 40's a la mitad de los años 60's no sean substancialmente muy confiables debido a la falta de rutina de los aviones de reconocimiento y vigilancia de los satélites geoestacionarios que registraban ciclones.

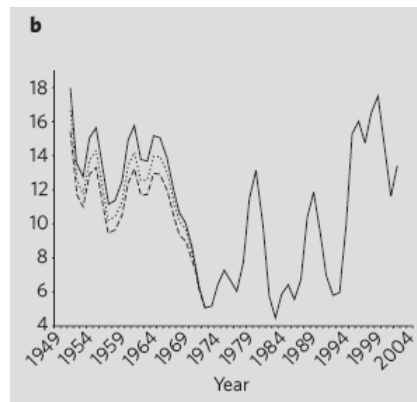


Figura 5.7. Índice PDI en los últimos 55 años (Landsea C., 2005)

Otra de las preocupaciones de Landsea con las conclusiones de Emanuel es en cuanto a lo difícil que es separar las señales antropogéneas de las oscilaciones naturales multidecadales con un relativamente corto historial de actividad ciclónica. Una manera de ampliar este análisis de PDI es volver a agregar varias décadas de registros fiables y examinar solamente los ciclones tropicales que llegaron a tierra a lo largo de las líneas de costa. A pesar de estos problemas vistos y planteados por Landsea, el estudio de Emanuel pone de manifiesto la conclusión del re-análisis de las tormentas de la base de datos del Atlántico, que proporcionaría una mayor homogeneidad de las series de tiempo de la intensidad de los ciclones tropicales y así evitar la aplicación de métodos de suavización de datos.

En resumen este artículo muestra que en vez de un aumento “sin precedentes” de la intensidad de los huracanes, solo se ha visto un aumento y en algunas ocasiones menos activas que en ciclos anteriores de la actividad. Se menciona que estos daños fueron suavizados y filtrados y que así pierden mucha información valiosa. Hay que hacer notar que estos documentos solo contienen resultados y conclusiones basados en datos hasta el 2005 donde evidentemente ocurrieron huracanes que fueron desastrosos para EE.UU. como Katrina, así que no se tienen registros de los últimos años donde se ha visto que no ha vuelto a incrementarse ni en intensidad ni en frecuencia los huracanes. Se deberían trabajar con datos más actuales para ver si este aumento mencionado existe todavía.

## ANEXO 6

### U.S. AND CARIBBEAN HURRICANE ACTIVITY RATES THE NEW RMS MEDIUM-TERM PERSPECTIVE AND IMPLICATIONS FOR INDUSTRY LOSS MARZO 2006

#### 6.1 Introducción

En mayo de 2006, se dio a conocer los modelos actualizados de la RMS (RiskLink y RiskBrowser) de huracanes para el Golfo y la costa Atlántica de los Estados Unidos, las islas del Caribe, y las plataformas de energía en el Golfo de México. Estas actualizaciones reflejan las lecciones aprendidas como resultado de la actividad de huracanes del 2004 y 2005, incluidos los avances en la evaluación de la vulnerabilidad, las mejoras en los modelos de marejadas, un planteamiento más global de la metodología para evaluar la pérdida de amplificación, y una nueva visión sobre las tasas de actividad de los huracanes en tierra.

Este documento es el único destinado a describir los fundamentos, metodología, y las consecuencias de estos cambios, la inclusión de una nueva comprensión en las tasas de actividad de huracanes que tocan tierra. Al hacer estos cambios, el modelo RMS ofrece una visión del riesgo a cinco años, más largo que el plazo de referencia histórico (1900-2005).

La actividad de los huracanes en el Atlántico se ha mantenido alta desde 1995 (con excepción de los años de El Niño). En el 2004 y 2005, la actividad alta de huracanes que tocaron tierra en la cuenca de EE.UU. y sus pérdidas fueron experimentadas por el sector de los seguros. Con fuertes indicios de que las tasas fueran superiores a la media de la actividad es probable que persistan durante al menos una década mas, ya no es necesario emplear a largo plazo modelos históricos de referencia para la caracterización a mediano plazo en las tasas de catástrofe de actividad de huracanes (Cat). Reconociendo que el plazo histórico de referencia ya no es la mejor medida de la actividad actual es necesario también ser más explícitos sobre el horizonte temporal del modelo Cat de proyecciones de tasas de actividad de huracanes.

En la elaboración del nuevo plazo de cinco años sobre el riesgo de los huracanes, el RMS ha tomado a un abogado representante del sector de los seguros en la determinación del futuro modelo de producción. En octubre del 2005, RMS pidió una reunión de expertos (cuatro climatólogos) para llegar a un consenso de previsiones a medio plazo sobre la actividad de los huracanes que tocan tierra en la cuenca del Atlántico, en EE.UU. y el Caribe. Para los EE.UU., la perspectiva a mediano plazo representa un incremento del 20% en la categoría 1 a 2 de Saffir-Simpson, y más de un 30% en la categoría 3-5 en relación con una referencia histórica 1900 a 2005. Este punto de vista sobre las tasas de actividad de huracanes se ha puesto en práctica dentro de los EE.UU., el Caribe y de las plataformas cercanas a la costa de los modelos RiskLink y RiskBrowser, sobre la base de RMS (huracán tipo), región geográfica y de la escala Saffir-Simpson.

El impacto de estos cambios en las tasas de actividad de huracanes aumentaran las pérdidas anuales promedio (AALs) en aproximadamente un 40% de la media en toda la Costa del Golfo, Florida, y el Sudeste, y de 25 a 30% en el Atlántico Nordeste y las regiones costeras. Cuando se compara con los datos históricos pre-2004, como ha sido previamente utilizado para la cuantificación de los riesgos de seguros, los incrementos en el modelo anualizado de pérdidas están más cerca de un 50% en el Golfo, Florida y el Sureste.

Se ha producido un notable aumento en la actividad de los huracanes en la cuenca del Atlántico desde 1995. En relación con la media de la baja actividad del período 1970-1994, el número total de huracanes ha aumentado en más del 60% y el número de los huracanes intensos de categoría 3 a 5 en más de un 150%. Si bien el aumento en relación con el plazo histórico referente a la actividad es inferior a la mitad de estas cifras, desde 1995 la cuenca no sólo ha sido más activa, sino en una mayor proporción de huracanes. El paso de una baja actividad a un régimen de actividad elevada ha sido considerado como resultado de una oscilación cíclica, variaciones climatológicas multi-decadales, impulsadas principalmente por las temperaturas en la superficie del mar en la zona ecuatorial del Atlántico Norte. También se han sugerido que estas teorías científicas sobre las temperaturas en la superficie del mar se ven afectadas por el cambio climático. Si bien la causa de una mayor actividad de huracanes es una fuente de debate científico, para consideraciones de riesgo en EE.UU. y el Caribe, la preocupación es entender cuál es la proporción del Atlántico en que los huracanes tocan tierra y en qué intensidad. Entre 1995 y 2003, en particular para los huracanes intensos de categoría 3 a 5, la mayor actividad en la cuenca, no se convirtió en aumento para los EE.UU. Hubo especulación de que los factores que condujeron a un aumento de la actividad mostraron una cierta correlación con una climatología que mantiene las tormentas en alta mar y que las debilita a medida que avanza hacia la tierra. En el 2004 y 2005 se terminó la temporada de huracanes en tierra, y más del 50% de categoría 3 a 5 de huracanes en la cuenca llegaron a tierra con esas intensidades.

## 6.2 Antecedentes para la comprensión de la variabilidad en el atlántico, EE.UU., y la actividad del Caribe

La formación de los huracanes en la cuenca Atlántica varía según la temporada y las escalas multi-decadales de tiempo. Se sabe a que el número de ciclos climatológicos pueden influir en esta actividad. Un ejemplo de esto es que la actividad de los huracanes en el Atlántico se ve influenciada por las fases del fenómeno del El Niño Oscilación Sur (ENOS). Durante la fase cálida (El Niño), la actividad en el Atlántico es generalmente reducida, la cizalladura del viento (diferencia entre el nivel superior e inferior de los vientos), en particular los aumentos en el Atlántico tropical y el Golfo de México. Durante la fase fría (La Niña), inferior a la media del viento cortante ayuda a crear más condiciones favorables para los huracanes (formación e intensificación). La Oscilación del Atlántico Norte (OAN) influye en la distribución estacional de los huracanes. No son limitadas las habilidades en la previsión de la fase y la amplitud de estas oscilaciones, por lo tanto, se hace difícil su uso para las solicitudes de los seguros.

La actividad de los huracanes ha sido establecida como una variabilidad presentada en largas escalas de tiempo. Goldenberg et al. (Science, 2001) ofrece un resumen de las pruebas sobre la actividad de las oscilaciones multi-decadales en los huracanes del Atlántico, vinculados a la Oscilación Atlántico Multi-Decadal (AMO). El AMO refleja un patrón de temperatura superficial del mar (TSM) en el Atlántico que también ha variado en escalas de tiempo. El caso de los ciclos multi-decadales en la actividad de los huracanes se basa en la equivalencia entre el período actual y el último período de alta actividad que culminó en 1950, así como el grado en que los anteriores ciclos de alta actividad de tormentas y de alta intensidad pueden ser detectados. El argumento de la AMO como una de las causas principales de la actividad de huracanes (ciclo 2005) impugnado por dos estudios que se centraron en las pruebas de una tendencia en las tasas de actividad. Investigaciones hechas por Emanuel (Nature, 2005) puso de manifiesto que el poder de 'destrucción' de los huracanes del Atlántico (definido como el cubo de la velocidad máxima del viento integrada a lo largo de la vida de la tormenta) ha aumentado en los últimos 30 años, de forma compatible con el aumento de TSM en el Atlántico tropical durante el mismo período. Emanuel también mostró que el último período de alta actividad ha alcanzado los registros acumulativos de TSM y la energía de disipación en comparación con la década de 1950. Un estudio paralelo de Webster et al. (Science, 2005) documentó un importante aumento global en la

proporción de ciclones tropicales que alcanzó la categoría más alta 4 a 5, vinculados a los cambios en TSM tropicales. Ambos estudios También hacen referencia que el aumento de TSM parece estar estrechamente vinculada con el calentamiento global.

Los climatólogos dan prioridad a la teoría de la AMO, así como los que ven una evidencia en las tendencias climáticas, están de acuerdo en que la cuenca del Atlántico probablemente siga siendo muy activa para la próxima década o más. La figura 6.1 muestra un período de cinco años (1950 a 2005) de la actividad de categoría huracanes categorías 3 al 5 y la proporción de los huracanes que llegan a tierra en EE.UU. (categorías 3 al 5). Durante ese período, las categorías 3 al 5 en la cuenca han tenido un período activo (1950 y 1960), luego pasa a una baja actividad (1970 y 1980), antes de regresar a una actividad alta desde 1995. En promedio, alrededor del 25% de los huracanes categorías del 3 al 5 en EE.UU. tocan tierra con una intensidad de igual. Esta proporción se ha vuelto cada vez más inestable, con un número bajo de categorías 3 a 5 que tocan en tierra en los EE.UU desde 1995-2003, mientras que este número fue alto entre 2004 y 2005. Entre 1995 y 2003, una serie de tormentas intensas (Floyd 1999, Isabel de 2003, por ejemplo), ha presentado un debilitamiento importante cuando estas se acercan a la costa. RMS espera que con el tiempo, la proporción de huracanes categorías 3 al 5 que tocan tierra en EE.UU. este en un rango a largo plazo de 20 a 30%.

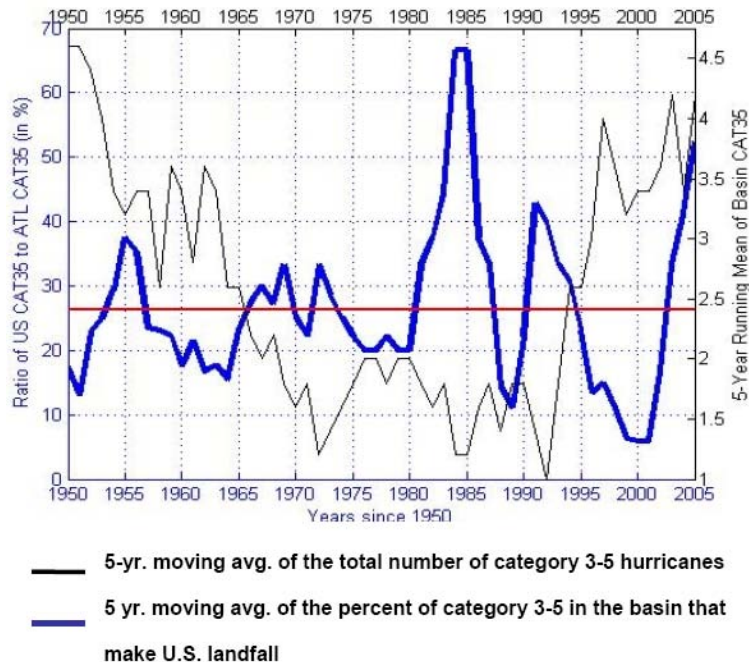


Figura 6.1 Promedio de cinco años de los huracanes categorías 3 al 5 en el Atlántico (negro línea) y la relación de los huracanes categoría 3 al 5 que han tocado tierra en EE.UU. (línea azul) desde 1950. La línea roja marca el promedio de huracanes categorías 3 al 5 que han tocado tierra en la cuenca del Atlántico de los EE.UU. en este período (Risk Management Solutions, 2006)

### 6.3 El paso a una perspectiva de mediano plazo en las tasas de actividad

Dada una constante climatológica (o una variación anual de ese estado en un periodo de corta duración e impredecible) la tasa de actividad en un modelo de catástrofe puede ser representada

mejor como la media a largo plazo de la historia. En esta situación, no es necesaria para caracterizar el período durante el cual la actividad se considera que se aplique pues, con los conocimientos actuales, se espera que la tasa continúe indefinidamente. La suposición de que la actividad es constante se rompe, sin embargo, donde hay fluctuaciones ya sea de varios años de actividad o de persistencia en tendencias. A continuación, se convierte en necesario para caracterizar el período de tiempo durante el cual la actividad en el modelo Cat se aplique.

Para determinar cuál debe ser el límite de riesgo explícito de un modelo Cat RMS, las opiniones de un amplio sector de los seguros utilizan y aplican los resultados de modelos para encontrar la duración durante el cual se busca caracterizar el riesgo. Además, un de plazo de cinco años en la perspectiva de muchas empresas se podría introducir para permitir la estabilidad de precios que ayudaran a mantener buenas relaciones con los clientes sobre la volatilidad de las temporadas. Sobre esta base, una perspectiva de cinco años es seleccionada como la visión de un futuro horizonte temporal. A partir de mayo del 2006, este se convertirá en el nuevo horizonte temporal y mejores modelos de catástrofes, en el caso de RMS. Actualmente, a mediano plazo la perspectiva que utiliza en el RMS en la metodología de las tasas también se aplica terremotos en varios países. Este verano, RMS dará a conocer en Alemania un modelo de inundación que incorpora las tendencias en temperatura y precipitaciones de cinco años de riesgos de inundación.

En el transcurso de los últimos 18 meses, climatólogos del RSM han llevado a cabo extensas investigaciones sobre todos los aspectos del Atlántico, EE.UU., y el Caribe en materia de la actividad de los huracanes para desarrollar una base de conocimiento sobre la forma anual e inter-anual en que las actividades han variado de intensidad y de región. Dada la crítica de financieros y el impacto de las normativas en la evaluación de mediano plazo en las tasas de actividad, se decidió construir un consenso científico para reunir a cuatro destacados expertos en huracanes en octubre de 2005.

#### **6.4 Obtención de expertos y período de sesiones**

##### ***Antecedentes sobre el proceso de obtención***

Se han desarrollado métodos dentro una decisión de poder recabar la opinión de expertos de forma sistemática y auditable. Un eficaz y eficiente método consiste en conferencias de expertos en las que las cuestiones científicas se pueden presentar, las diferencias individuales en las sentencias son examinadas y exploradas. Aun cuando las personas pueden llegar a la reunión con opiniones divergentes, la oportunidad de debatir el caso y explicar las ventajas de diferentes conjuntos de datos, puede permitirles llegar a una serie de decisiones en grupo que reflejen ideas y perspectivas sobre el tema.

En el contexto de la evaluación a medio plazo del riesgo de los huracanes en tierra en EE.UU., hay dos razones principales para la organización de este tipo de período de sesiones:

1. Los registros históricos de la cuenca del Atlántico son relativamente cortos y, en general, se consideran incompletos antes de 1945 (incluso antes de 1900, los registros de EE.UU. parecen incompletos sobre su intensidad, sobre todo en subestimar la categoría de algunos huracanes más pequeños). Aproximadamente 183 tormentas de categoría 1 al 5 se sabe que han chocado con tierra en EE.UU. entre 1900 y 2005, de los cuales alrededor del 40% se encontraban en la categoría 3 al 5. Los datos, por lo tanto, son escasos, sobre todo para evaluar la actividad de las categorías 3 al 5 y su distribución regional.



- Existen dos teorías diferentes (cíclico y tendencia) para explicar el actual período de alta actividad. Con pruebas suficientes para confirmar la teoría, ya sea, un híbrido de ambos, la teoría que sustentan no pueda ser resuelta a partir de observaciones históricas solamente.

### 6.5 Obtención de mesa redonda

La primera sesión sobre la actividad de los huracanes se llevó a cabo en Bermudas el 15 de octubre del 2005. Los siguientes expertos en meteorología de ciclones tropicales y el clima se presentan en esta reunión:

**El profesor Jim Elsner (Florida State University)** – Experto en climatología de ciclones tropicales, bien conocido por sus estudios sobre los mecanismos de control anual de frecuencias en huracanes y sus orígenes. El profesor Elsner ha escrito numerosos documentos sobre El Niño y La Niña, la AMO y la influencia de la Oscilación del Atlántico Norte en las actividades de huracanes y su regionalización.

**El profesor Kerry Emanuel (MIT)** - Expertos en la dinámica de los ciclones tropicales, termodinámica, y climatología. El profesor Emanuel es mejor conocido por su trabajo sobre el máximo potencial de intensidad de los ciclones tropicales 2005 y su papel en las pruebas de un aumento en la destructividad de los huracanes.

**Tom Knutson (NOAA / GFDL)** - Expertos en el modelado de climas y el efecto potencial a nivel mundial de las concentraciones de gases de efecto invernadero sobre la actividad, intensidad y lluvia de los ciclones tropicales. Tom Knutson ha escrito varios documentos claves que son ampliamente citados sobre los cambios en la intensidad de los huracanes en el siglo 21.

**Profesor Mark Saunders (University College London)** - Experto en la comprensión de los mecanismos que impulsan la actividad en la temporada de ciclones tropicales. Él mejor conocido por demostrar que el pronóstico estacional tiene suficiente habilidad para ser empleado a proyecto sobre la tendencia general de las pérdidas financieras que dejan los huracanes.

### 6.6 Información presentada por expertos

Los expertos presentaron exposiciones y bases de datos en relación con la actividad en la cuenca del Atlántico en, EE.UU., y en el Caribe, incluida una serie de tiempo anual de cinco años de la actividad para todos los huracanes categorías 1 al 5 y categoría 3 al 5 desde 1900 a 2005. La información básica sobre la forma en que la actividad es considerada por el modelo RSM EE.UU. fue también mostrada en el contexto de los debates, pero el proceso de toma de decisiones en torno a las tasas de actividad se mantuvo independiente de la detalles de RMS.

Las series de tiempo y promedios para la cuenca Atlántica se obtuvieron a partir de los registros del HURDAT, mantenida por el Centro Nacional de Huracanes (NHC) (<http://www.nhc.noaa.gov>). A pesar de que los datos abarcan un período de tiempo comprendido entre 1851 y 2005, los expertos afirmaron que, antes de 1946, cuando el reconocimiento de vuelos comenzó, los registros son considerados incompletos y, por tanto, no pueden ser empleados para la estadística en las tasas de actividad. Para la evaluación de la actividad media en la cuenca, se decidió utilizar únicamente los datos de 1950. La figura 6.2 muestra la serie de tiempo de la cuenca Atlántica para huracanes categorías 3 al 5 desde 1900 a 2005 con los 5 años de media móvil superpuesta.

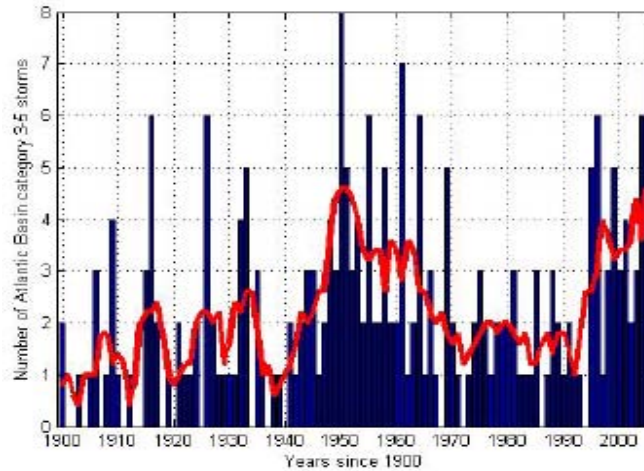


Figura 6.2 Número de huracanes del Atlántico categoría 3-5 entre 1900 y 2005 y cinco años de media móvil (Risk Management Solutions, 2006)

La lista de huracanes que tocan tierra para EE.UU. también se proporcionó. El conjunto de datos que mantiene la NOAA/NHC y derivados de la HURDAT, están disponibles a través del sitio web de la NHC o directamente en la NOAA (División de Investigación de Huracanes (HRD)). Se proporciono información sobre los huracanes entre 1851 y 2005 que afectaron a los EE.UU. La base de datos proporcionada contiene valores de viento de cada tormenta basados en la escala de categorías de Saffir-Simpson de un 1 minuto de vientos sostenidos en todos los estados de EE.UU. afectados por una tormenta.

La figura 6.3 muestra la serie de tiempo de las categorías 3 al 5 en los EE.UU. entre 1900 y 2005 con los 5 años de media móvil superpuestas.

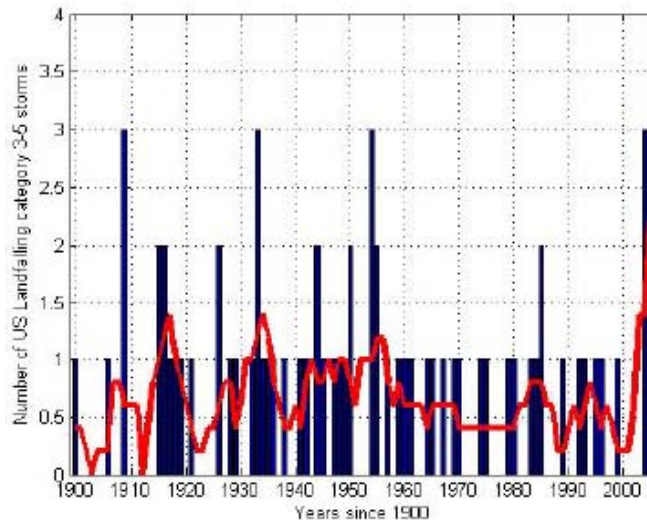


Figura 6.3 Número de huracanes en tierra en del atlántico en EE.UU. categoría 3-5 entre 1900 y 2005 y cinco años de media móvil (Risk Management Solutions, 2006)

A los expertos se les pidieron que abordaran y resolvieran las siguientes cuestiones:

- ¿Cuál es expectativa basada en la actividad de los huracanes categoría 1 al 5 y categoría 3 al 5 en la cuenca del Atlántico durante los próximos cinco años?
- ¿Cuál es la expectativa de la actividad para los huracanes categorías 1 al 5 y categoría 3 al 5 de los que tocan tierra en EE.UU. durante los próximos cinco años?
- ¿Durante cuánto tiempo podemos esperar que el reciente período de alta actividad de huracanes del Atlántico persista?
- ¿Cuál es la expectativa sobre la actividad de los huracanes categoría 1 al 5 y categoría 3 al 5 en Caribe durante los próximos cinco años?

Los expertos examinaron cada una de las preguntas durante una hora y luego de un consenso de opiniones se estableció entonces la respuesta para cada pregunta. Las principales conclusiones alcanzadas por los expertos fueron las siguientes:

- a. La actividad en la cuenca Atlántica para los próximos cinco años se espera que sea cerca de la media de los últimos 11 años. La probabilidad de que la actividad vuelva a los niveles correspondientes a largo plazo de referencia es pequeño en los próximos cinco años.
- b. Los altos niveles de actividad observada durante los últimos 11 años se espera que duren por lo menos otros 10 a 15 años.
- c. Las previsiones a mediano plazo de la actividad en la región del Caribe se espera que sea compatible con la perspectiva de la actividad desarrollada para la toda la cuenca.

RMS utiliza la información proporcionada por el grupo de expertos para aplicar los cinco años a las tasas de actividad en los modelos de huracanes tanto en los EE.UU. como para el Caribe.

#### **6.7 Actualizaciones anuales de los tipos de evento estocástico**

Con el fin de renovar anualmente el plazo de riesgo, RMS evaluará y actualizará las actividades para los próximos cinco años al final de cada temporada de huracanes. La creación de un periodo de sesiones se convocará a fin de solicitar una opinión sobre el consenso del panel de líderes sobre climatología tropical y meteorólogos, garantizando la estabilidad anual en los productos a través de la coherencia de los expertos en el panel y en la metodología empleada. Tras la finalización del desarrollo esperado de las tasas de actividad, si hay un cambio importante en los cinco años de riesgo, en el caso de las tasas RMS se actualizara. Esto podría reflejar a continuación:

- Cambio en las entradas/salidas de los planes anuales de los expertos en obtención de evaluación de los nuevos conocimientos científicos en investigación y la actividad durante la temporada adicionales
- El perfeccionamiento de la aplicación de la escala Saffir-Simpson, tipo de tormentas RMS, y regionalización de los huracanes de EE.UU. y el Caribe y de los huracanes que tocan tierra.

Paralelamente a este trabajo, los científicos RMS continuarán supervisando todos los aspectos de la ciencia relacionados con la climatología de huracanes y, en su caso proporcionara una orientación regular sobre temas relacionadas a la frecuencia de los huracanes que tocan tierra.



## ANEXO 7

### **SIMULATED REDUCTION IN ATLANTIC HURRICANE FREQUENCY UNDER TWENTY-FIRST-CENTURY WARMING CONDITIONS**

**Thomas R. Knutson, Joseph F. Sirutis, Stephen T. Garner, Gabriel A. Vecchi y Isaac M. Held  
Noaa/Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, Princeton, New Jersey 08542, USA**

Los modelos que simulan huracanes son necesarios para estudiar la influencia del calentamiento global en las temperaturas del océano Atlántico y la actividad de los huracanes, como complemento de los enfoques empíricos. Nuestro modelo climático regional de la cuenca Atlántica reproduce el incremento de los huracanes entre 1980 a 2006 observados en gran parte por su variabilidad interanual, debido al incremento de temperaturas en la superficie del mar junto con sus condiciones atmosféricas. Nuestros resultados no apoyan la idea de un gran aumento en las tendencias, ya sea en tormentas tropicales o frecuencia de huracanes impulsada por el aumento en las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

La temperatura de la superficie del mar (TSM o Sea Surface Temperature SST) ha aumentado durante el siglo pasado por causa de un probablemente origen antropogénico que ha contribuido a este calentamiento. Algunos investigadores han llegado a la conclusión de que el pasado periodo de calentamiento global causo un sustancial incremento en las tormentas del Atlántico durante el siglo XX. Esto ha sido argumentado por el índice potencial de daños en el Atlántico (Power Dissipation Index, PDI) en las pasadas décadas y que ha alcanzado altos niveles sin precedentes desde 1950 y que ha sido correlacionado con la baja frecuencia de la TSM del Atlántico tropical desde 1950 al presente. Dado el pronunciado aumento proyectado para el siglo XXI, la extrapolación de estos reportes sugieren un gran aumento en el futuro de la frecuencia de los huracanes en el Atlántico y de su PDI.

Nuevos modelos aportan importantes puntos de vista adicionales a este problema. Se ha desarrollado un nuevo marco de modelos regionales diseñados para la reducción de la actividad de los huracanes del Atlántico. En comparación con las actuales simulaciones, este modelo utiliza las TSM observadas y un análisis a gran escala de la atmósfera para los meses de agosto a octubre de 1980 a 2006.

En la figura 7.1a se muestra la simulación obtenida con la ayuda de dos versiones diferentes del modelo (modelo 1 y 2). La variabilidad de año por año en los huracanes del Atlántico (1980-2006) es reproducido por la media conjunta del modelo ( $r=0.84$ ), así como por el modelo 1 y 2 individualmente. La variabilidad de El Niño también está relacionada y reproducida. El modelo simula un incremento en el número de huracanes (1980-2006), aunque la tendencia es simular un 40% más del observado aumento (figura 7.1a)

Una limitación del modelo es que no simula huracanes tan intensos como los que se han observado (figura 1b). La presión mínima central de ~ 937 hPa y los vientos máximos de superficie de ~47 m/s son los más intensos simulados con el modelo contra 882 hPa y ~ 82 m/s máximos registrados en observaciones. Por lo tanto, los modelos de simulación de los índices están fuertemente influenciados por los huracanes intensos (PDI) y deben ser tratados con precaución. El conjunto produce un modelo con tendencia creciente de PDI (1980-2005), aunque un 25% más pequeño que el aumento observado. Para los huracanes importantes (utilizando un criterio de presión mínima <925), tanto el número medio como la creciente tendencia (1980-2005) del modelo son más grandes de lo que se observo a pesar de la variabilidad del modelo (correlación  $r=0.7$ ) con las observaciones.

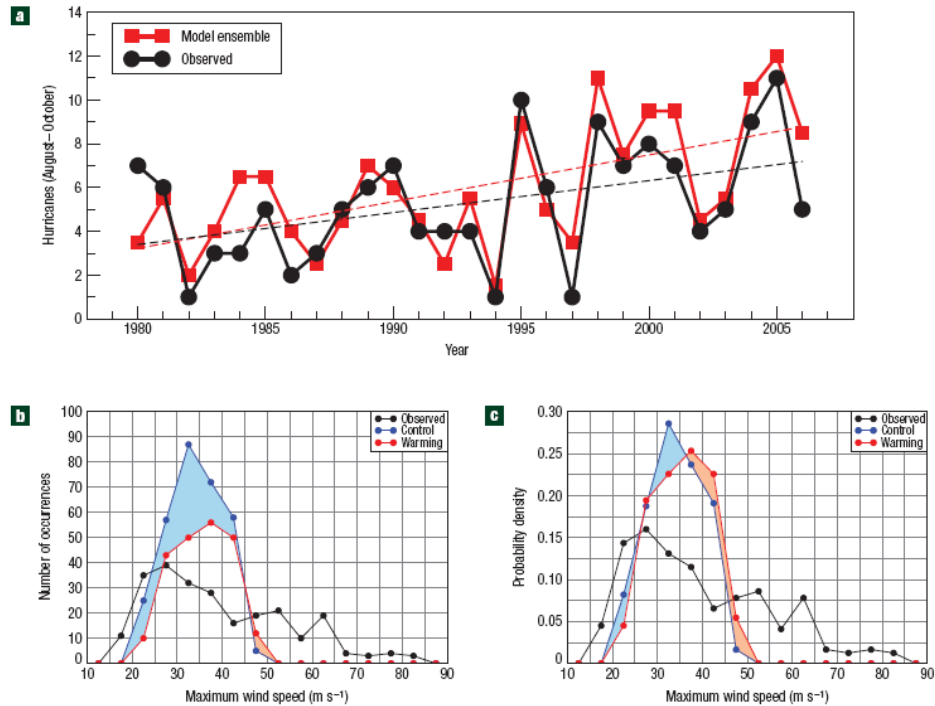


Figura 7.1. Modelo versus número de huracanes observados en el Atlántico y la distribución de las velocidades máximas de los ciclones (Knutson T., et al, 2008)

La figura 7.2 muestra las tormentas y huracanes (observadas y simuladas) para los últimos 10 años y años más activos. Se muestran los periodos activos (figura 7.2a, 7.2c y 7.2e) e inactivos (figura 7.2b, 7.2d y 7.2f) basados en lo observado durante 1980 a 2006. El color de las líneas se basa en cada una de las escalas según saffir-simpson (categorías 2 al 5). De las tormentas/huracanes de la figura 7.2a y 7.2b, se observan 52 tormentas y 130 huracanes y de la figura 7.2c y 7.2d 82 tormentas y 145 huracanes. En la figura 7.2e y 7.2f 58 tormentas y 109 huracanes con un clima mucho más cálido.

También se usó un modelo para estudiar la influencia de los futuros cambios climáticos en la actividad de los huracanes en el Atlántico. Se volvió a ejecutar la temporada comprendida entre agosto y octubre desde 1980 a 2006, manteniendo el diario multidecadal sin cambios, pero alterando la media atmosférica (agosto-octubre) y la TSM de finales del siglo XXI.

En el calentamiento climático, nuestro modelo genera substancialmente un menor número de tormentas tropicales (-27%) y huracanes (-18%) (figura 7.3). De la comparación de 27 temporadas de calentamiento climático y 22 temporadas de disminución, 3 tienen un incremento y 2 muestran que no ha habido cambios, por lo tanto la reducción en número es más pronunciada para las tormentas más débiles, pero las razones dinámicas de la frecuencia de tormentas sigue siendo aun objeto de investigación.

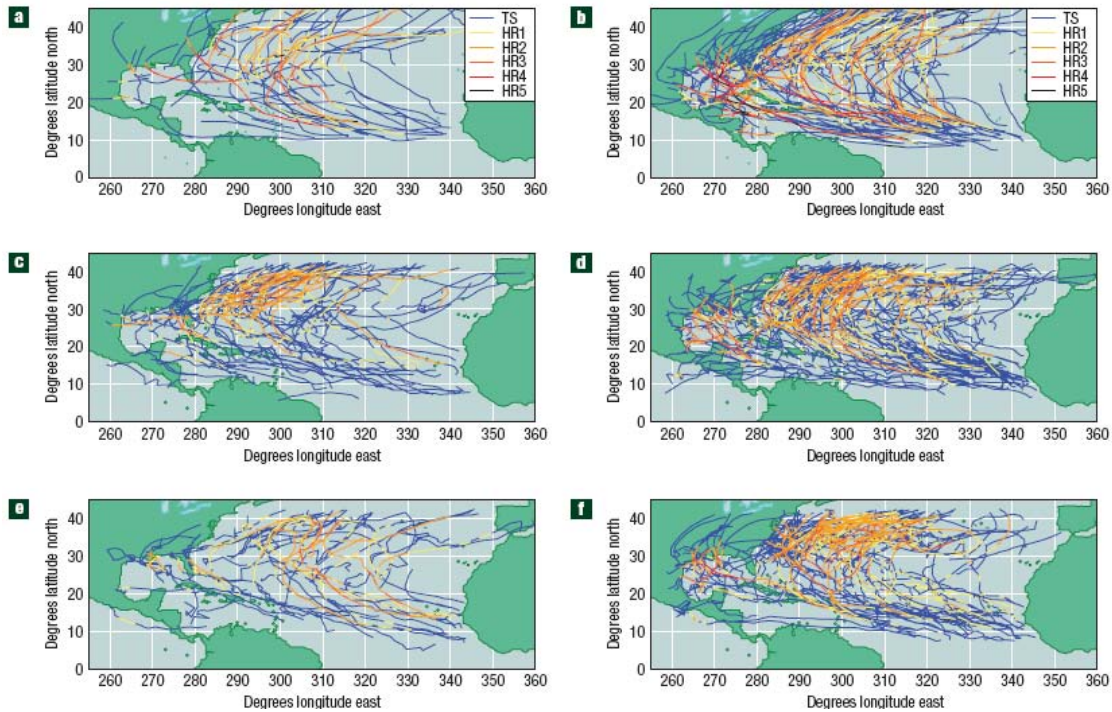


Figura 7.2 Pistas de las tormentas/ciclones tropicales (observados y simulados) para los últimos 10 años y los años más activos (Knutson T., et al, 2008)

De acuerdo a estudios anteriores, la frecuencia e intensidad de los huracanes mas fuertes simulada por el modelo presentan un aumento en la velocidad del viento de superficie (figura 7.3b y 7.3c) y presión central. Más del doble de los huracanes ocurren con velocidades del viento superiores a 45 m/s en el modelo de calentamiento global. La normalización de las distribuciones de frecuencia (figura 7.3c) muestran, por calentamiento del clima, un aumento del índice de incidencia relativa de todas las tormentas con vientos de alrededor de 35 m/s. la media máxima del viento aumenta ligeramente la velocidad, (+2.9%) para las tormentas tropicales y huracanes combinados y de 1.7% para los huracanes por si solos. Sin embargo, el PDI simulado disminuye aproximadamente en un 25%, debido a la disminución de las tormentas tropicales y la frecuencia de los huracanes.

Tanto la frecuencia como las intensidades de los huracanes con el modelo de control es muy difícil de predecir, los resultados relacionados con la simulación de tormentas intensas deben considerarse solo como una sugerencia.

Al igual que en estudios previos, no hay indicios de que la región del Atlántico y su formación de tormentas se expanda por la formación de gases de efecto invernadero. Las tormentas suelen desarrollarse en el modelo de control y en observaciones, con un exceso de alrededor 26C de aumento en la TSM. Este umbral de temperatura para la formación de tormentas tropicales es claramente dependiente del clima, y está estrechamente relacionada con la temperatura necesaria para la saturación parcial de la superficie boyante para dar respuesta a la tropopausa tropical.



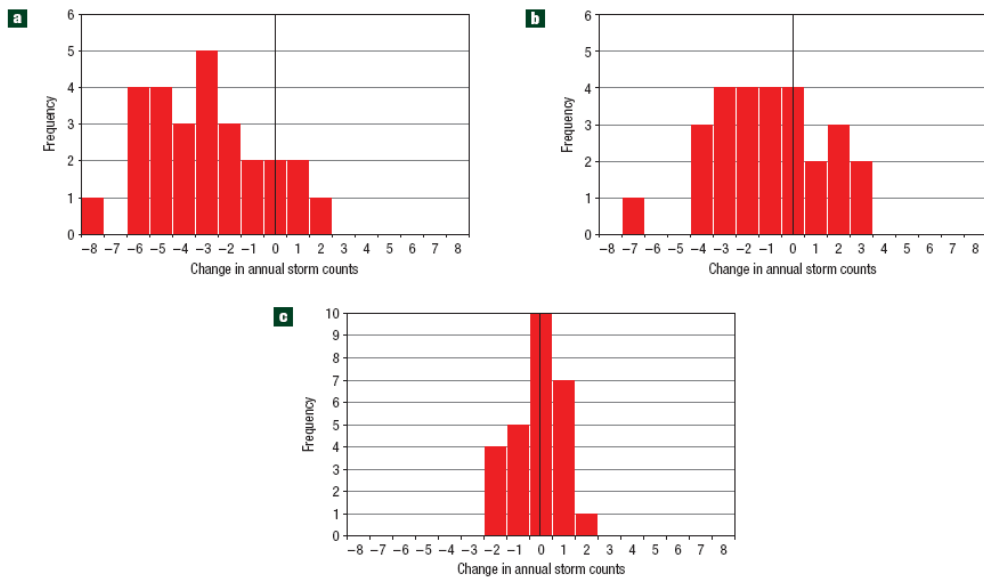


Figura 7.3 Frecuencia de distribución del cambio en tormentas por cada año simulado (Knutson T., et al, 2008)

La disminución en huracanes y tormentas es ligeramente más evidente en la zona occidental media de la cuenca. Esto es cualitativamente similar a los patrones de ocurrencia en las tendencias mostradas a fines de 1980. En consecuencia el número de huracanes que tocan tierra disminuyen más que los huracanes mismos (alrededor de 30% contra un 18%). Las incertidumbres en gran escala de las proyecciones del clima se traducen en las incertidumbres de las proyecciones de las tormentas de forma que a un no han sido cuantificadas.

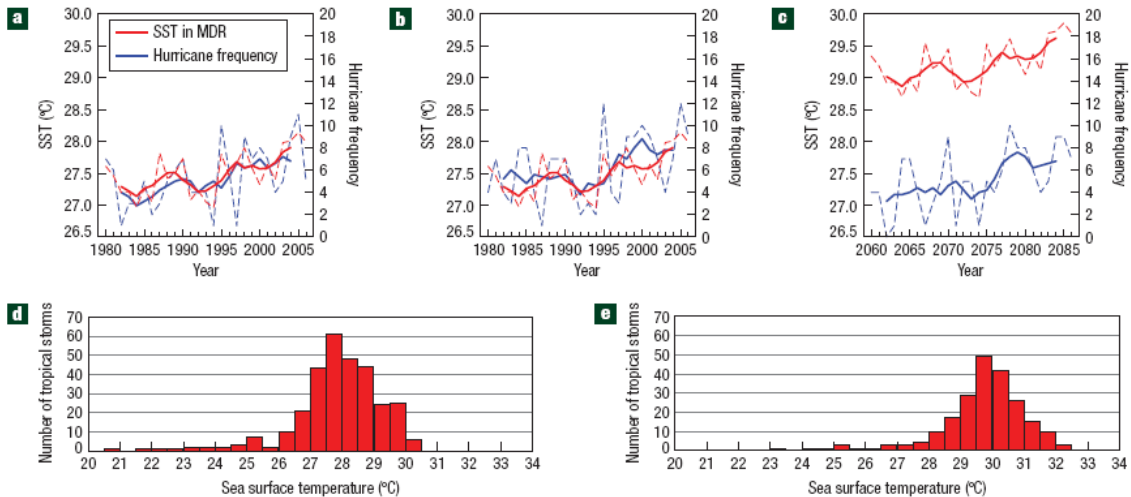


Figura 7.4 Simulación de tormentas/huracanes versus TSM (Knutson T., et al, 2008)

Una simulación de 13 temporadas muestra relativamente pocos cambios en las tormentas tropicales (-8%) y en huracanes (+7%), pero en una proporción relativamente grande de +70% en los principales huracanes. Esta sensibilidad de respuesta a los huracanes demuestra que los modelos de proyección del clima necesitan una mejor respuesta al incremento del CO<sub>2</sub> del clima regional.

Una limitación clave de nuestro modelo regional de reducción es que no simula los huracanes más intensos ni la fuerte dependencia del límite superior de intensidad en la TSM que se observa en el clima actual. Debido a estas limitaciones, es aceptable que las proyecciones del modelo cuantitativo de aumento de intensidades y frecuencia de tormentas con el cambio climático sea subestimada.

Nuestros resultados utilizando el conjunto de media global de las proyecciones de los modelos (figura 7.4) son incompatibles con las grandes tendencias en el aumento de tormentas y huracanes durante el siglo XX impulsados por el calentamiento global. En el siglo XX el calentamiento ha sido atribuido a los gases de efecto invernadero de modelos globales que son parecidos a los que estamos utilizando. Sin embargo, la problemática general del siglo XX es la atribución a otros factores (aerosoles, ozono en la estratosfera) que no tienen contrapartes directas con los principios de siglo y en los escenarios (A1B).

Esto no entra en conflicto con la hipótesis de que la baja frecuencia en la variabilidad de la actividad de los huracanes del Atlántico se deba a la TSM, pero si está en desacuerdo con la idea de que estas variaciones son principalmente determinadas por TSM locales en el Atlántico. Cuando el Atlántico norte se calienta más rápidamente que otras cuencas oceánicas, como se ha observado desde 1980, la evolución de los gradientes de TSM hacia el norte del Atlántico en la zona de convergencia intertropical, la reducción del viento de cizalla vertical, la reducción de la estabilidad de la troposfera y la termodinámica. A pesar de la importancia relativa de estos factores no es todavía muy clara. Sin embargo, durante el siglo XXI, el Atlántico norte tropical se prevé que se caliente más rápidamente que en otras regiones tropicales de acuerdo con los modelos, lo que implica condiciones que no favorecen el aumento de la génesis de las tormentas tropicales.

En resumen, nuestro modelo apoya la hipótesis de que el principal conductor de un reciente aumento en el número de huracanes del Atlántico es el calentamiento del Atlántico tropical en relación con las demás cuencas tropicales, en lugar de aumentos locales de TSM en el Atlántico tropical. La disminución en el Atlántico de tormentas tropicales y huracanes es simulada en el modelo en respuesta a un pronunciado aumento en la futura actividad de huracanes que podría ser proyectada utilizando un análisis estadístico basado solo en la última variabilidad de huracanes locales y mediciones de TSM.

## ANEXO 8

### 8.1 SEA SURFACE WARMING LEADS TO INCREASED ATLANTIC HURRICANE ACTIVITY

31 de Enero de 2008: 10:23

Post Magazine

Una nueva investigación trata de cuantificar el impacto del aumento en la temperatura de la superficie del mar en el Atlántico para ayudar a mejorar la comprensión de cómo estos cambios pueden afectar el riesgo de los huracanes, lo que permite a los aseguradores y reaseguradores gestionar mejor sus riesgos, ahora y en el futuro.

En un estudio publicado hoy en la prestigiosa revista científica Nature, el profesor Mark Saunders y el Dr. Adam Lea, se basan en la sensibilidad actual de los huracanes del Atlántico tropical al calentamiento de la superficie del mar mayor a 0,5C asociados con un 40% del aumento en la actividad y la frecuencia de los huracanes. También se comprobó que el calentamiento de la superficie del mar fue responsable de alrededor del 40% del aumento de la actividad de los huracanes del Atlántico (en relación con el promedio de 1950 a 2000) entre 1996 y 2005.

La investigación se centra en las tormentas que se forman en las regiones tropicales del Atlántico Norte y que representan el 85 y 90% de los huracanes que llegan a tierra en los Estados Unidos. El profesor Mark Saunders, Jefe del Weather and Climate Extremes en la UCL Hazard Research Centre y autor principal del estudio explicó la metodología detrás de la investigación: "Se utilizó un modelo estadístico basado en dos variables ambientales (temperatura local de la superficie del mar y el viento atmosférico sobre el terreno) que duplica un 75 a 80% de la varianza de la actividad de los huracanes en el Atlántico tropical entre 1965 a 2005. Al eliminar la influencia de los vientos se pudo valorar la contribución de la temperatura superficial del mar y se encontró que tiene un gran efecto".

Al comentar sobre las consecuencias más amplias del estudio, el profesor Saunders añadió; "Esta investigación es importante para ayudar a resolver la controversia de cómo el cambio climático tendrá un impacto en la frecuencia de los huracanes. Nuestro análisis no trata de determinar si los gases de efecto invernadero inducidos por el calentamiento global contribuyen al aumento de la temperatura en la superficie del mar. Pero es importante que los modelos climáticos sea capaces de reproducir la relación observada entre la actividad de los huracanes y la temperatura superficial del mar, a fin de mejorar su fiabilidad al modelo sobre cómo la actividad de los huracanes se verán afectados por el cambio climático. "

Paul Budde, ejecutivo Vice Presidente y Jefe de Desarrollo de Product Development and Applied Research Team en Benfield ReMetrics en los EE.UU., comentó: "Los ciclones tropicales son la causa más frecuente de pérdidas en el sector de los seguros. Investigaciones como la de Saunders y Lea cuantifican la relación de determinados factores ambientales sobre la actividad de huracanes, cuando se combinan con modelos de cambio climático, ayudan a la industria a comprender mejor lo que se podría hacerse frente a este futuro. "

Los primeros indicios apuntan a que la actividad de la temporada de huracanes del 2008 en el Atlántico y la cuenca de los EE.UU. estará un 50% por encima de la norma entre 1950 y 2007.

### 8.2 WARMER SEAS BOOSTED HURRICANE FREQUENCY BY 40 PERCENT: STUDY

30 Enero 2008

Agence France Presse

PARIS, 30 de enero del 2008 (AFP)

El calentamiento del mar representa el 40% de un dramático aumento de los huracanes de mediados del decenio de 1990, según un estudio dado a conocer el jueves por la revista británica Nature. El documento (el primero en calcular la contribución exacta de la temperatura del mar en la frecuencia de huracanes) podría ser una contribución importante a los científicos que luchan por comprender los impactos del calentamiento global.

Los investigadores británicos Mark Saunders y Adam Lea del Benfield Hazard Research UCL Centro de la Universidad de Londres, estudiaron anualmente los datos meteorológicos de los huracanes

entre 1965 y 2005 de EE.UU. y los compararon con la media de estos 50 años. Se observó que en más de la mitad del siglo, había alrededor de 6 huracanes por año en promedio, aproximadamente la mitad de ellos huracanes intensos. Sin embargo, para los 10 años transcurridos entre 1996 y 2005, el recuento se elevó a alrededor de 8 huracanes por año, de los cuales 4 fueron intensos.

Los huracanes que llegan a tierra en los Estados Unidos también se hicieron más frecuentes uno cada tres años, más o menos, estadísticamente hablando. Después de despejar la función de la energía eólica en la generación de huracanes, los investigadores calcularon un aumento de 0,5 grados Celsius (0,9 grados Fahrenheit) responsable de alrededor del 40% del aumento de la actividad de los huracanes. Saunders dijo a la AFP que los resultados podrían ser de gran ayuda a los modeladores para tratar de entender si el calentamiento global podría intensificar los huracanes, un escenario que se ha trabajado por parte de muchos expertos, pero que sigue presentando muchas incógnitas. Sin embargo, advirtió contra las declaraciones sobre el aumento en 3 o 4 veces la actividad de los huracanes según las predicciones del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC), de acuerdo a un aumento en la temperatura mundial para 2100, se podría hacer realidad.

*"La extrapolación del supuesto de que el viento de cizalla vertical se mantendrá constante, mientras que algunos modelos sugieren que va a subir. Esto significaría que el viento de cizalla vertical tendría un efecto reprimido, contrarrestado por el aumento de altas temperaturas",* explicó.

Tampoco es un determinante dijo Saunders, que en el futuro un fuerte aumento en la temperatura del mar pueda generar tanto poder a un huracán, como ocurrió desde mediados de los años 90. "Podría ser que en la actualidad estamos cerca del umbral (temperatura) para la generación de huracanes", dijo Saunders. "Podría ser que las aguas del mar fueran más cálidas, tal vez la sensibilidad al calentamiento podría disminuir. Los científicos simplemente no saben la respuesta a esta manera u otra."

Los oceanógrafos a veces tienen un "controversial" debate sobre el impacto del calentamiento global sobre los huracanes, dijo Saunders. Algunos dicen que el aumento de los huracanes a fines del siglo pasado pudo ser debido a las aguas cálidas del mar. Otros dicen que es un error o muy prematuro culpar a la interferencia humana en el sistema climático. Ellos dicen que hay ciclos naturales de los huracanes y que los datos no son fiables – datos confiables desde 1960 por satélites meteorológicos – y que es demasiado pronto para tener esto en cuenta.

El año pasado, las Naciones Unidas del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) señalaron que es muy "probable" que los ciclones tropicales que se hagan más intensos en este siglo. Las tormentas podrían presentar vientos pico y las lluvias muy fuertes.

La década comprendida entre 1996 y 2005 culminó con el huracán Katrina, la tormenta más devastadora de los Estados Unidos. Sin embargo, el 2006 fue más tranquilo, y el 2007 fue inusualmente tranquilo. El año pasado, la temperatura del mar en el Atlántico tropical estuvo incluso ligeramente por debajo de la norma.

### **8.3 BENFIELD RESEARCH QUANTIFIES INFLUENCE OF SEA SURFACE TEMPERATURES ON HURRICANE ACTIVITY**

**30 Enero 2008**

**Canadá Business News Network**

El profesor Mark Saunders, Jefe del Weather and Climate Extremes en la UCL Hazard Research Centre y autor principal del estudio explicó la metodología detrás de la investigación: "Se utilizó un modelo estadístico basado en dos variables ambientales (temperatura local de la superficie del mar y viento atmosférico sobre el terreno) que duplica un 75 a 80% la varianza de la actividad de los huracanes en el Atlántico tropical entre 1965 y 2005. Al eliminar la influencia de los vientos se pudo valorar la contribución de la temperatura superficial del mar y se encontró que tiene un gran efecto".

"Esta investigación es importante para ayudar a resolver la controversia acerca de cómo el cambio climático podría afectar la frecuencia de impacto de los huracanes y su actividad. Nuestro análisis no trata de determinar si los gases de efecto invernadero inducen el calentamiento atribuido al aumento de la temperatura del agua. "Pero es importante que los modelos climáticos sean capaces de reproducir la relación observada entre la actividad de huracanes y la temperatura superficial del mar, a fin de concluir si la actividad de huracanes se verán afectados por el cambio climático".

### **8.4 LINKING WARM TO STORM**

**THE ASSOCIATED PRESS**

**31 Enero 2008**

**Newsday**

WASHINGTON - Cuando el agua en el Atlántico se calienta 1 grado más, la actividad de los huracanes a nivel global aumenta por mitad, según un nuevo estudio.

Los científicos conocen desde hace mucho tiempo que los huracanes obtienen su energía de enormes cantidades de aguas cálidas. El estudio calcula la frecuencia de las tormentas y la fuerza que se debe a las aguas cálidas del mar, dice Mark Saunders, profesor sobre predicción del clima en University College de Londres.

Saunders encontró una clara relación numérica entre las altas y bajas en las temperaturas del agua y la forma en que llega la temporada de huracanes. Eso ayuda a explicar por qué los huracanes han sido peores en los últimos 12 años, e incluso por qué el 2007 - con aguas ligeramente más frescas de lo normal - fue una excepción y no un mal año para los huracanes, dijo Saunders. "Esto es muy sorprendente, sensible a pequeños cambios en la temperatura superficial del mar", dijo.

Su estudio, publicado en la revista Nature, encontró que los cambios en los patrones de viento causan un cambio mayor en la actividad de los huracanes, pero su análisis se concentró en lo que la temperatura del mar produce a las tormentas. Saunders se centró en la temperatura del agua desde 1950 en una banda de mar tropical que se extiende desde Puerto Rico y la costa norte de

América del Sur hacia el este cerca de la Costa de África. El estudio la actividad de huracanes desde 1965.

## **8.5 WARMING SEA TEMPERATURE LINKED TO HURRICANES WARMING OCEANS INCREASING HURRICANE ACTIVITY: REPORT**

**Actividad: informe**

**Jennifer Macey**

**31 Enero 2008**

**Australian Broadcasting Corporation transcripciones**

TONY EASTLEY: Hay un fuerte aumento de la actividad de huracanes en los Estados Unidos durante la última década, con Katrina una de las más devastadoras tormentas de la historia. Ahora científicos británicos dicen que han encontrado una notable relación entre el calentamiento de la temperatura superficial del mar y los huracanes. La investigación, publicada en la revista Nature, muestra que cuando las temperaturas aumentan medio grado en el Atlántico, la actividad de huracanes aumenta un 40%.

JENNIFER MACEY informa

JENNIFER Macey: el huracán Katrina fue apenas una de las siete tormentas más desarrolladas sobre el océano Atlántico en el 2005 y fue registrada como una de las más activas temporadas de huracanes de la historia. Ese año también se registró las temperaturas más cálidas de la superficie del mar desde 1950. Ahora un equipo de investigadores británicos ha encontrado un vínculo estadístico entre el calentamiento de la superficie del mar y el aumento en la actividad de huracanes.

MARK SAUNDERS (Jefe del Weather and Climate Extremes en la UCL Hazard Research Centre)

MARK Saunders: Durante los últimos 40 años, un aumento de medio grado en la temperatura superficial del mar la forma en que los huracanes en el Atlántico pueden estar asociado a un 40% del aumento en la actividad y frecuencia de los huracanes y también por el reciente recrudescimiento de la actividad de los huracanes desde 1995.

JENNIFER Macey: Si bien el estudio ha analizado la producción de huracanes en el Atlántico, no parece aplicarse lo mismo para los océanos de Australia.

DR JOHN MCBRIDE (Centre for Australian Weather and Climate Research)

JOHN MCBRIDE: Las capturas, sin embargo, parecen ser diferentes en el Atlántico que para el resto del mundo. En el Atlántico Norte, hay una relación estadística muy fuerte de un año a otro entre la superficie del mar y el número y la intensidad de los ciclones. Sin embargo esto no muestra una relación mayor en regiones como el norte de Australia y como la India, al igual que el Pacífico norte, cerca de China y las Filipinas y así sucesivamente.

JENNIFER Macey: el Dr Matthew Wheeler de la Oficina de Meteorología ha desarrollado un modelo a corto plazo, sobre la previsión de los ciclones tropicales. Él dice que los ciclones en el hemisferio sur se ven influidos por una serie de factores, y no sólo al calentamiento la temperatura del mar.

## **8.5 GUARDIAN HOME PAGES**

## **WARMER ATLANTIC FUELS HURRICANES, UK STUDY FINDS**

**31 Enero 2008**

**The Guardian**

Aguas más cálidas en el Atlántico norte han hecho los huracanes más fuertes y más frecuentes en la última década, según un estudio realizado por científicos británicos. El hallazgo ha suscitado temores de que el calentamiento global podría desencadenar tormentas más devastadoras en la región, si la temperatura del mar sigue aumentando.

Un aumento en la temperatura de la superficie del agua de 0.27C entre 1996 y 2005 fue el responsable de 40% del aumento en la actividad de huracanes del Atlántico (investigadores de la University College de Londres). "Esta es la primera vez que hemos sido capaces de cuantificar cuánto aumentaría la actividad de los huracanes con aguas más cálidas en el mar", dijo el profesor Mark Saunders, que condujo el estudio.

El poder y el número de huracanes varían enormemente de un año a otro, pero desde mediados de 1980 se ha producido un aumento general en ambos. En 1996, meteorólogos registraron 13 tormentas en la temporada de huracanes del Atlántico. En 2005 hubo 28, su temporada más devastadora en la historia. Saunders y Adam Lea utilizaron modelos informáticos para estudiar la formación de huracanes en las regiones tropicales al norte del Atlántico, el Mar Caribe y el Golfo de México. Este estudio encontró que con 0.5C más en la temperatura de aguas superficiales causaría un aumento de 36 % de huracanes, y para huracanes más poderosos un 45% como aumento. Los huracanes se forman cuando se evapora el agua de mar y esta es arrastrada hasta en las tormentas. La superficie más cálida da más energía.

Saunders dijo que el estudio, publicado en la revista Nature, no podía discernir hasta qué punto el aumento en la temperatura del mar se deba a emisiones de gases de efecto invernadero. Pero en el 2006, científicos del Lawrence Livermore National Laboratory en California llegaron a la conclusión de que las emisiones de la quema de combustibles fósiles contribuyeron a un aumento de la 0.67C en la temperatura de la superficie del mar en el Atlántico y el Pacífico entre 1906 y 2005.



## ANEXO 9

### PRESS; AIR FOCUSES ON HURRICANE ORIGINS

Fecha de publicación: 7 de enero de 2008

Fuente: Newslink seguro

AIR Worldwide Corporation (AIR) ha anunciado hoy los resultados de las investigaciones más recientes de su equipo de científicos sobre el vínculo entre la formación de huracanes en la cuenca Atlántica y la actividad en la costa de EE.UU. Los últimos resultados proporcionan un contexto para poder entender mejor las temporadas de huracanes entre 2004 y 2007 y así demostrar que basarse en la actividad de la cuenca Atlántica como representativa de los huracanes en tierra puede dar lugar a estimaciones erróneas de potenciales lugares de riesgo de pérdidas aseguradas.

"Al centrarse sólo en las temporadas 2004 y 2005, es fácil olvidar que cada temporada de huracanes es única, una función compleja entre la interacción de una serie de factores ambientales como la ubicación, la temperatura de la superficie del mar y la profundidad de las aguas cálidas oceánicas, cizalladura del viento, dirección y de la atmósfera", dijo el Dr. Peter Dailey, director del área de investigación en ciencias de la atmósfera a AIR Worldwide. "Un mayor número de tormentas tropicales en la cuenca Atlántica no se traduce en un aumento equivalente de huracanes que tocan tierra o simplemente huracanes." Los investigadores de AIR descubrieron que la génesis de la ubicación o punto de partida de una tormenta, influye en gran medida su probabilidad de tocar tierra a lo largo de la costa de América del Norte. El patrón de génesis en la ubicación de un huracán cambia año por año y comparando el patrón para una temporada a largo patrones climatológicos, se puede comprender mejor por qué en algunos años la proporción de las tormentas que tocan tierra es más alta, mientras que en otros años, es baja.

Las investigaciones del AIR pueden utilizarse para analizar las probabilidades de llegada de las dos tormentas más fuertes que tocaron tierra en la temporada del 2007 categoría 5, Dean y Felix, basados en el lugar donde se originaron. Dean y Felix, que eran las únicas tormentas de ese año que podrían llegar a ser mayores a la categoría 1, tuvieron su origen por el sur del Caribe y, finalmente, llegaron a tierra a largo de las costas de México y Centroamérica. "Sobre la base del origen de estas tormentas y la manera en que se rastreó, nuestra investigación muestra que el huracán Dean tenía una baja posibilidad de tocar tierra como un huracán y en el caso de Félix este era mucho más probable que llegara a las costas de México o Centroamérica que para los EE.UU." comentó Dailey.

La temperatura superficial del mar en la cuenca Atlántica ha sido la más cálida que el promedio de cada año desde 1995. Sin embargo, el porcentaje de tormentas en la cuenca Atlántica que tocan tierra en EE.UU. ha estado por debajo de la media 14% en nueve de las trece temporadas. En el 2007, sólo una de las quince tormentas que han tocado tierra en EE.UU. como un huracán, o menos de 7%. Más significativamente, el total de la energía eólica en 2007 fue de 33% por debajo de la media, a pesar de dos tormentas de Categoría 5. "Los encargados de los pronósticos prevén que un mayor número (superior) a la media de las tormentas tropicales se formara en la cuenca para el 2007", continuó Dailey. "Pero es mucho más difícil de predecir no sólo cuántas de estas tormentas se convertirán en huracanes, si no la cantidad de estas que tocan tierra como huracanes. Al igual que muchas estaciones del año pasado, la temporada 2007 puso de manifiesto que un elevado número de tormentas tropicales no siempre se traducen en más huracanes o huracanes que tocan tierra. En el 2007, las temperaturas de la superficie del mar no eran tan calientes como algunos científicos esperaban y la cizalladura del viento de La Niña no se materializó tal como habían previsto. Evidentemente existe un peligro en el supuesto de que una o dos temporadas tengan un cambio en el riesgo de huracanes. Si bien el 2004 y 2005 fueron dos

temporadas muy activas, pero no muy buenas referencias para predecir la actividad en el 2006 y 2007.

**Saludos,**

**J. Luis Álvarez Marcén**

**Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros, AC (AMIS)**

## ANEXO 10



### **BUHRC STUDY REVEALS LARGE CONTRIBUTION OF SEA SURFACE WARMING TO INCREASED ATLANTIC HURRICANE ACTIVITY**

#### **10.1 Resumen**

LONDRES, jueves 31 de Enero del 2008 --- La actividad de huracanes en el Atlántico ha aumentado significativamente desde 1995, pero las causas subyacentes de este aumento siguen siendo inciertas. En general se piensa que el aumento de la temperatura de la superficie del mar Atlántico ha tenido gran influencia pero esta declaración aun sigue siendo poco clara. Científicos de la UCL Benfield Hazard Research Centre (BUHRC) han cuantificado esta contribución por primera vez.

En un estudio publicado hoy en la prestigiosa revista científica Nature, el profesor Mark Saunders y el Dr. Adam Lea, se basan en la sensibilidad actual de los huracanes del Atlántico tropical al calentamiento de la superficie del mar mayor a 0,5C asociados con un 40% del aumento en la actividad y la frecuencia de los mismos. También se comprobó que el calentamiento de la superficie del mar fue responsable de alrededor de un 40% en el aumento de actividad de huracanes del Atlántico (en relación con el promedio 1950-2000) entre 1996 y 2005.

La investigación se centra en las tormentas que se forman en las regiones tropicales del Atlántico Norte y que representan el 85 y 90% de los huracanes que llegan a tierra en los Estados Unidos.

El profesor Mark Saunders, Jefe del Weather and Climate Extremes en la UCL Hazard Research Centre y autor principal del estudio explicó la metodología detrás de la investigación: "Se utilizó un modelo estadístico basado en dos variables ambientales (temperatura superficial del mar local y viento atmosférico sobre el terreno) que duplica en un 75 a 80% la varianza de la actividad de los huracanes en el Atlántico tropical entre 1965 y 2005. Al eliminar la influencia de los vientos se pudo valorar la contribución de la temperatura superficial del mar y se encontró que tiene un gran efecto".

Al comentar sobre las consecuencias más amplias del estudio, el profesor Saunders añadió; "Esta investigación es importante para ayudar a resolver la controvertida de cómo el cambio climático tendrá un impacto en la frecuencia de la actividad de los huracanes. Nuestro análisis no trata de determinar si los gases de efecto invernadero inducidos por el calentamiento global contribuyen al aumento de la temperatura en la superficie del mar. Pero es importante que los modelos climáticos sea capaces de reproducir la relación observada entre la actividad de los huracanes y la temperatura superficial del mar, a fin de mejorar su fiabilidad al modelo sobre cómo la actividad de huracanes se verán afectados por el cambio climático. "

Paul Budde, ejecutivo Vice Presidente y Jefe de Desarrollo de Product Development and Applied Research Team en Benfield ReMetrics en los EE.UU., comentó: "Los ciclones tropicales son la causa más frecuente de pérdidas en el sector de los seguros. Investigaciones como la de

Saunders y Lea cuantifican la relación de determinados factores ambientales sobre la actividad de huracanes, cuando se combinan con modelos de cambio climático, ayudan a la industria a comprender mejor lo que se podría hacer frente al futuro. "

Este es el segundo trabajo de investigación a cargo del Profesor Dr Saunders y Lea publicado por Nature. Un avance de un modelo desarrollado por dos científicos que han mejorado significativamente la predicción de la fuerza de los huracanes de tocan tierra en los Estados Unidos fue publicado en abril de 2005 (Saunders, MA y AS Lea, Seasonal prediction of hurricane activity reaching the coast of the United States, Nature, 434, 1005-1008, 2005).

Los primeros indicios apuntan a una activa temporada de huracanes en el Atlántico del 2008 y EE.UU. Una temporada de huracanes que tocan tierra de un 50% por encima de la norma 1950-2007 (TSR amplia gama de previsiones 10a de diciembre de 2007).

A continuación se investiga el Segundo trabajo del Dr. Saunders y Lea del cual hacen referencia.

### **10.2 Artículo "SEASONAL PREDICTION OF HURRICANE ACTIVITY REACHING THE COAST OF THE UNITED STATES"**

**Saunders, MA y AS Lea, Nature, 434, 1005-1008, 2005**

Gran parte de los daños a las propiedades son los peligros naturales en los Estados Unidos causados por los grandes huracanes tropicales que tocan tierra llegando a la costa. Para la costa Suroriental del Atlántico de los EE.UU., se utiliza un método estadístico para pronosticar la ocurrencia de huracanes que tocan tierra, pero los mecanismos físicos de este predictor de variables a la frecuencia de los huracanes siguen sin estar claros. En este artículo se presenta un modelo estadístico que utiliza anomalías de vientos de Julio entre 1950 y 2003 para predecir con gran habilidad la energía del viento de los huracanes que tocan tierra en los EE.UU. Se han identificado seis regiones a lo largo de América del Norte y más al este del Pacífico y el norte de los océanos Atlántico, donde las anomalías del viento en Julio, en promedio han estado entre 925 y 400 mbar, muestran un significativo y estacionario enlace de la energía de los huracanes durante la temporada de huracanes. Las anomalías de los vientos en estas regiones son indicativas de las pautas de circulación atmosférica que, favorecen o dificultan la evolución de los huracanes al llegar a las costas de EE.UU.

En el Atlántico Norte la temporada de huracanes se extiende desde el 1 de junio al 30 de noviembre. Sin embargo, el 86% son huracanes que llegan a tierra en los EE.UU. y el 96% son huracanes intensos que golpean a EE.UU. entre 1950-2003 ocurridos después de 1 de agosto. La gran variabilidad año con año en el número de huracanes que tocan tierra en EE.UU. (de 0 a 6 desde 1950) significa que las suposiciones de que la actividad podrían ser útiles para reducir los riesgos y la incertidumbre. La previsión de huracanes se inicio a mediados de 1980 para el Atlántico Norte. Las evaluaciones de pronóstico estacional para los huracanes que tocan tierra en los EE.UU. se han hecho para el sudeste a partir del 1 de agosto y para todo el conjunto de EE.UU. en septiembre. También se ha examinado la probabilidad de los huracanes que tocan tierra EE.UU. y los daños en función del signo y la fuerza de El Niño / Oscilación del Sur (ENSO). Sin embargo, ninguno de estos estudios ha incluido la parte aseguradora.

La temporada de la actividad de los huracanes que tocan tierra por lo general hace referencia al número de tormentas tropicales, huracanes o huracanes intensos que tocan tierra en EE.UU. Se introdujo el índice National Oceanic and Atmospheric Administration's Accumulated Cyclone Energy (ACE) como una medida más apropiada para clasificar la temporada de huracanes que tocan tierra en EE.UU. Este índice se define como la suma de los cuadrados de las horas máximas de las velocidades de viento sostenido (en nudos) de todos los ciclones tropicales en los EE.UU.

(incluyendo las que se han modificado como extra tropicales) que tienen vientos de por lo menos la fuerza de una tormenta tropical. Este valor se reduce por un factor de 6 para la compatibilidad con el ACE índice en el mar, que se calcula a partir de valores de viento de cada 6 horas. En los EE.UU. el índice ACE es efectivamente un índice de la energía eólica, indicando la acumulativa de energía eólica de todas las tormentas tropicales, huracanes y huracanes intensos de los EE.UU. que se producen durante una determinada temporada. Se calculo el índice ACE para los EE.UU. utilizando la velocidad de viento máximo sostenido de EE.UU de la base de datos del National Hurricane Center's para el Atlántico norte.

Este análisis también utiliza los datos mensuales del viento promedio de entre 925 y 400 mbar (alrededor de 750 a 7000 m sobre el nivel del mar) del National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research durante 1950 al 2003. El movimiento de los huracanes está determinado por la altura promedio de los vientos entre estos niveles. Las pérdidas totales (económicas) y perdidas aseguradas son datos proporcionados hasta finales del 2003 por C. W. Landsea y Property Claims Service (perdidas aseguradas de 2000 a 2003) para un período entre 1950 a 2003.

El índice ACE para los EE.UU. desde 1950 a 2003 está ligado a la troposfera (altura promedio del viento donde se producen anomalías) en Norteamérica, el este del Pacífico y el Atlántico Norte antes de julio y durante la principal temporada de huracanes del Atlántico. Agosto, septiembre y octubre son los principales meses para la actividad de los huracanes que tocan tierra, con un 82% de la anual de que el índice ACE se produzca en los EE.UU.

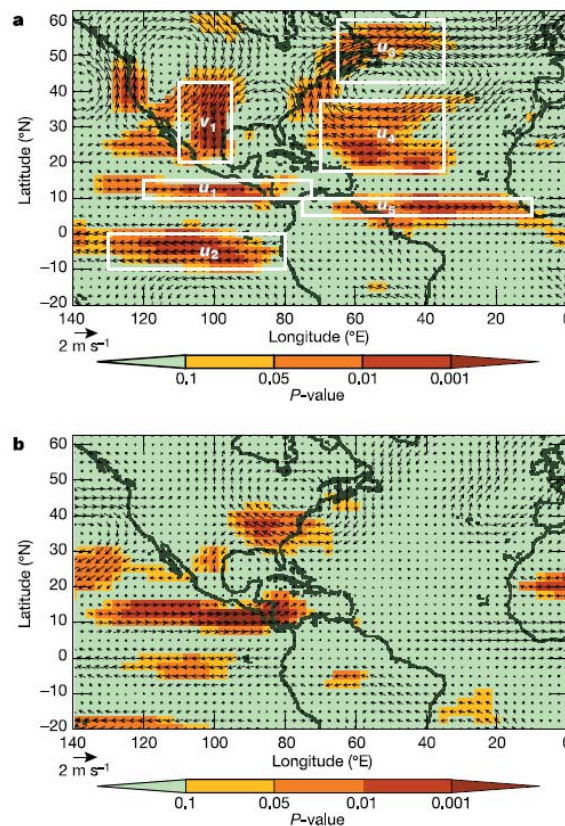


Figura 10.1 Altura troposférica promedio de las anomalías del viento vinculadas a la temporada media de los huracanes que tocan tierra en EE.UU desde 1950-2003 (Saunders M., et al, 2005)

La figura 10.1 muestra para el mes de julio (figura 10.1a) y de agosto a octubre (figura 10.1b) la dirección, magnitud e importancia de la diferencia compuesta entre las anomalías del viento promedio entre 925 mbar y 400 mbar para los años donde el índice ACE se encuentra superior e inferior a los cuartiles entre 1950 al 2003. El vector del viento en la figura 10.1 está asociado con una media por encima de la temporada del índice ACE con una anomalía en el signo opuesto asociado con una media por debajo de la temporada del índice ACE de los EE.UU.

La diferencia en la figura de la altura muestra varias áreas de viento importantes. La caja blanca de las regiones en la figura 1a denotan seis regiones (U1, U2, U3, U4, U5 y v1, donde u y v se refieren, respectivamente, a la zona este-oeste y norte-sur de los vientos), donde la relación entre la altura del viento promedio de julio a 925-400 mbar y el índice ACE para EE.UU. entre 1950 a 2003 es significativo y estacionario. Su significado estadístico se define como una correlación P-valor de 0,1 después de un auto correlación serial. La estabilidad temporal se define como la muestra estadística de cada uno de los subperíodos entre 1950 a 1976 y 1977 a 2003. Una característica destacada en la figura 1 es la anomalía de flujo anticiclónico asociado a un fortalecimiento y desplazamiento hacia el norte de alta presión en la región de Bermudas. Cuando se estableció en julio, esta función trato a persistir su cresta hacia el oeste durante agosto y septiembre a lo largo de los EE.UU. y del litoral oriental de Canadá. Dado a que estas anomalías influyen en la dirección de los huracanes, su presencia favorece por encima la media del índice ACE para los EE.UU.

Tabla 10.1. Predicción del índice ACE EE.UU (Saunders M., et al, 2005)

| Predictor  | Period    | Hindcast skill and significance |                   |         |
|--|-----------|---------------------------------|-------------------|---------|
|  |           | MSSS (%)                        | $r_{\text{rank}}$ | P-value |
| July 925–400mbar wind index<br>(all regions)         | 1950–2003 | 38                              | 0.67              | <0.001  |
|  | 1950–76   | 40                              | 0.65              | 0.001   |
|  | 1977–2003 | 36                              | 0.70              | <0.001  |
| July 925–400mbar wind index<br>( $u_1 - u_2 - v_1$ ) | 1950–2003 | 32                              | 0.68              | <0.001  |
|  | 1950–76   | 28                              | 0.68              | 0.002   |
|  | 1977–2003 | 38                              | 0.75              | <0.001  |
| July 925–400mbar wind index<br>( $u_3 - u_4 + u_5$ ) | 1950–2003 | 19                              | 0.52              | <0.001  |
|  | 1950–76   | 22                              | 0.55              | 0.004   |
|  | 1977–2003 | 14                              | 0.47              | 0.008   |
| Observed Atlantic total ACE index                    | 1950–2003 | 18                              | 0.49              | <0.001  |
|  | 1950–76   | 13                              | 0.38              | 0.03    |
|  | 1977–2003 | 26                              | 0.57              | 0.003   |
| Observed August–October Niño<br>3 SST                | 1950–2003 | 0                               | 0.29              | 0.05    |
|  | 1950–76   | 0                               | 0.26              | 0.12    |
|  | 1977–2003 | 3                               | 0.31              | 0.12    |

Table 2 Link between hindcast US ACE index and US hurricane losses

| Period    | Economic loss     |         | Insured loss      |         |
|-----------|-------------------|---------|-------------------|---------|
|           | $r_{\text{rank}}$ | P-value | $r_{\text{rank}}$ | P-value |
| 1950–2003 | 0.48              | 0.003   | 0.48              | 0.003   |
| 1950–76   | 0.43              | 0.06    | 0.58              | 0.03    |
| 1977–2003 | 0.49              | 0.008   | 0.37              | 0.03    |

Otra característica destacada en la figura 1a a favor de un subsecuente índice ACE mayor que la mediana, es el flujo anticiclónico asociado con el aumento de la presión superficial de las montañas “Rocky Mountains” opuestas a las anomalías de la zona de flujo (U1 y U2) en el oriente tropical del Pacífico. Estos últimos están vinculados con las zonas de gradientes anómalos en la temperatura de la superficie del mar (SST), causados en parte por El Niño y La Niña. Estas características adicionales se combinan para producir y mantener un flujo ciclónico centrado sobre el Golfo de México durante el periodo entre agosto a octubre (figura 1b). Esto fortalece las anomalías del flujo ciclónico en los parques eólicos marinos de la Florida y la parte oriental de la Costa del Golfo de EE.UU., lo que favorece por encima de la media al índice ACE.

La tabla 10.1 muestra los cinco modelos descritos anteriormente para distintos periodos de tiempo. Utilizando la altura promedio del índice de viento para julio (todas las regiones), el índice ACE de los EE.UU. es predecible que a partir del 1 de agosto la principal temporada de huracanes del Atlántico obtenga una correlación de 0.65-0.70 y una mejor habilidad con respecto a la climatología entre 36-40%. Esta habilidad es significativa para  $P < 0,001$  para el período 1950-2003,  $P = 0,001$  para 1950-76 y 1977-2003. La mayoría de esta habilidad proviene de los vientos a 925-400 mbar al este del Pacífico y al norte de América. La baja habilidad del hindcast demostrada para los meses de agosto a octubre en el modelo Niño 3 TSM confirma que El Niño y La Niña están relacionados con las anomalías del viento y son más importantes que El Niño y La Niña relacionadas con las anomalías de TSM para EE.UU. Un diagrama de dispersión de EE.UU. muestra que el índice ACE versus el hindcast EE.UU. del viento en julio (todas las regiones) predice correctamente un 67% por arriba y por abajo de la mediana de los valores reales. Además, el modelo anticipa correctamente el 94% por arriba de la mediana de los valores reales y el 83% por debajo de la mediana de los valores reales

Los índices de hindcast de ACE de EE.UU. de modelos de vientos ofrecen una buena posibilidad socio-económica.

La tabla 10.2 muestra que la hindcasts están vinculada significativamente ( $P, 0.01$ ) a las pérdidas económicas en EE.UU. por huracanes entre 1950-2003 y pérdidas aseguradas por huracanes entre 1950-2003. Por tanto las dos pérdidas aseguradas  $r_{\text{rank}}=0.48$  y  $P=0,003$ . Estos vínculos significativos con pérdidas evidentes tabla 3, comparan los hindcasts para el índice ACE de EE.UU. contra los valores económicos y las pérdidas aseguradas estratificadas por encima/abajo del valor medio. Por pérdidas económicas, los modelos hindcasts predice correctamente el signo de un 74% (40 de 54) por arriba y por debajo de la mediana de la pérdida. Por pérdida asegurada, el modelos hindcast predice correctamente el signo de un 70% (38 de 54) por abajo de la mediana.

Un claro beneficio de la habilidad es el sector de los seguros. Los compradores y vendedores de reaseguro pueden mejorar un período de años hasta un 30% por el uso de estas previsiones. El modelo de vientos julio 925-400 mbar obtuvo buenos resultados en tiempo real del funcionamiento en 2004, una predicción de índice ACE de EE.UU. por encima del cuartil para la actividad y daños en la temporada de huracanes. Las aseguradoras y otras empresas han reducido sus pérdidas en 2004 por atender estas previsiones.

Tabla 10.2 Modelo hindcast del índice ACE EE.UU. y las pérdidas anuales de daños por huracanes (Saunders M., et al, 2005)

| Economic losses |          |      |              | Insured losses |          |      |              |
|-----------------|----------|------|--------------|----------------|----------|------|--------------|
| Year            | Hindcast | Loss | US\$ million | Year           | Hindcast | Loss | US\$ million |
| 1992            | -        | +    | 44,014       | 1992           | -        | +    | 29,597       |
| 1954            | +        | +    | 23,302       | 1954           | +        | +    | 18,259       |
| 1955            | +        | +    | 17,548       | 1965           | +        | +    | 13,922       |
| 1965            | +        | +    | 16,888       | 1989           | -        | +    | 6,845        |
| 1960            | +        | +    | 16,236       | 1964           | +        | +    | 5,885        |
| 1969            | +        | +    | 14,584       | 1960           | +        | +    | 5,707        |
| 1972            | -        | +    | 14,258       | 1970           | +        | +    | 5,522        |
| 1989            | -        | +    | 13,705       | 1979           | +        | +    | 5,160        |
| 1979            | +        | +    | 11,489       | 1983           | -        | +    | 4,729        |
| 1961            | +        | +    | 9,536        | 1985           | +        | +    | 4,298        |
| 1964            | +        | +    | 9,377        | 1961           | +        | +    | 4,202        |
| 1985            | +        | +    | 8,834        | 1995           | +        | +    | 3,710        |
| 1999            | -        | +    | 6,346        | 1950           | +        | +    | 3,701        |
| 2001            | +        | +    | 5,579        | 1969           | +        | +    | 3,568        |
| 1983            | -        | +    | 5,395        | 1955           | +        | +    | 2,946        |
| 1995            | +        | +    | 4,957        | 2001           | +        | +    | 2,867        |
| 1996            | +        | +    | 4,635        | 1996           | +        | +    | 2,514        |
| 1970            | +        | +    | 4,439        | 1999           | -        | +    | 2,430        |
| 1998            | +        | +    | 4,414        | 1998           | +        | +    | 2,044        |
| 1950            | +        | +    | 3,732        | 2003           | +        | +    | 1,775        |
| 2003            | +        | +    | 3,580        | 1957           | -        | +    | 1,422        |
| 1957            | -        | +    | 3,251        | 1959           | +        | +    | 1,214        |
| 1967            | +        | +    | 2,726        | 1972           | -        | +    | 1,157        |
| 1975            | +        | +    | 2,336        | 1991           | -        | +    | 1,117        |
| 1991            | -        | +    | 2,279        | 1967           | +        | +    | 1,073        |
| 1971            | +        | +    | 1,612        | 1975           | +        | +    | 946          |
| 1994            | +        | +    | 1,367        | 2002           | -        | +    | 648          |
| 2002            | -        | -    | 1,244        | 1980           | -        | -    | 343          |
| 1980            | -        | -    | 1,151        | 1956           | +        | -    | 332          |
| 1974            | -        | -    | 953          | 1966           | -        | -    | 255          |
| 1959            | +        | -    | 594          | 1984           | +        | -    | 162          |
| 1956            | +        | -    | 466          | 1976           | -        | -    | 155          |
| 1968            | -        | -    | 425          | 1971           | +        | -    | 147          |
| 1976            | -        | -    | 408          | 1974           | -        | -    | 143          |
| 1958            | -        | -    | 296          | 1968           | -        | -    | 117          |
| 1951            | +        | -    | 242          | 1953           | +        | -    | 113          |
| 1966            | -        | -    | 219          | 1986           | -        | -    | 84           |
| 1963            | +        | -    | 197          | 1952           | -        | -    | 67           |
| 1984            | +        | -    | 173          | 1983           | -        | -    | 57           |
| 1973            | -        | -    | 126          | 1997           | -        | -    | 50           |
| 1997            | -        | -    | 123          | 1988           | +        | -    | 23           |
| 1988            | +        | -    | 116          | 1977           | -        | -    | 14           |
| 1981            | -        | -    | 102          | 1963           | +        | -    | 5            |
| 1978            | -        | -    | 100          | 1987           | -        | -    | 1            |
| 1990            | -        | -    | 99           | 1951           | +        | -    | 0            |
| 1993            | -        | -    | 85           | 1994           | +        | -    | 0            |
| 1952            | -        | -    | 84           | 1981           | -        | -    | 0            |
| 1962            | -        | -    | 56           | 1990           | -        | -    | 0            |
| 1977            | -        | -    | 44           | 1973           | -        | -    | 0            |
| 1986            | -        | -    | 39           | 1978           | -        | -    | 0            |
| 1953            | +        | -    | 37           | 2000           | -        | -    | 0            |
| 1982            | -        | -    | 36           | 1962           | -        | -    | 0            |
| 2000            | -        | -    | 30           | 1982           | -        | -    | 0            |
| 1987            | -        | -    | 18           | 1958           | -        | -    | 0            |

Sandra Rosio Quiroga Cuellar, 2009

Tesis Maestría, División de Estudios de Posgrado Facultad de Ingeniería, UNAM.



## ANEXO 11

### ASOCIACIÓN DE CAZADORES DE HURACANES APOYO AL 53ª ESCUADRÓN DE LA FUERA AÉREA DE RESERVA DE RECONOCIMIENTO DEL TIEMPO “HURRICANE HUNTERS”

#### 11.1 Historia de los cazadores de huracanes “Hurricane Hunters”

La caza de huracanes comenzó a mediados de la Segunda Guerra Mundial, cuando Lt Col Joe Duckworth tomó un AT-6 Texas, para el entrenamiento de aeronaves en el ojo de un huracán. Nuestro escuadrón tiene un patrimonio de más de 50 años, Desde el principio, el escuadrón comenzó con viajes alrededor del globo, con aviones desplegados desde Canadá a Florida de los Azores.

Entre los aviones que se usan como cazadores de huracanes están:

#### **B-17 Flying Fortress**



Figura 11.1 Avión Flying Fortress (Hurricane hunters association, the world famous: hurricane hunters, <http://www.hurricanehunters.com/aboutus.html>)

El Fortress fue el avión más requerido para las operaciones de reconocimiento meteorológicas en la Segunda Guerra Mundial. En Septiembre de 1945, el escuadrón 53ª fue el primero en volar un B-17 en un huracán. Los huracanes se convirtieron pronto en su principal misión, y hasta la fecha el Escuadrón 53ª de Reconocimiento del tiempo, conocido como el Hurricane Hunters.

Durante este primer período, la unidad exploradora del clima efectuó viajes a grandes áreas geográficas: esto fue antes de existir los satélites! Día tras día, el escuadrón de aviones recolectaba datos y los transmitía a estaciones meteorológicas para su uso en la preparación de previsiones necesarias para la Fuerza Aérea de los EE.UU. y Weather Bureau.

#### **WB-25 Mitchell**



Figura 11.2 Avión WB-25 Mitchel (Hurricane hunters association, the world famous: hurricane hunters, <http://www.hurricanehunters.com/aboutus.html>)

Un bombardero mediano, del ejército en la Segunda Guerra Mundial. Su misión comenzó en 1944, cuando cuatro B-25 fueron asignados al "Ejército de la Unidad de Reconocimiento del huracán (Army Hurrican Reconnaissance Unit)", un precursor del actual Hurricane Hunters. Además de su

trabajo de reconocimiento, el 53<sup>a</sup> escuadrón también voló en muchas misiones para recoger datos de huracanes. En ese tiempo adquirió el apodo de "Hurricane Hunters", y posteriormente fue pintado en la unidad de aviones y edificios.

Las misiones del escuadrón 53<sup>a</sup> se realizaron durante la peligrosa temporada de 1946 y 1947, y durante las temporadas de huracanes de 1951 a 1954.

La U.S. Weather Bureau inició sus misiones de 24 horas del día con servicios de alerta a huracanes el 16 de junio de 1947. A todas las tormentas tropicales y huracanes se les dieron nombres por orden alfabético (Able, Baker, Charlie, etc.) a partir de la temporada 1947 como identificación interna en de la Weather Bureau. Estos nombres se publicaron durante las temporadas de huracanes del 1950-52 y más tarde fueron dados nombres de mujeres a partir de 1953.

Durante 1947, el escuadrón 53<sup>a</sup> realizó experimentos (en cooperación con Weather Bureau) con partículas de hielo seco rociadas en las nubes asociadas con un huracán. El experimento se llevó a cabo para determinar si las partículas reducirían la intensidad de la tormenta. Los resultados no fueron concluyentes. Después de 1947, la Marina realizó reconocimientos en el Caribe, mientras que el escuadrón 53<sup>a</sup> seguía la temporada de huracanes en el Atlántico Centro-Occidental. El escuadrón sólo sobrevivió durante algunos años en la post-guerra, y permaneció inactivo durante casi tres años y medio.

### **WB-29 Superfortress**



*Figura 11.3 Avión WB-29 Superfortress (Hurricane hunters association, the world famous: hurricane hunters, <http://www.hurricanehunters.com/aboutus.html>)*

El reconocimiento del tiempo recibió un gran impulso cuando se heredó los bombarderos después de la Segunda Guerra Mundial. Este fue el avión más grande de la Fuerza Aérea, y en 1950, pasó a ser el primero en ser designado con una "W" para el servicio meteorológico. El escuadrón 53<sup>a</sup> anotó otras "primicias" con los Superfortress: en 1946, fue el primero en volar en la parte superior de un huracán, a 22000 pies (nubes por encima de 36000 pies de altura).

La escuadra regresó a la vida el 21 de febrero de 1951, en Bermudas. Después de que la mayoría de la escuadra se trasladó a Burtonwood AFB, Inglaterra, en febrero de 1954, con un vuelo seguido de Bermudas hasta mayo de 1955.

### **WB-50 Superfortress**



Figura 11.4 Avión WB-50 Superfortress (Hurricane hunters association, the world famous: hurricane hunters, <http://www.hurricanehunters.com/aboutus.html>)

En 1955, el BM-29s se sustituye por un BM-50 por problemas de corrosión. Muy parecido al BM-29, con excepción de sus 3.500 caballos de fuerza. Este avión puede volar 850 millas más lejos. El BM-50 tenía un importante papel durante la crisis de los misiles cubanos, cuando supervisó las condiciones meteorológicas en torno a Cuba para planificar foto-vuelos de reconocimiento. Aunque el clima de vuelo se consideró un "buen tiempo" la misión del WB-50 cobro 66 vidas en 13 accidentes durante sus 10 años de historia en el tiempo. El escuadrón 53<sup>a</sup> no es ajeno a la reestructuración y la reducción en la fuerza. El 18 de marzo de 1960, la Fuerza Aérea de la escuadra suspendió por un año y medio. El escuadrón en Kindley Field, Bermuda, fue trasladado a Georgia durante varios años y, se estableció en Puerto Rico durante siete años.

#### **WB-47 Stratojet**



Figura 11.5 Avión WB-47Stratojet (Hurricane hunters association, the world famous: hurricane hunters, <http://www.hurricanehunters.com/aboutus.html>)

Éste fue el único jet que voló en misiones de huracanes, sin duda mayores y más rápidas que cualquier avión en nuestro inventario. Voló durante 10 años, desde 1963 a 1973. Sin embargo, un avión rápido no es necesariamente el mejor avión de trabajo para huracanes; aunque estos disminuyan su velocidad para conducir durante ráfagas de velocidad, los aviones vuelan lento en las turbulencias. Por esa razón, el BM-47 no puede penetrar en el interior de un huracán, pero si bordear la tormenta. Después que el huracán Camille devastó la Costa del Golfo en 1969, los congresistas comenzaron a trabajar para que los Hurricane Hunters volaran más sobre las costas. En 1973, el escuadrón 53<sup>a</sup> se trasladó a su actual hogar, Keesler Air Force Base, Mississippi.

#### **WC-130 Hercules**



Figura 11.6 Avión WC-130 Hercules (Hurricane hunters association, the world famous: hurricane hunters, <http://www.hurricanehunters.com/aboutus.html>)

El venerable C-130 Hércules se unió a la meteorología en 1963. Después de varios años por fin, a partir de este robusto avión, las tripulaciones podrían introducirse en un huracán. Los modelos "B" y "E" de WC-130 vuelan desde hace muchos años, y la "H" sigue siendo el modelo de vuelo de hoy día. Estos "Herks" con ahora más de 30 años, han demostrado ser los aviones más fiables en las páginas de la historia de la meteorológica.

En 1975, se creó un nuevo contendiente a los Hurricane Hunters, la Reserva de la Fuerza Aérea, el 815<sup>a</sup> Escuadrón de Reconocimiento, "Storm Trackers" nació de un escuadrón táctico de transporte aéreo y pronto las dos unidades compartieron la mayor parte de las misiones de reconocimiento de huracanes (también la NOAA hacia reconocimiento en algunas tormentas). Pronto se convirtió en muy respetado homólogos del escuadrón 53a.



Figura 11.7 Escuadrón de reconocimiento "Storm Trackers (Hurricane hunters association, the world famous: hurricane hunters, <http://www.hurricanehunters.com/aboutus.html>)

El escuadrón 53<sup>a</sup> finalmente sucumbió a los recortes presupuestarios en 1991, y la Fuerza Aérea de Reserva recogido todos los aviones caza huracanes. En 1993, sin embargo, la unidad se dividió en dos escuadrones, momento en el que el transporte aéreo táctico volvió a la 815a TAS Flying Jennies. Luego de un tiempo el escuadrón 53<sup>a</sup> resucito y ahora lleva con orgullo la tradición como Hurricane Hunters.

Actualmente la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) usa el Lockheed WP-3D Orion las misiones de reconocimiento de huracanes.

#### **Lockheed WP-3D Orion**



Figura 11.8 Avión Lockheed WO-3D Orion (National oceanic and atmospheric administration, aircraft, [http://www.aoc.noaa.gov/aircraft\\_lockheed.htm](http://www.aoc.noaa.gov/aircraft_lockheed.htm))

La NOAA actualmente realiza investigaciones y reúne datos sobre los océanos, atmosfera, espacio y el sol y aplica este conocimiento a la ciencia y el servicio de todos los estadounidenses. La NOAA advierte sobre el clima y realiza investigaciones para mejorar nuestra comprensión y gestión del medio ambiente.

Estos versátiles aviones turbohélice están equipados con una variedad sin precedentes de instrumentos científicos, radares y sistemas de grabación para ambos in-situ y la teleobservación para mediciones en la atmósfera, la tierra y su medio ambiente. Los nuevos aviones Lockheed se fabricaron de la línea de producción a mediados de los años-70's, estos robustos y bien

mantenidas aeronaves han llevado a la NOAA a un esfuerzo continuo para vigilar y estudiar los huracanes y otras tormentas severas, la calidad de la atmósfera, el estado de los océanos y de sus peces población, y las tendencias climáticas.

Su capacidad operativa, ha participado en numerosos experimentos de investigación en el Océano Índico, Australia y las Islas Salomón a Irlanda, el Mar del Norte y los Alpes. Han operado desde el Océano Ártico y Alaska a través de la mayoría de las regiones de los EE.UU. y en el Caribe. Su vida útil estimada es de 10 a 15 años.

Estos aviones desempeñar un papel integral la previsión de huracanes. Los datos recogidos durante los huracanes en estos aviones en suspensión y de otras fuentes se introducen en los modelos numéricos que proporcionan una mejor previsión de cómo será un huracán intenso, y cuándo y dónde se efectuarán en tierra. Estos aviones deben cumplir dos propósitos importantes: predictores para ayudar a hacer predicciones exactas durante un huracán y para ayudar a los investigadores de la NOAA a lograr una mejor comprensión de los procesos de una tormenta, mejorando así sus modelos.

Antes de entrar en la relativa calma del ojo de un huracán, los Lockheed WP-3D Orion de turbohélice sondean la naturaleza misma de la tormenta, repitiendo agotadores vuelos varias veces durante el curso de una misión de 9 a 10 horas. Los miembros de la tripulación despliegan instrumentos llamados GPS (Sistema de Posicionamiento Global) dropwindsondes como el WP - 3D antes de penetrar el huracán. Estos dispositivos continuamente realizan mediciones de presión, humedad, temperatura y el viento, ya que caen hacia el mar, proporcionando una mirada detallada de la estructura del huracán y su intensidad.

Tabla 11.1 Especificaciones técnicas del Avión Lockheed WO-3D Orion (National oceanic and atmospheric administration, aircraft, [http://www.aoc.noaa.gov/aircraft\\_lockheed.htm](http://www.aoc.noaa.gov/aircraft_lockheed.htm))

|  |   |
|--|---|
| Type Engines:                            | 4 Allison T56-14 Turbo Prop Engines<br>Each rated at 4600 Shaft Horse Power (SHP)   |
| Crew:                                    | 2 Pilots, Flight Engineer, Navigator, Flight Director (meteorologist), 2 or 3 Engineering/Electronic specialists, Radio/Avionics specialist, and a up to 12 Scientist or Media personnel. |
| Max. Takeoff Weight:                     | 135,000 lbs.  |
| Ceiling:                                 | 27,000'   |
| Rate of Climb:                           | Up to 3000 FPM depending on aircraft gross weight and density altitude  |
| Operational Airspeeds:                   | 170 - 250 KIAS  |
| Electrical:                              | 4 Generators (3 are engine driven, 1 Auxiliary Power Unit)<br>each generator yields 120 volt, 3 phase, 400HZ power 90 KVA max power   |
| Max. Gross Weight:                       | 135,000 lbs max takeoff weight<br>114,000 lbs max landing (103,880 is normal)   |
| Empty Weight:                            | Approximately 73,000 lbs depending on scientific gear installed   |
| Maximum zero Fuel weight:                | Approximately 77,000 lbs.   |
| Useful Load:                             | Approximately 62,000 lbs  |
| Fuel Load:                               | 58,000 lbs.   |
| Type Fuel:                               | JP4, JP5, JP8, JET A, JET A-1, JET B  |
| Standard Fuel Burn:                      | 4500 - 6000 lbs/hr depending on altitude and airspeed   |
| Maximum Range and Duration:              | LOW ALTITUDE - 2500 NM OR 9.5 HRS<br>HIGH ALTITUDE - 3800 NM OR 11.5 HRS  |
| Dimensions (external):                   | Wingspan = 99' 8"<br>Length = 116' 10"<br>Height to top of fin = 34' 3"<br>Top of fin to lower skin = 24' 4"  |
| Additional Standard Equipment (Cockpit): | Skywatch Collision Avoidance System (TCAS)<br>Altitude Alert System   |



Tabla 11.2 Especificaciones técnicas del Avión Lockheed WO-3D Orion (continuación tabla 11.1)  
(National oceanic and atmospheric administration, aircraft,  
[http://www.aoc.noaa.gov/aircraft\\_lockheed.htm](http://www.aoc.noaa.gov/aircraft_lockheed.htm))

|   |  |
|---|--|
| Skywatch Collision Avoidance System (TCAS): | An airborne traffic advisory system that assists the flight crew in visual acquisition of aircraft that may pose a collision threat.   |
| Altitude Alert System:                      | System that provides flight crew with visual and audio warnings about a variety of flight conditions regarding the altitude of the aircraft.   |
| Radars:                                     | Rockwell Collins C-band nose radar<br>Lower fuselage C-band research radar – 360 deg. horizontal fan beam  |
| Cloud Physics:                              | PMS 2-dimensional and 1-dimensional precipitation and cloud particle probes<br>PMS Forward and Axially scattering particle probes<br>Aerosol sampling system                               |
| Radiation:                                  | Sea surface temperature radiometer<br>CO2 air temperature radiometer<br>Eppley solar and terrestrial pyranometer and pyrgeometer radiometers   |
| Expendables:                                | GPS dropwindsonde atmospheric profiling system<br>Airborne Expendable Bathythermographs (AXBT's)   |
| Miscellaneous:                              | C-band and Ku-band scatterometers<br>Stepped Frequency Microwave Radiometer<br>Radome Flow Angle Sensors<br>External Wing Store Station Mounts<br>Dual Inertial and GPS Navigation Systems |

De este avión existen dos aviones operados por la NOAA llamados “Kermit” y “Miss Piggy” que recogen y transmiten datos de presión barométrica, humedad, temperatura y velocidad del viento.



Nose art from the WP-3Ds, N42RF and N43RF  
Copyright © The Jim Henson Company

Figura 11.9 Caza huracanes Miss Peggy y Kermit, Noaa (National oceanic and atmospheric

*administration, aircraft, [http://www.aoc.noaa.gov/aircraft\\_lockheed.htm](http://www.aoc.noaa.gov/aircraft_lockheed.htm))*

Estos aviones están listos para desplegarse en misiones de investigación y reconocimiento de huracanes durante 120 días al año. Cada avión trabaja en promedio de 90 a 120 días alrededor del mundo, al igual que para trabajar en otros proyectos de investigación. Los días restantes se dedican a la integración de sistemas y calibración, mantenimiento de los aviones y formación de pilotos.

Algunos de los proyectos de estos aviones son:

**Bamex (The Bow Echo and Mesoscale Convective Vortices Experiment)**

Este experimento, liderado por la National Severe Storms Laboratory (NOAA), es un importante proyecto de campo para estudiar la evolución de Bow Echoes and Convective Vortices. Estos sistemas climáticos pueden tener un profundo efecto sobre el clima local y llegar a producir fuertes lluvias y posiblemente inundaciones repentinas. La mayoría de los conocimientos sobre estos sistemas provienen de simulaciones numéricas.

Las aeronaves reúnen casi la totalidad de los datos científicos debido al corto ciclo de vida y de pequeños tamaños (aproximadamente de 50 a 500 kilómetros de diámetro). La NOAA P-3 trabaja con la Armada P-3 en el desempeño de "ELDORA", un sofisticado radar doppler. La NOAA P-3, junto con el Laboratorio de Investigaciones Navales de P-3, ofrece movimientos 3-D del aire y el dominio de la región de precipitaciones del sistema.

**Sallex (The South American low-level Jet)**

Es un programa coordinado internacionalmente para contribuir a la comprensión del papel de este sistema a la humedad y el intercambio de energía entre los trópicos y subtrópicos. El intercambio entre estas regiones afecta a la hidrología regional, el clima y la variabilidad del clima. En última instancia, los científicos usarán los datos recogidos en este experimento para mejorar a corto y largo plazo predicciones. La campaña de observación en el terreno (SALLJEX) parte del programa tuvo lugar en noviembre de 2002 - marzo de 2003.

La NOAA P-3 aviones es una parte esencial del programa del campo para recoger mediciones espaciales de alta resolución. El objetivo principal de los vuelos es proporcionar una representación detallada de la estructura y la variabilidad del bajo nivel de reacción al este de los Andes. El P-3 recoge datos secundarios para evaluar la relación entre los complejos convectivos de mesoescala sobre el norte de Argentina o Paraguay occidental y el bajo nivel de reacción, la estructura frontal de los aumentos repentinos de frío cerca de las faldas orientales de los Andes, y la variabilidad de mesoescala en el Altiplano.

**ANEXO 12****ATMOSPHERIC WARMING AND THE AMPLIFICATION OF PRECIPITATION EXTREMES****P. Richard Allan, J. Brian Soden****Environmental Systems Science Centre, University of Reading, Berkshire, RG6 6AL, UK.****Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Sciences, University of Miami, FL 33149, USA.**

Los modelos climáticos sugieren que los eventos extremos de precipitación se harán más comunes en un clima mucho más cálido. Sin embargo se tienen limitaciones en la observación que han dificultado a aplicación directa de modelos de evaluación sobre los cambios proyectados en precipitaciones extremas. En este sentido, el uso de satélites y modelos de simulación para examinar las respuesta de eventos de precipitación tropical producto de cambios en la temperaturas de la superficie del mar y el contenido de humedad en la atmósfera. Estas observaciones ponen de manifiesto un claro vínculo entre las precipitaciones extremas y la temperaturas, con fuertes aumentos de lluvia durante periodos cálidos y disminuyendo durante periodos fríos. Por otra parte, la observación de la amplificación de precipitaciones extremas es más alta que la predicha por los modelos, lo que implica que las proyecciones de los futuros cambios en las precipitaciones extremas debido al calentamiento global pueden ser subestimadas.

Las proyecciones de precipitaciones tropicales a través de este siglo anticipan aumentos en las regiones húmedas, regiones ecuatoriales y las temporadas de sequia en las ya zonas áridas subtropicales, de acuerdo con las consideraciones teóricas de los cambios. El bajo nivel de humedad se eleva con la temperatura en alrededor del 7%/K, como lo esperado por la ecuación Clausius Clapeyron, alimentando aumentos comparables en eventos de precipitación fuertes impulsada por la convergencia de humedad. El promedio de precipitaciones y la evaporación se ven limitados por el aumento más lento en la atmósfera del enfriamiento radiativo de la superficie. Esto conduce a una disminución en las precipitaciones de regímenes convectivos que los modelos logran mediante la reducción del vapor de agua en masa y el flujo del viento asociado a un debilitamiento de la circulación Walker (circulación del aire en el océano Pacífico). Evidencia observacional apoya las conclusiones que las regiones húmedas son cada vez más húmedas y las regiones secas cada vez más secas, pero la respuesta general de los modelos actuales para calentamiento global muestran una tendencia que parece subestimarse y afectar la calidad de las predicciones.

Hoy en día los cambios en los ciclos tropicales del agua están dominados por el calentamiento periódico y húmedo asociado con El Niño Oscilación Sur (ENOS).

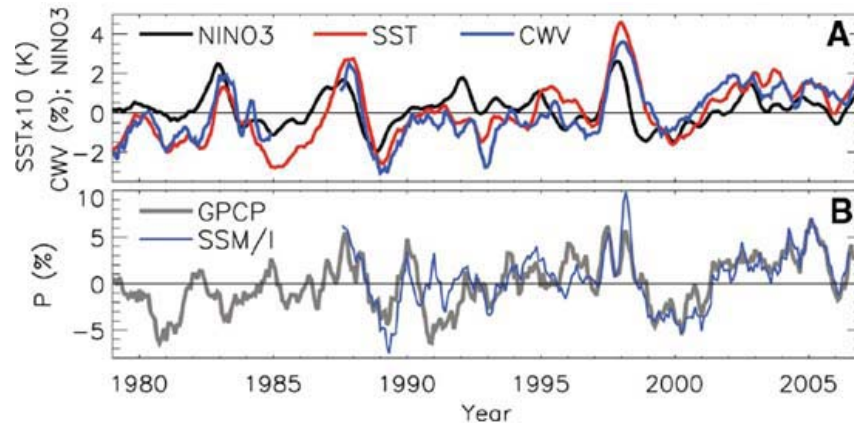
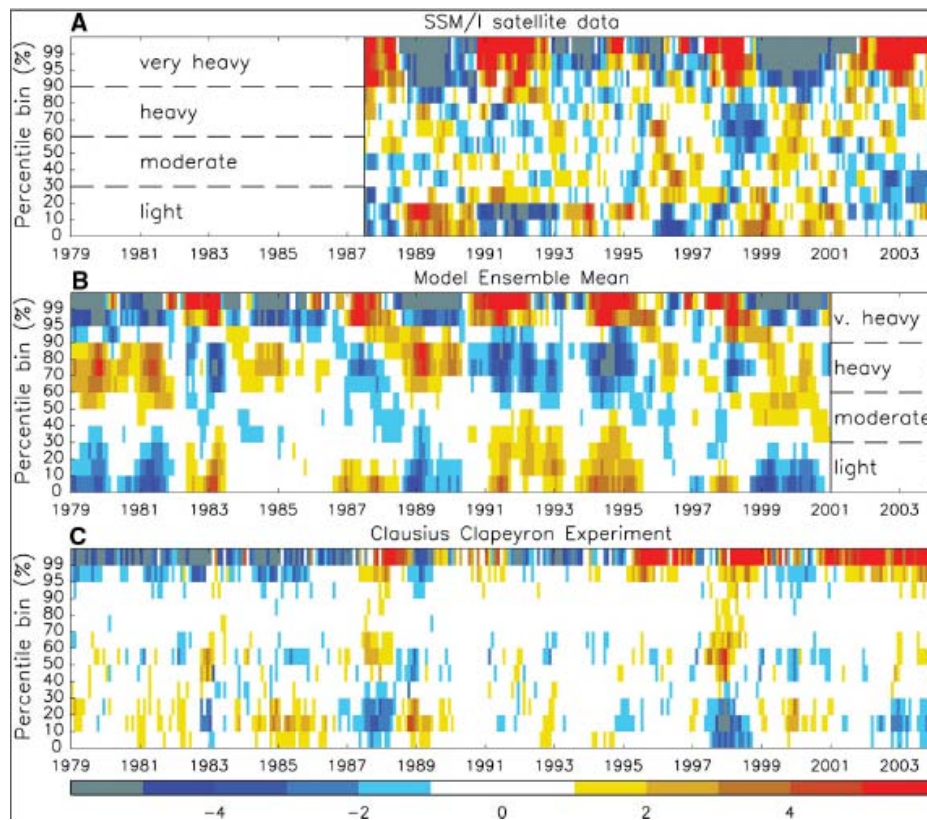




Figura 12.1 Eventos ENOS desde 1980 a 2007 (Richard P., et al, 2008)

La figura 12.1 muestra que los eventos cálidos ENOS (índice positivo Niño-3) se asocian a una mayor columna de vapor de agua y precipitaciones, mientras que el inverso son eventos fríos. Esta variación ofrece un camino para probar la hipótesis acerca de cómo las precipitaciones responden a un clima más cálido. Los mecanismos de contraste que participan en la conducción de precipitaciones pesadas y ligeras requieren un examen de datos diarios: se compararon precipitaciones diarias del Special Sensor Microwave Imager (SSM/I) a lo largo de los océanos tropicales con modelos múltiples CMIP3 fijando datos de temperatura superficial del mar (TSM) y gases de efecto invernadero del siglo XXI.

La resolución de los datos del SSM/I fue limitada a una malla de  $2.5 \times 2.5$  grados, una resolución más comparable con las mallas de los modelos climáticos. Cada mes los mapas de precipitación diaria fueron particionados en 12 bins que van desde el más alto 10% al más bajo de 1%. Desde que los modelos de clima luchan por poder simular la distribución de las intensidades de precipitación, los cambios en las frecuencias de precipitaciones de cada bin se calculan por separado para satélites y modelos. Los límites de los bins se calculan a partir de cada año de datos diarios de cada modelo y de los datos obtenidos por satélite; el año elegido no altera los límites de intensidad de las precipitaciones mayores al 10%. Las anomalías en la frecuencia de las precipitaciones se calcularon para cada bin. Los cambios porcentuales en la frecuencia de las precipitaciones, en relación con la frecuencia media para cada bin, se calculan para cada bin de cada mes.



*Figura 12.2 Porcentaje de cambios en la frecuencia de las precipitaciones de cada bins de los datos y del modelo (Richard P., et al, 2008)*

La Figura 12.2 presenta el porcentaje de los cambios en la frecuencia de las precipitaciones en cada bin de los datos y modelos de la SSM/I. Estos son comparables con los resultados de 10 datos exactos de SSM/I 10% de la resolución de los bins originales y degradados y para distintos modelos. Ahí hay variabilidad coherente observada entre mayores precipitaciones y altas frecuencias asociadas con episodios cálidos de El Niño (1988, 1991, 1997/8, 2002/3) y bajas frecuencias con episodios fríos de La Niña (1989, 1996, 1999/2000). El modelo conjunto (figura 12.2b) muestra cualitativamente de acuerdo con el satélite los datos para los bins con mayores precipitaciones; de acuerdo a la toma de muestras sólo el 20% de los modelos son más húmedos, esencialmente cuando se oculta gran parte las precipitaciones más livianas en los modelos. Sin embargo, aunque la frecuencia de las lluvias ligeras (10-20% bin) tiende a ser una anti-correlación de las frecuencia de las precipitaciones muy fuertes (95-99% bin) de los datos obtenidos por satélite ( $r = -0,51$ ), el inverso ocurre con los modelos ( $r = 0,72$ ). En lugar de una mayor ocurrencia de lluvias fuertes en los modelos a expensas de eventos fuertes de precipitación (70-80% bins) ( $r = -0,90$ ), en contradicción con la variaciones capturadas por satélite.

Evidencias de observaciones sugieren que la media de las precipitaciones y de la evaporación se encuentra actualmente en el aumento muy por encima de lo esperado en el cálculo de la ecuación de Clausius Clapeyron. Hacer observaciones y simulaciones con modelos de precipitación extrema también tiene relación con la termodinámica? Para probar esta hipótesis se realizó un experimento con la ecuación Clausius Clapeyron (CC) la cual se realiza con campos de 1 año de precipitación diaria, del modelo único de atmosfera GFDL CM2.1 , son perturbaciones 7% veces la media mensual HadISST observado de anomalías de la TSM . Esto nos permite determinar qué componente de la respuesta de precipitación en los modelos y las observaciones puede ser de CC (figura 2c). Las lluvias torrenciales respuesta de los datos obtenidos por satélite y los modelos, resultan ser compatibles con la teoría. Sin embargo, el cambio de frecuencia de las precipitaciones modelado con bins de CC no puede explicar la variabilidad observada o simulada.

La Figura 12.3 muestra las series de tiempo observadas y simuladas del porcentaje de anomalías en las precipitaciones para las frecuencias para 3 bins de precipitaciones fuertes. Hay fluctuaciones en la frecuencia de las anomalías de precipitación en algunos modelos, pero el modelo conjunto de observaciones por satélite demuestra una varianza muy coherente con la variabilidad en los bins de las precipitaciones más pesadas (figura 12.3) con los episodios de El Niño de 1987/88, 1991, 1994/95 y 1997/98, coincidiendo con un aumento de la frecuencia en las mayores precipitaciones. El 2 bins de precipitación mas fuerte (figura 3b) muestra una correlación positiva con el experimento de la ecuación CC ( $r = 0,62$ ) al igual que los datos obtenidos por satélite ( $r = 0,61$ ) aunque con una mayor varianza.

La respuesta de la frecuencia de precipitación por cambios en la TSM ahora es cuantificada para hoy día y su variabilidad en comparación con la respuesta al calentamiento global.

El ajuste lineal entre la frecuencia de las precipitaciones en cada bin y la TSM tropical fue graficada (figura 12.4a). El bin de precipitación más fuerte muestra una dependencia entre la SST de 2 a 3 veces superior a la del modelo. Desde una importancia estadística débil (sólo el 95-99 y 99-100% de bins producen correlaciones con TSM por encima del 95% para ambos modelos y datos obtenidos por satélite) las relaciones se confirman de manera independiente para El Niño y La Niña

en meses por separado. La figura 12.4b muestra esencialmente las mismas diferencias entre los modelos y observaciones, aunque con una mayor sensibilidad.

Es posible que los cambios en la circulación atmosférica asociados con El Niño y La Niña puedan tener un impacto en el cálculo de las relaciones ya que durante el fenómeno de El Niño tiende a ser un periodo seco y húmedo sobre el mar. Para probar esta hipótesis, las relaciones en las figuras 12.4a-b se recalculan para todo el trópico (tierra y océano), utilizando el modelo de datos. Desde que las diferencias del océano sean solo cálculos pequeños, se puede concluir que un mayor ascenso durante El Niño juega un papel menor en la determinación de las relaciones entre frecuencia de las precipitaciones y TSM.

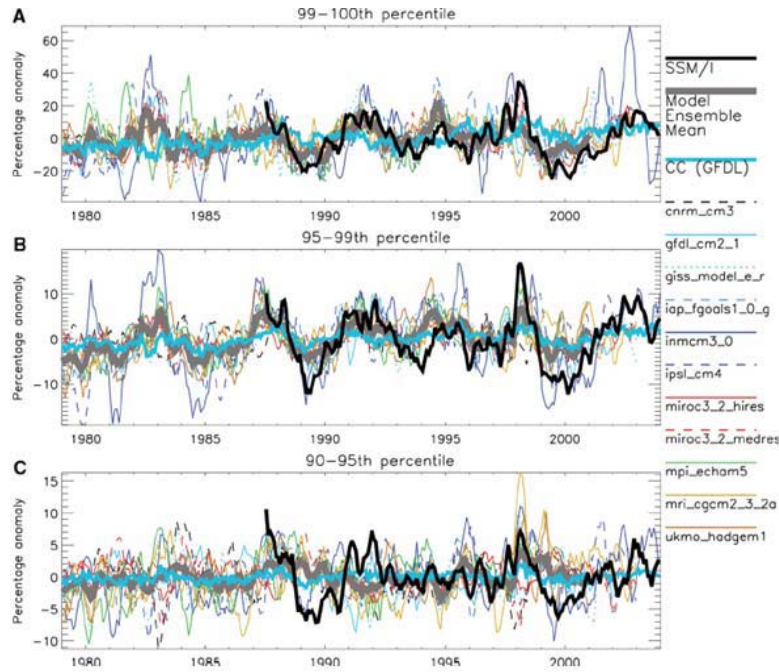
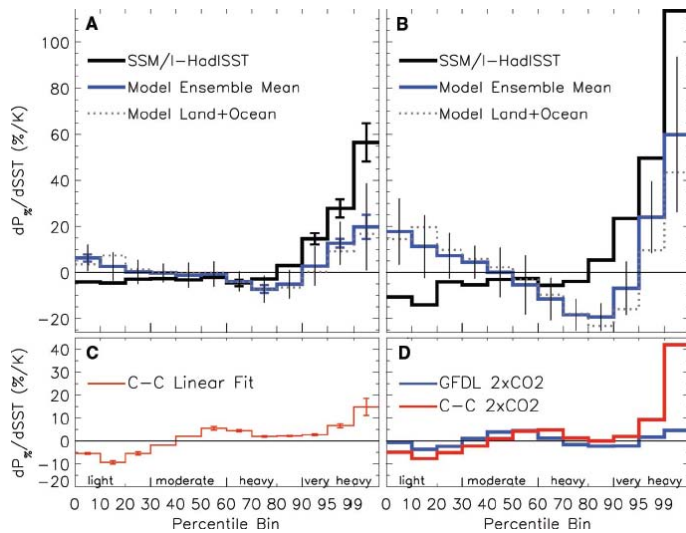


Figura 12.3 Series de tiempo observadas y simuladas del porcentaje de anomalías en las precipitaciones para 3 bins (Richard P., et al, 2008)



*Figura 12.4 Diferencias entre modelos y observaciones de las precipitaciones (Richard P., et al, 2008)*

¿Los cambios en la frecuencia de las precipitaciones se pueden explicar con consideraciones termodinámicas? La regresión lineal entre la frecuencia de las precipitaciones y los cambios en la TSM para el experimento de la ecuación CC (figura 12.4c) muestran una reducción de la luz en las precipitaciones y el aumento en la frecuencias de precipitaciones muy pesadas, como se esperaba las precipitaciones fueron escaladas por un factor constante. Esta respuesta es coherente con el modelo de simulación de respuesta de las precipitaciones más pesadas, pero esto no representa los cambios de otras intensidades de precipitación (figura 4a). Los resultados de el SSM/I en respuestas de frecuencias para precipitaciones muy fuertes parece ser más grande de que lo que se esperaba con CC, lo que teóricamente es posible, dado que la convergencia entre humedad en los trópicos es de por sí determinado por el calor liberado a través de las precipitaciones. ¿Qué implicaciones hace la diferencia entre las respuestas de modelos de precipitación y las observaciones para la predicción del clima? Utilizando la GFDL CM2.1 plenamente acoplado al modelo climático con escenario A1B, considerando los períodos 2001-2005 y 2101-2105. La simulación de respuesta muestra un aumento de la frecuencia de precipitaciones muy fuertes y precipitaciones moderadas. Incluso repercusiones negativas de CO<sub>2</sub> que aumentan la precipitación, la respuesta de las precipitaciones más pesadas y el calentamiento es inferior a la que se espera en la ecuación Clausius Clapeyron y en comparación con las simulaciones de hoy día. Esto plantea lo siguiente, ¿cómo puede un modelo climático ser evaluado con éxito para predicciones de precipitación? Sin embargo, el subestimar la simulación del modelo en respuesta a una mayor precipitación para cambios de TSM con datos obtenidos por satélite durante el período 1988 a 2004 se puede indicar que las proyecciones climáticas también podrían subestimar esta respuesta.

Este estudio utiliza la variabilidad natural del clima a demostrar una relación directa entre un clima más cálido y un aumento en los eventos de precipitación extrema de observaciones realizadas por satélites y modelos de simulación. Si bien los modelos reproducen cualitativamente el comportamiento observado, la tasa de amplificación de eventos de precipitaciones extremos para el calentamiento de la atmósfera se encuentran más débiles en los modelos en comparación con observaciones. De manera similar las discrepancias que se han observado en el promedio mundial de las tendencias de las precipitaciones y la evaporación. También implica que el modelo de proyecciones de futuros cambios de eventos extremos en respuesta al calentamiento global también puede ser impredecible. Dado el potencial de consecuencias sociales y económicas de estos resultados, es crucial determinar si la discrepancia puede explicarse por deficiencias en los sistemas de observación, la representación de los cambios de forzamiento radiativo y de superficie asociados a cambios de flujos o por deficiencias en la parametrización de los modelos y la simulación de las actuales distribuciones de las precipitaciones.

## ANEXO 13

### NATIONAL GEOGRAPHIC MAGAZINE, EL CAMBIO ESTÁ AQUÍ CHANGING CLIMATE ABRIL 2008

*El clima caliente, la elevación del nivel del mar en comunidades costeras, como el sur de la Florida (playas) donde los residentes necesitan dinero para pagar los costos y controlar o salvaguardarse de la erosión en las playas.*

#### 13.1 Lo que vemos

Mayo 19, 1955, 2:30 a.m., mi abuelo, un prudente, abogado y pastor, llevó su Ford Modelo T a un río congelado. Esto no se hubiera planteado en Wisconsin hace algunos años atrás. Yo me crié en ese río en la década de 1970, y aunque no lo recuerdo bien nunca se congeló. El invierno pasado la temperatura media fue de 2 grados Fahrenheit más caliente que durante el invierno de 1920 a 1921. Prueba el cambio climático?. Bueno, quizás sí.

"El problema es que las anécdotas se encuentran sitiadas a una fecha y hora específica", dice Ryan Boyles, climatólogo de Carolina del Norte. "Regionalmente no hemos visto la misma magnitud del calentamiento que hemos visto a nivel mundial. Localmente es mucho más variable." El clima es algo impredecible, los cambios a largo plazo a menudo se esconden detrás del drama de los huracanes, olas de calor, o frío, a corto plazo. Tal vez por eso muchos siguen siendo escépticos que el cambio climático es real o que los seres humanos tienen mucho que ver con él. Pero los signos del cambio climático son todos los que nos rodean?.

Las plantas y los animales cuya existencia depende de señales naturales como la primavera, la presencia de hielo, o el número de días bajo cero han sido los primeros en sentir el calor. "Estamos viendo el impacto en todos los continentes y todos los océanos", dice el biólogo Camille Parmesan, que estudia el seguimiento de los efectos del cambio climático en la fauna silvestre en todo el mundo. "Ninguna región geográfica es inmune. Predijo zonas donde se verían los impactos negativos hace más de 10 años, los animales están viendo la disminución y extinción de sus especies."

Las especies que quedan están en movimiento. En un reciente análisis se estiman que el 40% de todas las plantas y los animales se han desplazado, ya sea hacia las cimas o las laderas de las montañas para tratar de mantenerse dentro de su zona de supervivencia, mientras que casi el 60% muestran los cambios en sus fechas tales como la cría, florecimiento o la migración. El ejemplo clásico es el de la mariposa Edith's Checkerspot, una pequeña y colorida mariposa que se encuentra en todo el Oeste Americano. Durante el último siglo esta mariposa se ha movido hacia el norte a elevaciones más altas con el aumento de las temperaturas.

Al menos la mariposa Edith's Checkerspot tiene un lugar para ir, a diferencia de muchas otras especies adaptadas al frío. Desnutridos osos polares se han convertido en el vivo ejemplo de los

efectos del cambio climático en el Ártico, mientras que en el otro extremo del planeta los cambios en el hielo están afectando a las poblaciones de pingüinos alrededor de la Antártida. Parmesan, autor principal del Tercer Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), publicado en 2001, dice que peor el camino. "Ni siquiera hemos visto mucho calentamiento. Tenemos que tomar medidas ahora para evitar el colapso ecológico".

Algunas especies prosperan en su nuevo clima, aunque no son tanto como los osos polares o los pingüinos. El escarabajo de pino de montaña, un voraz insecto, está teniendo 2 generaciones al año en lugar de uno. Por otra parte, en América del Norte los inviernos casi nunca llegan a menos 40 ° F, la temperatura necesaria para matar estos escarabajos y sus larvas. Como resultado de ello, el escarabajo se ha disparado en todo el oeste de EE.UU. y Canadá, matando a millones de acres de árboles. Funcionarios forestales en Canadá predicen que si el escarabajo continúa propagándose al ritmo actual, el 80% de la Columbia Británica de pinos maduros estarán acabados dentro de cinco años.

Tal vez el más claro e indiscutible signo de un calentamiento se registra en las costas. El promedio de las temperaturas de la superficie del mar han aumentado más lentamente que el promedio de la temperatura del aire, pero como el agua se calienta, se expande. La expansión térmica junto con el escurrimiento de deshielo de los glaciares ha aumentado el nivel del mar, lenta pero persistentemente desde principios de siglo 20. La tasa actual es de aproximadamente una pulgada por década. Los océanos son al fin una forma más sutil, de representar los daños más devastadores del cambio climático a largo plazo. Las emisiones de la quema de combustibles fósiles han impulsado CO<sub>2</sub> en la atmósfera a un nivel de poco más de 380 partes por millón, mayor de lo que ha estado en cientos de miles de años. El dióxido de carbono fácilmente se mezcla con agua para formar ácido carbónico y los océanos están absorbiendo tanto CO<sub>2</sub> por eso sus aguas son cada vez más ácidas.

"Muchas décimas de pH- extra en una escala logarítmica," dice Bob Steneck, profesor de la Universidad de Maine que estudio los estudios los arrecifes de coral en todo el mundo. La acidez es reconocida recientemente como una amenaza para la vida marina, ya que agota el carbonato de iones que los arrecifes de coral y otras criaturas del mar utilizan para construir sus esqueletos duros. "La tasa de acidificación es tan grande que, dada la trayectoria que estamos viendo los arrecifes no van a poder persistir por muchos años", dice Steneck.

Steneck y otros 16 investigadores de arrecifes en todo el mundo llegaron a la conclusión después de un examen exhaustivo de los efectos del cambio climático sobre los corales, publicado en la revista Science en diciembre. El caso de la acidificación de los océanos no es lo suficientemente fuerte, el aumento de la superficie del mar y las temperaturas han provocado eventos de blanqueamiento en el agua donde los corales expulsan las algas simbióticas que necesitan para sobrevivir. El evento mundial de blanqueamiento en 1997-1998 mató al 16% de los corales del mundo, llevando a los investigadores a estimar que más del 20% de los arrecifes del mundo han sido dañados más allá de la reparación por el cambio climático, la contaminación y la destrucción de métodos de pesca., mas el coral que está en juego. Los arrecifes son la piedra angular de todo un ecosistema acuático, incluyendo el hábitat de la pesca que alimenta a más de mil millones de personas en Asia. Su valor económico para la alimentación, el turismo, incluso protección contra las inundaciones costeras, entre otros servicios, se ha valorado en 30 millones de dólares.

Lejos de los trópicos, las temperaturas del Ártico han aumentado de 4 a 5 grados Fahrenheit (2 a 3 grados Celsius) en sólo los últimos 50 años, dos veces más rápido que en otros lugares del planeta. En tiempo de verano el hielo en el Océano Ártico se ha declinado a más de 7% en una década desde el decenio de 1970, y descendió solo un sorprendente 23% entre 2005 y 2007. Una

vez congelado el desierto está ahora a punto de pasar a formar parte de la economía mundial, los gobiernos y los inversores arriesgan sus productos por las vías navegables y el desarrollo de la energía. "Se trata de un moderno Dr. Strangelove en que se ve el deshielo del Ártico a niveles récord y a los rusos en de su pabellón en el fondo marino, para que puedan extraer más petróleo", dice Steneck. Pero es el deshielo del Ártico lo más devastador y que mantiene despierto a científicos. "¿Qué pasaría si se derrite el permafrost?"

Un equipo de investigadores de Rusia y América recientemente calcula que el permafrost de todo el mundo contiene aproximadamente 1000 gigatoneladas de carbono. Eso significa más carbono que se encuentra actualmente en la atmósfera (unas 700 gigatoneladas), más de lo que contiene la vegetación de todo el planeta (650 gigatoneladas). En comparación, con las emisiones de 6,5 gigatoneladas al año del ser humano. Los estudios muestran que algunas zonas del permafrost ya han comenzado a emitir dióxido de carbono y metano. Los investigadores temen que una vez que el deshielo se haya ido, el permafrost podría volcar su carbono a la atmósfera de manera relativamente rápida, amplificando el efecto de las emisiones humanas a causa del cambio climático.

"Me gusta utilizar la temperatura en verano de Europa, donde tenemos un buen historial desde 1780", dice Kevin Trenberth, jefe de la sección de análisis del clima en el Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas y el autor principal del Cuarto Informe de Evaluación del año pasado del IPCC. "Es variable de un año a otro, entonces de repente en el 2003 tenemos un récord de ola de calor. Que la sequía y la ola de calor no se habría producido sin el calentamiento global." Tampoco, dice, que el huracán Katrina ha sido tan grave. 5 a 8% de las precipitaciones en Katrina pueden atribuirse al calentamiento global." El huracán Katrina mató a unas 1500 personas o más. La ola de calor en Europa mató a más de 35.000.

Hasta donde yo sé, mi abuelo nunca repitió su comentario sobre el río. Fue un jugador de ajedrez, y bueno, siempre pensando tres o cuatro movimientos que tenemos por delante. Mientras escribo estas palabras, Carolina del Norte está sufriendo su peor sequía desde comienzos de 1895, y la temperatura de 1976.

*"Estamos viendo el impacto en todos los continentes y todos los océanos. Ninguna región geográfica es inmune".*

*Joel K. Bourne, Jr, escritor de National Geographic.*

### 13.2 Prueba positiva

Un torrente de deshielo fuera de la placa de hielo de Groenlandia, donde los investigadores sondean los procesos físicos detrás de un deshielo de las capas y de los glaciares. En un mundo de calentamiento, el hielo se derrite de una manera inesperada. ¿Qué hay de sorprendente en la velocidad de pérdida de hielo. Aunque es poco probable en este siglo, la capa de hielo que pudiera colapsare en Antártida y Groenlandia elevaría el nivel del 20 pies, inundando muchas costas.

El 19 de mayo de 1955, a las 2:30 am En un claro, casi sin luna, noche de 27 años químico Charles David Keeling está solo en una pasarela en un bosque cerca de Big Sur, California. Starlight trickled a través de las secoyas, el Big Sur River se apresuraron ↯ Neath sus pies. Keeling celebró una esférica de cinco litros de frasco que había bombeado todo el aire. Él abrió con cuidado la llave y deje que el frío, la humedad del aire de Big Sur inundación pulgadas.

¿Qué es lo que hizo Keeling, a partir de 1958 observo los árboles de Mauna Loa en Hawaii y como había influenciado en le ellos el dióxido de carbono. Keeling falleció en el 2005, pero las



mediciones siguen sucediendo. El año pasado, el nivel de dióxido de carbono atmosférico alcanzó las 384 partes por millón. A juzgar por un análisis similar de aire antiguo atrapado en el hielo antártico, que resulta ser mayor que nunca antes visto en los últimos 800000 años.

Gracias a Keeling, todos están de acuerdo que el CO<sub>2</sub> está subiendo. He aquí otro hecho indiscutible: la temperatura de la tierra está subiendo demasiado. El promedio de la temperatura mundial de la superficie compilada en miles de lugares en la tierra como en mar, ha aumentado en 0,74 grados Celsius en el siglo pasado, a un poco más de 1 grado Fahrenheit. Tres cuartos de este incremento ocurrieron en las últimas tres décadas, 11 de los 12 años más calurosos jamás registrados se han producido desde 1995. "El calentamiento del sistema climático es inequívoco", concluyó el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). El IPCC en su Cuarto Informe de Evaluación, publicado el año pasado declaró que era más del 90% seguro de que el reciente calentamiento haya sido causado por el aumento de gases de efecto invernadero, especialmente CO<sub>2</sub>.

Hay poca incertidumbre de que somos los responsables de la acumulación de gases. La humanidad, en gran medida por la quema de combustibles fósiles, las bombas de más de 6 millones de toneladas métricas de CO<sub>2</sub> cada año, sigue aumentando. Un poco más de la mitad de los humanos generan emisiones suficientes para explicar el aumento de CO<sub>2</sub> perfectamente. La mayoría de las restantes emisiones de CO<sub>2</sub> se disuelve en el océano, por lo que es cada vez más ácida.

Algunos vocales siguen escépticos argumentando que el cambio climático si está sucediendo, por causas naturales. Hay poca evidencia para apoyar tal hipótesis. La actividad solar y volcánica, lo que puede hacer caliente o fría la temperatura de la tierra, ha sido aproximadamente la misma en los últimos 50 años. Los cambios en la forma de la órbita de la tierra y la inclinación de su eje, lo que se cree pone en marcha el ciclo de glaciaciones y los períodos cálidos interglaciares, sucede a lo largo de milenios no de décadas. Por otra parte, los complejos modelos computarizados del clima, no reproducen el reciente calentamiento; cuando incluyen el aumento de CO<sub>2</sub>, que se reproduce con bastante precisión.

Mientras que la curva de Keeling continúa aumentando (aumento de CO<sub>2</sub>), las temperaturas también subirán demasiado. No necesitamos modelos del siglo 21 que nos diga eso. Ha sido 181 años desde que el matemático francés Jean Baptiste Joseph Fourier demostró que la atmósfera de la tierra atrapa el calor. Ha sido 149 años desde que el físico británico John Tyndall demostró en experimentos de laboratorio que el dióxido de carbono y vapor de agua se pueden capturar. Y ha sido 112 años desde que el físico sueco Svante Arrhenius calculó que, con un aumento de CO<sub>2</sub> la atmósfera tendría más vapor de agua que amplificaría el calentamiento. En los últimos años también se ha confirmado que la cantidad de vapor de agua en la atmósfera realmente va en aumento.

Parte de la incertidumbre ante el calentamiento global es inherente al propio clima; porque contiene tantas reacciones de amplificación, que nunca serán capaces de predecir los modelos con completa precisión. Y parte de la incertidumbre se debe a nosotros. Desde 2000, las emisiones han crecido más rápido en parte como consecuencia del explosivo crecimiento económico de China y la India (IPCC). Sin embargo, muchos científicos que estudian el clima están alarmados en estos días. Consideran que el aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> y las temperaturas, que rápidamente consumen el Ártico y Groenlandia, saben que existe una gran incertidumbre en los pronósticos de los modelos. En el pasado, resulta, el clima ha cambiado dramáticamente y más rápidamente que el que prevé el IPCC.

Al comienzo de la época del Eoceno, 55 millones de años atrás, los bosques templados se

extendían a los polos, la temperatura del agua en el Océano Ártico, a juzgar por un sedimento perforado allí en el 2004, fue de 73 grados Fahrenheit. Ningún modelo climático hasta ahora ha podido explicar tal invernadero, y la razón puede ser que la tierra es más sensible a las emisiones de CO<sub>2</sub> que los modelos. Tres millones de años atrás, en la época del Plioceno, el nivel de CO<sub>2</sub> estuvo entre 350 y 450 partes por millón, pero el nivel del mar era unos 80 pies más alto que hoy, y gran parte de Florida estaba bajo el agua. Al final la última glaciación, hace 125000 años, el nivel del mar era de 20 pies mayor, lo suficientemente alto como para que hubiera muchos pantanos en la que hoy son ciudades, sin embargo, las temperaturas estaban dentro de las previsiones del IPCC para 2100.

El IPCC prevé un aumento del nivel del mar de no más de unos 2 pies, en este siglo. La estimación no incluye la posibilidad de que la fusión vaya acelerar el deshielo en Groenlandia y la Antártida. Eso no es porque los expertos estén seguros de que esto no pueda suceder, es porque los investigadores aún no pueden cuantificar los efectos de este rápido deshielo.

Sin embargo, los signos de Groenlandia y la Antártida han sido inquietantes. Mediciones por satélite indican que las capas de hielo han comenzado a perder sustancialmente grandes cantidades de hielo. En conjunto, se añade casi un milímetro cada año del nivel del mar, simplemente porque el agua de mar se expande, se calientan, y porque los glaciares en todo el mundo se están derritiendo. Desde comienzos del decenio de 1990 el nivel del mar ha aumentado de unos 3 milímetros al año, en comparación con menos de 2 en los decenios anteriores. El informe del IPCC asume que se mantendrá el aumento al mismo ritmo, o a lo sumo, el doble de este tipo. Pero la verdad más profunda es que los científicos han aprendido acerca del clima en los últimos decenios, aparte del hecho de que estamos cambiando, ¿Estamos llegando?

Groenlandia se ha calentado 4C (7,2 ° F) desde 1991, mucho más que el resto del mundo; el área de la capa de hielo ha sido mucho menores a razón de 13% menos al año. En el Océano Ártico a finales del pasado verano había un 23% menos cubierta de hielo que en septiembre de 2005, cuando el récord anterior fue establecido. En sólo 2 años un área de hielo más grande que Texas, Louisiana, Arkansas, Missouri, Alabama y combinadas se había perdido. ¿Cuáles serán las repercusiones sobre Groenlandia y el planeta cuando todas las aguas abiertas, en lugar de reflejar la luz del sol de vuelta al espacio y solo empiece a absorber los días de verano? Nadie sabe.

Estas incógnitas hacen que los científicos del clima se preocupen más. "Hay muchas cosas en el sistema climático que no entendemos", químico de la universidad de Harvard Dan Schrag dijo recientemente, "y la mayoría de ellos conducen a exacerbar las proyecciones actuales de los impactos del calentamiento futuro." Schrag estaba hablando en un seminario que organizó el pasado mes de septiembre para discutir lo que él llamó una "medida desesperada" un plan para bloquear el bombeo de azufre en la atmósfera superior, el efecto invernadero del planeta y la prevención de catástrofes. Después de todo, no hay indicios de que las emisiones de CO<sub>2</sub> sean disminuidas en breve. "El consumo de combustibles fósiles se ha incrementado a nivel mundial, casi se triplicó desde que comenzó la medición de CO<sub>2</sub>," escribió Keeling en 1998.

Mientras se mantiene el aumento de CO<sub>2</sub>, las temperaturas subirán demasiado. No necesitamos modelos de computadoras que nos diga eso.

Robert Kunzig, escritor con Wallace Broecker del libro Fixing Climate que se publicará a finales de este mes.

### 13.3 Ahora es personal

El Stateline Wind Energy Center está a la frontera de Oregón-Washington. Sus 454 turbinas, cada

una a más de 160 pies de altura, captura la brisa constante a través de Columbia River Gorge. El proyecto genera suficiente electricidad para alimentar a más de 70000 hogares, aún no produce emisiones.

El cambio climático no es sólo acerca de chimeneas y deshielo de los glaciares. Es también sobre las personas, como usted y como yo. Jugamos un papel importante en el cambio climático del planeta más de lo que usted podría pensar, pero también podemos ser parte de su solución.

Mi esposa, PJ, y yo nos dimos cuenta en el verano pasado cuando fuimos a una parrillada familiar. Alrededor de un tercio de los seis millones de toneladas de CO<sub>2</sub> vienen de EE.UU. cada año. Una familia estadounidense promedio consume alrededor de 50000 libras al año de CO<sub>2</sub> 9 veces más por habitante que en Botswana y 19 veces más per cápita que en la India. Alrededor de la mitad de las emisiones de CO<sub>2</sub> provienen de nuestros hogares y la mitad de nuestros vehículos.

Lo que primero hicimos fue contratar un profesional de auditoría energética. Luego de varios estudios y escaneadas nuestras paredes con una cámara infrarroja para ver si existían algunas fugas, se colocó un potente ventilador en nuestra puerta para tirar al aire cualquier fuga, tales como los marcos de las ventanas, chimenea, luces en techos, tuberías o en los que vienen a través de las paredes. Él probó nuestro horno de gas natural, inspeccionó el sistema de conductos, y verificó nuestros aparatos. Aparte de descubrir que nuestra casa parecía estar en forma.

"Hubiera sido más divertido si se viviera en una granja de 1920," dice Ed. "En los hogares, como el que estamos se puede reducir los costos de la energía en un 25%." Estábamos esperando ahorrar mucho más que eso. Si los científicos tienen razón sobre el clima, la humanidad debe reducir las emisiones de gases de efecto invernadero hasta un 80% para el 2050.

Un lugar donde se puede quitar el aire acondicionado, puede representar el 11% del uso de la energía de toda la casa. Para mantener la vida tolerable en julio, cuando las temperaturas en Virginia son muy altas, se podría comprar un gran ventilador de techo para los dormitorios. Simplemente por mantener el aire en movimiento, un ventilador puede hacer que una habitación se sienta más fría, con modelos que ahorran hasta un 98% por ciento menos energía que una central de aire acondicionado. La instalación del ventilador no es tarea sencilla, ya que nuestro techo es de 17 pies de alto. Tuve que alquilar una escalera gigante. Pero el esfuerzo extra ha valido la pena. Hemos podido mantener el termostato a 80, reduciendo nuestras emisiones de CO<sub>2</sub> hasta ocho libras la noche, y dormir cómodamente.

Lo mismo sucede con el calentador de agua, lo que puede consumir otro 11% por ciento de energía de toda la casa. La nuestra funciona con gas natural, que es más eficaz que la calefacción eléctrica. Pero yo estaba muy interesado en ver si podemos recortar factura del gas, por lo que rechace el termostato del calentador de "caliente" a "tibio". Nuestra ducha todavía sale agua caliente y nuestros platos todavía se limpian en el lavavajillas.

Nuestras luces pueden gastar hasta un 10% de su electricidad. Yo pude sustituir la mayoría de nuestras bombillas incandescentes con fluorescentes compactos, que utilizan 75% menos energía y duran diez veces más. Al igual que muchas otras cosas más. "Cuando usted piensa en todas las cosas que puede utilizar en su casa, se vuelve loco. Se tiene que usar el sentido común y priorizar.

Televisores, cajas de cable digital, grabadoras de vídeo, reproductores de DVD, videojuegos, estéreos, computadoras, impresoras, routers inalámbricos consumen energía, incluso cuando aun están apagados. Lo mismo para los cargadores de teléfonos inalámbricos, teléfonos celulares, cámaras digitales, y DustBuster. El Lawrence Berkeley National Laboratory estima que 5 a 8% de

los hogares de EE.UU. desperdician la electricidad por aparatos como estos o equipos en modo de espera. Además de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en el hogar, PJ y yo estábamos trabajando también sobre la evolución de nuestros hábitos en cuanto al auto. Cada galón de gas contribuye un poco más de 19 libras de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Cuando puedo trabajo en casa, ocupo el transporte público de vez en cuando, y utilizo mi bicicleta cuando voy al supermercado.

Pero sin duda cuando nuestra factura de electricidad llegó, nuestros esfuerzos para ahorrar energía no fueron en vano, un ahorro de \$ 190 durante el pasado mes de julio, un descenso de 67%. PJ y yo fuimos capaces de disminuir nuestro gasto de emisiones de CO<sub>2</sub> de a casi la mitad. Nada mal para unos aprendices. Hemos redescubierto que en bicicleta los viajes son muy divertidos, y buscamos caminar con amigos e ir al mercado los sábados por la mañana sin utilizar el auto.

Podríamos hacer más para conservar la energía, por supuesto, podríamos invertir en un coche híbrido o un nuevo sistema de aire acondicionado. O mejor aún, podríamos empezar de cero, dijo Ed Minch. El está construyendo una casa en Maryland que utilizara lo menos posible energía eléctrica, algo así como energía neutra. "Después de trabajar en miles de casas por años, quiero construir una casa extremadamente eficiente y muy asequible", dice Ed.

Los 2.775 pies cuadrados, tres dormitorios, diseñada por su hermano, un arquitecto, incluye aislamiento extra, doble paneles de ventanas, paneles solares en el techo para generar cinco kilovatios de electricidad, y un panel solar para proporcionar agua caliente. "Todo está al alcance", dice Ed. "No hay nada aquí que cualquier persona, no pueda hacer."

Los gastos adicionales fueron \$ 5000, mientras que su ahorro anual será de \$ 1700 aproximadamente la mitad del costo de una casa convencional en cuanto a costos de energía. En el pasillo se instalo una pequeña ventana. "Ahí es donde Ed puede mirar el medidor de electricidad". Cuando los paneles solares están operando a plena capacidad, Ed espera que el medidor se registre menos consumo, una vez que hayas visto eso, dijo Ed., "usted sabe que tengo que es una buena inversión tenerlo".

Su nueva casa es, probablemente en 10 años lo que los códigos locales de construcción implementen, dice Ed. Sin embargo, una creciente demanda de eficiencia energética de las casas al igual que el combustible de los automóviles puede acelerar la disponibilidad. "Yo no pude esperar a ver lo que va a ser la construcción en 15 o 20 años", dice Ed. "No tengo ninguna duda de que seremos capaces de lograr un ahorro del 80% mucho antes de 2050. El problema será hacer qué todos construyamos casas ecológicas para el 2008!".

Nuestra experiencia nos afecta nuestra rutina diaria y nuestros horarios ocupados. Hemos redescubierto que andar en bicicleta es muy divertido, y esperamos que cada vez más personas se interesen por hacerlo.

Peter Miller editor en National Geographic.

#### 13.4 Villa Verde

Yo vivo en una casa iluminada por paneles solares. Me baño y lavo los platos con la ayuda de un calentador de agua super eficiente.

Samsøe es una pequeña isla danesa que utiliza el sol y el viento para liberarse de las emisiones de gases de efecto invernadero. Samsøe y Friburgo son pioneros en la conservación del medio ambiente, pero ya no está solo. Comunidades de todo el mundo se están uniendo a los esfuerzos

para estabilizar el clima. En los Estados Unidos unas 780 ciudades se han comprometido a cumplir el Protocolo de Kyoto sobre reducción de gases de efecto invernadero, aunque el presidente George W. Bush se negó a firmar este acuerdo nacional. Desde Los Ángeles a Shepherdstown, West Virginia, de Miami a Milán, Minnesota, los alcaldes se han comprometido a reducir sus emisiones a 7% por debajo de los niveles de 1990 para el año 2012. Juntos, representan casi uno de cada cuatro estadounidenses.

Para el alcalde de Seattle Greg Nickels, el cambio climático se convirtió en una preocupación en el 2005, cuando un invierno de poca nieve en el Pacífico Noroeste dejó sin nieve las pistas de esquí y dejó a la región con poco suministro de agua. Nickels sabía que una sola ciudad no podría hacer frente a un problema global por sí solo. "Si sólo Seattle hiciera el compromiso, sería solo algo simbólico, es difícil pedir a las personas que cambien sus vidas por algo simbólico", dice Nickels. Luego, el duro trabajo se inició: el mejoramiento del servicio de autobuses y carriles para bicicletas y la expansión de campos verdes en la ciudad. Esos esfuerzos, junto con bonos de energía eólica en la ciudad son de gran utilidad, Seattle ayudó al gobierno a reducir sus emisiones en casi el 60% muy por debajo de los niveles de 1990. La ciudad entera rebajo su producción de gases de efecto invernadero en un 8% por debajo de las cifras de 1990, superando los objetivos de protocolo de Kioto a pesar de un crecimiento vigoroso.

Nickels celebró una conferencia en Seattle, donde los alcaldes de todo el país promocionan sus logros e ideas de comercio. Algunos están cambiando el gas metano por otros generadores de electricidad. Algunos incluso están haciendo que los agentes de policía ya no usen las patrullas y utilicen Segways para sus rondas y la utilización de alta tecnología como los scooters eléctricos. Y si bien las metas no son obligatorias, no todas las ciudades se reúnen para incentivar sobre nuevas alternativas que cumplan los objetivos del Protocolo de Kyoto, incluso puede no ser nada rentable. Basta con cambiar las bombillas, una ciudad con señales de tráfico de emisores de luz (LED) podría salvar cientos de miles de dólares en costos de energía y emisiones de dióxido de carbono cada año. Las compras de energía eólica y solar locales pueden crear obras de construcción e ingeniería, como lo ha hecho Friburgo.

No obstante, los científicos dicen que si se estabiliza el clima, necesitaremos más recortes de emisiones. Así Nickels y sus compañeros son ahora alcaldes, establecen lugares en la ciudad con reducciones de emisiones de un 80% por debajo de los niveles de 1990 para el año 2050 y pidiendo al gobierno federal ayudarlos con las reformas e innovaciones necesarias para alcanzar más allá los límites de la ciudad.

Las ciudades no están solas. A principios del 2008, 18 estados de EE.UU., que representan casi el 50% de la población, han establecido sus propias estrategias para la reducción de los gases de efecto invernadero. California y Florida se han fijado algunos de los más ambiciosos objetivos, con el objetivo, al igual que los alcaldes, de reducir las emisiones un 80% por debajo de los niveles de 1990 para el año 2050. El Oeste, Nordeste y Centro-Oeste de EE.UU., se han unido para formar alianzas sobre la protección del clima. Más de la mitad de todos los estados planean impulsar el uso de energía a partir de turbinas eólicas, paneles solares, y fuentes geotérmicas, comprometidos a utilizar al menos el 20% de energía renovable para el año 2020. California, un viejo líder en la protección de la calidad del aire, va más allá, dos centrales eléctricas que requieren adoptar medidas de eficiencia y premiar a las empresas que lo hagan, colocando el beneficio de las empresas de servicios públicos en línea con las metas ambientales del estado. El Golden State (California) se encuentra también en la lucha contra el derecho de la Agencia Federal de Protección Ambiental en regular las emisiones de gases de efecto invernadero de los automóviles nuevos y camiones de fabricantes de automóviles que pone en sobre aviso al estado que considera que el dióxido de carbono es un contaminante nocivo como cualquier otro gas de escape.

Este mosaico de esfuerzos locales, estatales y regionales ha atraído la atención de otro grupo influyente de la comunidad: las empresas de los EE.UU. Después de años y con el auge sobre la ciencia del clima, pequeñas empresas estadounidenses están tomando el cambio climático muy en serio. Muchos ven la labor de las ciudades y los estados como un augurio de la nueva reglamentación nacional sobre los gases de efecto invernadero, "Porque la reglamentación obligatoria sobre gases de efecto invernadero es inevitable", dice Truman Semans del Pew Center on Global Climate Change.

En el siglo 12 la ciudad de Friburgo se transformó en el epicentro de la eficiencia energética alemana después del desastre nuclear de 1986 en Chernobyl. La ciudad instaló miles de paneles fotovoltaicos para sus carriles de bicicletas y peatones. Más de un tercio de los 217000 residentes no usan autos y las emisiones de CO<sub>2</sub> se han reducido un 10% en el último decenio.

Samsøe la pequeña isla de Dinamarca es una de las pocas comunidades sin casi ninguna huella de emisiones de carbono. En 1997 el gobernador danés desafió a los ciudadanos a luchar por la energía libre. Hoy 11 aerogeneradores suministran electricidad a la isla de alrededor 4000 habitantes, 10 más producen energía para vender al continente. Otras comunidades están siguiendo su ejemplo en Inglaterra, Suecia, y en otros lugares.

Un anuncio reciente de British Standards Agency reprendió a Royal Dutch Shell por un anuncio sobre la utilización de menos emisiones de carbono, "Usamos nuestros residuos de CO<sub>2</sub> para el cultivo de flores," después que los ambientalistas señalaron que la empresa envió sólo reduce un mínimo porcentaje de sus emisiones de dióxido de carbono.

Sin embargo, Shell y otras grandes empresas, como Hewlett-Packard y DuPont, han alcanzado diversos objetivos en la reducción de sus emisiones en sus prácticas empresariales. Otras empresas están revisando sus cadenas de suministro de CO<sub>2</sub> a nivel global. Wal-Mart, ha puesto en marcha un programa para reducir su energía utilizada en él la producción y transporte de productos como la pasta de dientes, jabón, y otros artículos básicos.

Algunas empresas, tales como Whirlpool, están construyendo productos con mayor rendimiento energético, mientras que otros están creando nuevas tecnologías carbon-thrifty. DuPont y BP, por ejemplo, están trabajando para superar los obstáculos técnicos del biobutanol, un combustible renovable con un mayor contenido de energía de etanol. Shell apuesta a algas biocarburantes, y Google ha anunciado planes para invertir cientos de millones de dólares en el desarrollo de energía más barata, energía renovable, y otras fuentes de viento.

Las ciudades y empresas, a pesar de sus loables esfuerzos, siguen emitiendo mucho dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero en la atmósfera, lo que altera el clima desde hace décadas, si no siglos, por venir. Después de todo, este es todavía un mundo donde Peabody Coal vende siete u ocho toneladas de carbono fósil cada segundo. Los grandes cambios, dicen muchos en la comunidad empresarial, no sucederán a menos que el gobierno de los EE.UU. le ponga un precio de carbono, ya sea a través de un impuesto o un sistema de comercio de emisiones de gases de efecto invernadero. "Los esfuerzos voluntarios por sí solos no resolverán el problema", DuPont CEO Chad Holliday dijo a un comité del Senado el año pasado.

Justo antes de la última ronda de conversaciones sobre clima en Bali, los líderes de más de 150 empresas multinacionales emitieron un comunicado pidiendo "una acción temprana y fuerte" sobre el cambio climático, incluidos algunos derechos ambiciosos sobre emisiones, restricciones y una

ampliación del mercado de carbono. "Creemos que la lucha contra el cambio climático está actualmente en crecimiento", resumieron los empresarios.

*Más de 770 ciudades de EE.UU. se han comprometido a cumplir el Protocolo de Kyoto sobre los objetivos de reducción de gases de efecto invernadero..*

*El galardonado escritor científico Michelle Nijhuis.*

### 13.5 Cuando nos vamos

En medio de un cultivo de caña, un trabajador toma un descanso en una granja orgánica de caña de azúcar en Sao Paulo, Brasil. Alrededor del 40% del transporte de combustible en Brasil proviene del etanol, que genera hasta un 90% menos de CO<sub>2</sub> que la gasolina. Los productores orgánicos también reducen el uso de los derivados del petróleo (pesticidas y fertilizantes).

Como sociedad, estamos ante el mayor problema que tienen los seres humanos, jamás se ha hecho algo por nosotros mismos. Es evidente que los estadounidenses saben que el Presidente Bush no firmara las reformas sobre emisiones de carbono, pero la mayoría también cree que el próximo Presidente, no importa de qué partido provenga, finalmente lo firmara comprometiéndose a disminuir sus emisiones. Mientras tanto, la comunidad internacional, después de las leyes impuestas sobre el calentamiento dictada por el Protocolo de Kyoto, sabe que es un trabajo difícil y su carrera es la más extenuante que debemos correr. A finales del año pasado las naciones del mundo se unieron en Bali para elaborar el marco para la negociación de un nuevo tratado.

El otoño pasado las noticias sobre la rápida e inesperada disminución del hielo marino en el Ártico, conmocionó a algunos investigadores. Por otra parte, en diciembre, James Hansen, uno de nuestros principales climatólogos, dijo que 350 partes por millón de CO<sub>2</sub> podrían representar el límite superior de la seguridad real y que ya estamos un 10% más allá de ese número. En caso de detengamos las emisiones de carbono lo antes posible, no sólo reducir las, y dejamos que la tierra y sus sistemas naturales hagan su trabajo de limpieza sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera.

Por otra parte, es cada vez más evidente que tenemos muchas herramientas para tener éxito. La energía renovable ya no es un espejismo en la distancia, hay suficientes molinos de viento y paneles solares que nos pueden empezar a ayudar. Hemos aprendido muchísimo acerca de la conservación de la energía en todas las formas: la lámpara fluorescente compacta (antes este tipo de bombilla solo se podía comprar en Australia). Las últimas noticias sobre tecnologías hablan de un nuevo panel solar (california) que puede venderse a tan sólo un dólar por vatio-más barato que una planta nueva de carbón y de los posibles avances en baterías de iones de litio que podría finalmente llevar a un auto eléctrico. El otoño pasado, por ejemplo, McKinsey & Company, tal vez la primera empresa consultora en el país, publicó un nuevo estudio que demostró cómo podría reducirse radicalmente el uso de la energía en este país en el 2030, el dinero ahorrado podría compensar el costo. No se trata de estudiantes de posgrado son personas que buscan impulsar la economía del futuro. La unión Europea ha desafiado a los Estados Unidos para reducir las emisiones de carbono en un 30% para el año 2020 hasta la fecha no hemos podido, pero podríamos.

Nadie te obliga a correr maratones, pero en el caso del cambio climático, la única opción es ir a trabajar. En términos económicos, algunos análisis han sugerido que el cambio climático podría reducir la economía mundial en un 20%. En términos humanos, la ONU no ha dejado de lado sus estimaciones sobre el número de refugiados que podría causar, ¿cuántos casos de malaria podría desencadenar, ¿cuántas especies podría verse en peligro de extinción. Por el momento, el destino final es menos importante que el principio. Nuestras excusas (en especial China) han comenzado a



sonar. Somos la superpotencia del mundo?, pero la única manera de demostrarlo es utilizar menos energía (y demostrar que todavía saben algo sobre la combinación de incentivos que podrían persuadir a China y la India a hacer lo mismo.)

## ANEXO 14

### ESTACIONES PARA EL REGISTRO DE VELOCIDAD DE VIENTO EN MÉXICO

#### 14.1 Estaciones Meteorológicas Automáticas, Servicio Meteorológico Nacional / Comisión Nacional del Agua (EMAS-CNA)

La Unidad del Servicio Meteorológico Nacional administra la red de las Estaciones Meteorológicas Automáticas EMA's pertenecientes a la Comisión Nacional del Agua. Estas estaciones transmiten al Satélite GOES y sus datos son promedio de cada 10 minutos. Se tiene un dato cada 10 min durante un registro continuo de 24 horas al día, para todos los días del mes. Una Estación Automática está conformada por un conjunto de sensores que registran y transmiten información meteorológica de forma automática de los sitios donde están estratégicamente colocadas. Su función principal es la recopilación y monitoreo de algunas variables meteorológicas del lugar para generar archivos del promedio de cada 10 minutos durante 3 horas para cada variable. El área representativa de las estaciones es de 5 km de radio aproximadamente, en terreno plano, excepto en terreno montañoso. Los sensores que integran una estación automática son: sensor de velocidad del viento, sensor de dirección del viento, sensor de temperatura y humedad relativa, sensor de radiación solar, sensor de precipitación y un panel Solar

#### **Sensores para registrar velocidad de viento**

El ensamble de las copas es suspendido y balanceado por un sistema superior y más abajo por los rodamientos de acero inoxidable. Mientras las copas giran, el imán provoca una serie de contactos.

#### Características Técnicas:

Tipo: Anemómetro de copas

Rango de operación: 0 a 241 km/h

Precisión:  $\pm 0.4\%$

Resolución: 0.1 km/h

Velocidad Máxima: 240 km/h

Umbral de arranque: 0.67 m/s (2.4 km/h)

Señal de salida: Contacto de cierre, 10 máximo

#### **Sensores para registrar dirección del viento**

El ensamble de la veleta esta balanceada y equilibrada por un juego de rodamiento de acero inoxidable, uno superior y uno inferior.

El sensor tiene un potenciómetro con un diseño para minimizar el desgaste de éste debido a los cambios de dirección de alta velocidad.

#### Características Técnicas:

Rango de operación: 0 a 360°

Exactitud:  $\pm 2\%$

Resolución: 1 grado  
Velocidad máxima: 240 km/h  
Umbral de arranque: 0.67 m/s (240 km/h)  
Señal de salida: 0 a 10 kilo ohms (de 0 a 360°)

**Variables meteorológicas registradas por las estaciones EMA'S de la CNA**

Dirección del viento (DIR). El valor obtenido es el promedio de 10 minutos de la dirección del viento. La dirección indica de donde proviene el viento, su unidad de medición es en grados donde 0° es norte verdadero, su unidad de medición es en grados.

Dirección del viento de ráfaga (WSMDIR). La dirección del viento de ráfaga es la dirección de donde proviene la ráfaga más intensa en un lapso de 10 minutos, su unidad de medición es en grados.

Velocidad del viento (WSK). La velocidad del viento es el promedio aritmético de las velocidades medidas en un lapso de 10 minutos, su unidad de medición es en km/h.

Velocidad del viento de ráfaga (WSMK).- La velocidad del viento de ráfaga es la máxima velocidad medida en un intervalo de 10 minutos (se toman muestras cada **5 seg.**), su unidad de medición es en km/h.

Temperatura promedio (AvgTemp). Es la temperatura promedio de las mediciones realizadas en un lapso de 10 minutos (se toman muestras cada minuto), su unidad de medición es en °C.

Humedad relativa (AvgRH). La humedad relativa es el promedio de las mediciones realizadas en un intervalo de 10 minutos (se toman muestras cada minuto), su unidad de medición es en %.

Presión Barométrica (AvgBP). La presión barométrica es el promedio de las mediciones realizadas en un lapso de 10 minutos (se toman muestras cada minuto), su unidad de medición es el mb (milibar).

Precipitación (Rain). Es la lámina de precipitación acumulada en un lapso de 10 minutos, su unidad de medición es el mm (milímetro).

Radiación (AvgSR). La radiación solar son los valores promedio medidos en un lapso de 10 minutos (se toman mediciones cada minuto), su unidad de medición es en W/m<sup>2</sup> (watt/m<sup>2</sup>).

Batería (Batt). Batería recargable de 12 volts.

Panel solar (Spapel). Panel Solar, empleado para recargar la batería.

En la figura 14.1 se muestra el mapa de la República Mexicana se indica la ubicación de las EMA's pertenecientes al SMN-CNA.



Figura 14.1 Ubicación de las EMA's (<http://smn.cna.gob.mx/>)

Tabla 14.1 Catálogo de Estaciones Meteorológicas Automáticas, SMN, CNA

| Núm. | Estado              | Nombre               | Identificador | Clave | Latitud   | Longitud   | Altitud | Regional                | Inicio    |
|------|---------------------|----------------------|---------------|-------|-----------|------------|---------|-------------------------|-----------|
| 1    | Aguascalientes      | Calvillo             | 1562A790      | AG01  | 21°50'58" | 102°42'44" | 1618    | Lerma Santiago Pacífico | 15-Nov-04 |
| 2    | Baja California     | Bahía de los Angeles | 15992038      | BC05  | 28°53'47" | 113°33'37" | 10      | Península de B.C.       | 06-Abr-00 |
| 3    | Baja California     | Cataviña             | 1562D100      | BC06  | 29°43'38" | 114°43'09" | 514     | Península de B.C.       | 10-Nov-04 |
| 4    | Baja California     | La Rumorosa          | 15630592      | BC07  | 32°16'20" | 116°12'20" | 1262    | Península de B.C.       | 06-Nov-04 |
| 5    | Baja California     | Mexicali             | 1598F7DC      | BC03  | 32°40'1"  | 115°17'27" | 50      | Península de B.C.       | 26-Mar-00 |
| 6    | Baja California     | Presa Abelardo L. R. | 15AE7400      | BC01  | 32°26'50" | 116°54'30" | 156     | Península de B.C.       | 07-May-99 |
| 7    | Baja California     | Presa Emilio L. Z.   | 15ACB4EA      | BC02  | 31°53'29" | 116°36'12" | 32      | Península de B.C.       | 02-Jul-99 |
| 8    | Baja California     | San Quintín          | 1598F4AA      | BC04  | 30°31'54" | 115°50'15" | 32      | Península de B.C.       | 01-Abr-00 |
| 9    | Baja California Sur | Cabo San Lucas       | 159FF69E      | BS03  | 22°52'52" | 109°55'35" | 224     | Península de B.C.       | 26-Abr-00 |
| 10   | Baja California Sur | Cd. Constitución     | 159D968C      | BS02  | 25°00'35" | 111°39'48" | 28      | Península de B.C.       | 21-Abr-00 |
| 11   | Baja California Sur | Gustavo Díaz Ordas   | 159945DE      | BS04  | 27°38'34" | 113°27'27" | 37      | Península de B.C.       | 11-Abr-00 |
| 12   | Baja California Sur | Santa Rosalía        | 159C5168      | BS01  | 27°20'17" | 113°16'10" | 53      | Península de B.C.       | 16-Abr-00 |
| 13   | Campeche            | Calakmul             | 15B5D0CE      | CM03  | 18°21'54" | 89°53'33"  | 28      | Península de Yucatán    | 16-Dic-02 |
| 14   | Campeche            | Campeche             | 15AFD602      | CM02  | 19°50'10" | 90°30'26"  | 11      | Península de Yucatán    | 26-Abr-00 |
| 15   | Campeche            | Cd. del Carmen       | 15AFB354      | CM01  | 18°38'53" | 91°49'21"  | 8       | Península de Yucatán    | 30-Abr-00 |
| 16   | Campeche            | Escárcega            | 1562E49A      | CM04  | 18°36'30" | 90°45'14"  | 93      | Península de Yucatán    | 17-Nov-04 |
| 17   | Coahuila            | Nueva Rosita         | 15B67738      | CO01  | 27°55'12" | 101°19'48" | 366     | Río Bravo               | 22-Dic-03 |
| 18   | Coahuila            | Santa Cecilia        | 15704608      | CO02  | 28°23'58" | 101°12'47" | 595     | Río Bravo               | 25-Nov-04 |
| 19   | Chiapas             | Escuintla            | 15B687BC      | CS02  | 15°17'51" | 90°40'34"  | 42      | Frontera Sur            | 29-Dic-03 |
| 20   | Chiapas             | Palenque             | 15B63432      | CS01  | 17°31'33" | 91°59'25"  | 52      | Frontera Sur            | 17-Dic-02 |
| 21   | Chihuahua           | Basaseachi           | 157E121C      | CH06  | 28°11'57" | 108°12'32" | 1973    | Pacífico Norte          | 07-May-99 |
| 22   | Chihuahua           | Ciudad Delicias      | 15B6644E      | CH07  | 28°10'12" | 105°30'00" | 1188    | Noroeste                | 26-Dic-03 |
| 23   | Chihuahua           | Chinatú              | 15AE370A      | CH05  | 26°13'46" | 106°46'14" | 1982    | Río Bravo               | 04-Jun-99 |
| 24   | Chihuahua           | Chinipas             | 15AB5A8       | CH01  | 27°23'34" | 108°32'11" | 431     | Pacífico Norte          | 24-May-99 |
| 25   | Chihuahua           | Guachochi            | 15ABB6DE      | CH02  | 26°48'49" | 107°04'23" | 2390    | Pacífico Norte          | 31-May-99 |

**Factores que afectan al viento y su relación con los huracanes, calentamiento global y el fenómeno del Niño/La Niña**

|    |                  |   |          |      |           |            |      |                 |           |
|----|------------------|---|----------|------|-----------|------------|------|-----------------|-----------|
| 26 | Chihuahua        | Jiménez                                     | 1562C276 | CH08 | 27°06'39" | 104°54'23" | 1360 | Pacífico Norte  | 18-Nov-04 |
| 27 | Chihuahua        | Maguarichi                                  | 15AE11E6 | CH04 | 27°51'30" | 107°59'40" | 1663 | Pacífico Norte  | 10-Jun-99 |
| 28 | Chihuahua        | Urique                                      | 157E4260 | CH03 | 27°12'56" | 107°55'1"  | 577  | Pacífico Norte  | 15-Abr-99 |
| 29 | Distrito Federal | Escuela Nacional de Ciencias Biológicas IPN | 15ADA566 | DF02 | 19°27'13" | 99°10'16"  | 2389 | Valle de México | 15-Abr-99 |
| 30 | Distrito Federal | Tacubaya                                    | 15AD90FC | DF01 | 19°24'13" | 99°11'49"  | 2320 | Valle de México | 15-Abr-99 |
| 31 | Distrito Federal | Tezontle                                    | 15715784 | DF04 | 19°23'07" | 99°05'59"  | 2358 | Valle de México | 24-Feb-00 |

*Tabla 14.1 Catálogo de Estaciones Meteorológicas Automáticas, SMN, CNA (continuación)*

|    |            |                  |          |      |             |              |      |                             |           |
|----|------------|------------------|----------|------|-------------|--------------|------|-----------------------------|-----------|
| 32 | Durango    | Agustín Melgar   | 15B5B528 | DG02 | 25° 15' 48" | 104° 03' 58" | 1226 | Cuencas Centrales del Norte | 15-Dic-02 |
| 33 | Durango    | Las Vegas        | 15B601A8 | DG01 | 24° 11' 09" | 105° 27' 58" | 2398 | Pacífico Norte              | 13-Dic-02 |
| 34 | Guanajuato | Presa Allende    | 159483A6 | GT01 | 20°50'54"   | 100°49'29"   | 1915 | Lerma Santiago Pacífico     | 13-Mar-00 |
| 35 | Guerrero   | Acapulco         | 15ADD3F6 | GR01 | 16°45'48"   | 99°44'56"    | 76   | Pacífico Sur                | 30-Abr-99 |
| 36 | Guerrero   | Cd. Altamirano   | 15B5E554 | GR02 | 18° 21' 02" | 100° 39' 30" | 251  | Balsas                      | 14-Dic-02 |
| 37 | Guerrero   | Iguala           | 1562F7EC | GR04 | 18°21'37"   | 99°31'27"    | 780  | Balsas                      | 22-Oct-04 |
| 38 | Guerrero   | Petalcalco       | 15B6E25A | GR03 | 17° 59' 04" | 102° 07' 23" | 53   | Balsas                      | 12-Dic-02 |
| 39 | Hidalgo    | Huichapan        | 15B651D4 | HI03 | 20° 23' 19" | 99° 39' 50"  | 2080 | Golfo Norte                 | 30-Dic-03 |
| 40 | Hidalgo    | Pachuca          | 158BB730 | HI01 | 20°05'49"   | 98°42'51"    | 2423 | Valle de México             | 04-Mar-00 |
| 41 | Hidalgo    | Huejutla         | 15A2107A | HI02 | 21°09'17"   | 98°22'07"    | 115  | Golfo Norte                 | 26-Mar-00 |
| 42 | Jalisco    | Chapala          | 15ADE66C | JA01 | 20°17'25"   | 103°12'06"   | 1493 | Lerma Santiago Pacífico     | 10-Abr-99 |
| 43 | Jalisco    | Jocotepec        | 157D9306 | JA03 | 20°16'59"   | 103°24'59"   | 1506 | Lerma Santiago Pacífico     | 13-Ago-99 |
| 44 | Jalisco    | Los Colomos      | 1598C130 | JA04 | 20°42'24"   | 103°23'34"   | 1571 | Lerma Santiago Pacífico     | 17-Mar-00 |
| 45 | Jalisco    | Río Tomatlan     | 15AE52EC | JA05 | 19°59'55"   | 105°08'01"   | 141  | Lerma Santiago Pacífico     | 30-Abr-00 |
| 46 | Jalisco    | Tizapan          | 157D70F4 | JA02 | 20°10'10"   | 103°02'38"   | 1503 | Lerma Santiago Pacífico     | 14-Ago-99 |
| 47 | México     | Atacomulco       | 158E037E | MX03 | 19°47'30"   | 99°52'11"    | 2600 | Lerma Santiago Pacífico     | 01-Mar-00 |
| 48 | México     | CEMCAS           | 1571621E | MX05 | 19°28'47"   | 98°58'25"    | 2176 | Valle de México             | 09-Dic-04 |
| 49 | México     | Cerro Catedral   | 15ADB610 | MX01 | 19°32'31"   | 99°31'9"     | 3754 | Lerma Santiago Pacífico     | 01-Abr-99 |
| 50 | México     | Nevado de Toluca | 1598D246 | MX04 | 19°07'0"    | 99°46'0"     | 4139 | Lerma Santiago Pacífico     | 09-Mar-00 |
| 51 | México     | Presa Madín      | 1571929A | MX02 | 19°31'28"   | 99°16'05"    | 2364 | Valle de México             | 24-Abr-00 |
| 52 | Michoacán  | Angamacutiro     | 15AE247C | MC01 | 20°07'31"   | 101°43'21"   | 1730 | Lerma Santiago Pacífico     | 02-May-00 |
| 53 | Michoacán  | Apatzingan       | 15B5C3B8 | MC02 | 19° 04' 58" | 102° 22' 18" | 282  | Balsas                      | 09-Dic-02 |
| 54 | Michoacán  | Uruapan          | 15B6B226 | MC03 | 19° 22' 51" | 102° 01'     | 1606 | Balsas                      | 26-Dic-   |

**Factores que afectan al viento y su relación con los huracanes, calentamiento global y el fenómeno del Niño/La Niña**

|    |            |   |          |      |             |              |      |                         |           |
|----|------------|---|----------|------|-------------|--------------|------|-------------------------|-----------|
|    |            |   |          |      |             | 44"          |      |                         | 03        |
| 55 | Morelos    | Instituto Mexicano de Tecnología del Agua | 15ADC080 | MO01 | 18°53'02"   | 99°09'34"    | 1355 | Balsas                  | 20-Abr-99 |
| 56 | Morelos    | Tepoztlan                                 | 15633008 | MO02 | 18°57'03"   | 99°04'44"    | 1384 | Balsas                  | 21-Oct-04 |
| 57 | Nayarit    | Acaponeta                                 | 15B6D7C0 | NY02 | 22° 27' 59" | 105 23' 07"  | 29   | Pacífico Norte          | 21-Dic-03 |
| 58 | Nayarit    | Ixtlan de Río                             | 15B6C4B6 | NY01 | 21° 02' 20" | 104° 17' 53" | 1163 | Lerma Santiago Pacífico | 24-Dic-03 |
| 59 | Nuevo León | Presa el Cuchillo                         | 15ACF7E0 | NL01 | 25°43'59"   | 99°19'15"    | 134  | Río Bravo               | 11-Abr-00 |

*Tabla 14.1 Catálogo de Estaciones Meteorológicas Automáticas, SMN, CNA (continuación)*

|    |                 |   |          |      |             |              |      |                             |           |
|----|-----------------|---|----------|------|-------------|--------------|------|-----------------------------|-----------|
| 60 | Oaxaca          | Matías Romero                           | 15B62744 | OX03 | 16° 52' 58" | 95° 02' 11"  | 186  | Golfo Centro                | 15-Dic-02 |
| 61 | Oaxaca          | Nochistlan                              | 1563237E | OX04 | 17°26'12"   | 97°14'57"    | 2040 | Pacífico Sur                | 15-Nov-04 |
| 62 | Oaxaca          | Pinotepa Nacional                       | 15B6F12C | OX02 | 16° 20' 59" | 98° 03' 09"  | 195  | Pacífico Sur                | 16-Dic-02 |
| 63 | Oaxaca          | Puerto Ángel                            | 15AB9032 | OX01 | 15°40'16"   | 96°29'50"    | 91   | Pacífico Sur                | 01-Ago-00 |
| 64 | Puebla          | Universidad Tecnológica de Tecamachalco | 15AE0290 | PU01 | 18°51'59"   | 97°43'18"    | 2047 | Balsas                      | 02-Jun-99 |
| 65 | Puebla          | Izúcar de Matamoros                     | 15A1A4FA | PU02 | 18°37'0"    | 98°27'7"     | 1353 | Balsas                      | 18-Mar-00 |
| 66 | Querétaro       | Huimilpan                               | 15919710 | QO01 | 20°23'25"   | 100°17'1"    | 2280 | Lerma Santiago Pacífico     | 29-Feb-00 |
| 67 | Quintana Roo    | Cancún                                  | 15B01210 | QR01 | 21°04'30"   | 86°46'33"    | 50   | Península de Yucatán        | 27-Abr-00 |
| 68 | Quintana Roo    | Cozumel                                 | 15B5F622 | QR04 | 20° 28' 37" | 86° 54' 25"  | 5    | Península de Yucatán        | 12-Dic-02 |
| 69 | Quintana Roo    | Chetumal                                | 15B0278A | QR02 | 18°30'02"   | 88°19'40"    | 14   | Península de Yucatán        | 25-Abr-00 |
| 70 | Quintana Roo    | Sian Ka'an                              | 159A643C | QR03 | 20°07'40"   | 87°27'56"    | 8    | Península de Yucatán        | 03-May-00 |
| 71 | San Luis Potosí | Ciudad Valles                           | 1.56E+09 | SL02 | 21°58'47"   | 99°01'51"    | 58   | Golfo Norte                 | 17-Nov-04 |
| 72 | San Luis Potosí | Matehuala                               | 15B612DE | SL01 | 23° 38' 51" | 100° 39' 57" | 1627 | Cuencas Centrales del Norte | 10-Dic-02 |
| 73 | Sinaloa         | Obispo                                  | 1562B4E6 | SI01 | 24°15'4"    | 107°11'17"   | 4    | Pacífico Norte              | 18-Nov-04 |
| 74 | Sonora          | Álamos                                  | 15AE6776 | SO01 | 27°01'18"   | 108°56'16"   | 409  | Noroeste                    | 31-May-99 |
| 75 | Sonora          | Bahía de Kino                           | 15B6A150 | SO03 | 28° 43' 48" | 111° 49' 48" | 160  | Noroeste                    | 29-Dic-03 |
| 76 | Sonora          | Yecora                                  | 15B725BE | SO02 | 22° 22' 19" | 108° 55' 52" | 1530 | Noroeste                    | 10-Dic-02 |
| 77 | Tabasco         | Paraíso                                 | 15B694CA | TA01 | 18° 25' 24" | 93° 09' 20"  | 4    | Frontera Sur                | 26-Dic-03 |
| 78 | Tamaulipas      | Ciudad Mante                            | 15B642A2 | TM05 | 22° 44' 40" | 98° 58' 59"  | 85   | Golfo Norte                 | 21-Dic-03 |
| 79 | Tamaulipas      | Matamoros                               | 15ACE496 | TM03 | 25°53'09"   | 97°31'07"    | 4    | Río Bravo                   | 05-Abr-00 |
| 80 | Tamaulipas      | San Fernando                            | 15B70352 | TM04 | 24° 50' 34" | 98° 09' 27"  | 45   | Golfo Norte                 | 08-Dic-02 |
| 81 | Tamaulipas      | Soto la Marina                          | 1596C558 | TM02 | 23°45'51"   | 98°12'28"    | 21   | Golfo Norte                 | 03-Abr-00 |
| 82 | Tamaulipas      | Altamira                                | 158B722E | TM01 | 22°23'15"   | 97°55'32"    | 61   | Golfo Norte                 | 08-Jun-99 |
| 83 | Tlaxcala        | Huamantla                               | 15A0158E | TL01 | 19°23'      | 97°57'       | 2222 | Balsas                      | 17-Mar-00 |

|    |          |                               |          |      |           |           |      |              |           |
|----|----------|-------------------------------|----------|------|-----------|-----------|------|--------------|-----------|
| 84 | Veracruz | Alvarado                      | 15ADF51A | VR04 | 18°42'54" | 95°37'57" | 113  | Golfo Centro | 29-Mar-00 |
| 85 | Veracruz | Cd. Alemán                    | 15AF9508 | VR05 | 18°11'21" | 96°05'51" | 107  | Golfo Centro | 28-Mar-00 |
| 86 | Veracruz | Centro de Previsión del Golfo | 157BB524 | VR01 | 19°08'34" | 96°06'41" | 19   | Golfo Centro | 17-Mar-00 |
| 87 | Veracruz | Jalapa                        | 159872BE | VR02 | 19°31'47" | 96°55'29" | 1439 | Golfo Centro | 15-Mar-00 |
| 88 | Veracruz | La Cangrejera                 | 15AFA092 | VR06 | 18°06'21" | 94°19'53" | 34   | Golfo Centro | 03-Abr-00 |
| 89 | Veracruz | Tuxpan                        | 1599F650 | VR03 | 20°57'36" | 97°25'01" | 5    | Golfo Centro | 28-Mar-00 |

*Tabla 14.1 Catálogo de Estaciones Meteorológicas Automáticas, SMN, CNA (continuación)*

|    |           |              |          |      |             |             |      |                             |           |
|----|-----------|--------------|----------|------|-------------|-------------|------|-----------------------------|-----------|
| 90 | Yucatán   | Celestún     | 15AFF0EE | YC02 | 20°51'29"   | 90°22'59"   | 10   | Península de Yucatán        | 13-Abr-00 |
| 91 | Yucatán   | Mérida       | 15AFE398 | YC01 | 20°56'47"   | 89°39'06"   | 18   | Península de Yucatán        | 16-Abr-00 |
| 92 | Yucatán   | Río Lagartos | 15B00166 | YC03 | 21°34'16"   | 88°09'37"   | 5    | Península de Yucatán        | 19-Abr-00 |
| 93 | Yucatán   | Tantanquin   | 15B71024 | YC04 | 20° 01' 49" | 89° 02' 50" | 30   | Península de Yucatán        | 14-Dic-02 |
| 94 | Zacatecas | Zacatecas    | 157144F2 | ZC01 | 22°44'48"   | 102°30'22"  | 2270 | Cuencas Centrales del Norte | 18-Abr-00 |

En la figura 14.1 se aprecia la ausencia de estaciones en puertos importantes del Pacífico como: Mazatlán (Sinaloa), Puerto Vallarta (Jalisco), Manzanillo (Colima), Lázaro Cárdenas (Michoacán) y Salina Cruz (Oaxaca). Los puntos en rojo indican aquellas estaciones que actualmente se encuentran fuera de operación: Obispo (Sinaloa), Uruapan (Michoacán), Petacalco (Guerrero), Acapulco (Guerrero), Matías Romero (Oaxaca), La Cangrejera (Veracruz), Escarcega (Campeche), Río Lagartos (Yucatán), Cancún (Quintana Roo) y Cozumel (Quintana Roo). La primera estación EMA's que inició en operación fue la estación "MX01" el 01 Abril 1999 (7 años de registro), en el estado de México conocida con el nombre de "Cerro Catedral". La última estación es ponerse en operación fue el 09 Diciembre 2004 (menos de 2 años de registro), con la clave "MX05" en el Estado de México con el nombre "CEMCAS" (Lago de Texcoco).

En la tabla 14.1 se indican los datos (Estado, Nombre, Identificador, Clave, Latitud, Longitud, Altitud, Región a la que pertenecen y Fecha de inicio de operación) de las 97 EMA's, ordenadas por el estado en que se ubican.

### Avisos de huracanes

Se recurrió al catálogo de huracanes publicado por la NOAA (HURDAT) y editado por UNISYS, el cual contiene la siguiente información: fecha (hora, día, mes y año), presión central del ciclón (en mb), posición geográfica (latitud, longitud) y velocidad máxima sostenida de viento (promediada a 1 min. y a 10 m sobre el nivel del terreno).

### Velocidades de viento para diferentes periodos de retorno publicados por la CFE en el MDOC 1992.

La Comisión Federal de Electricidad presenta en el Manual de Diseño de Obras Civiles, en su capítulo de Diseño por Viento, tablas de velocidades de viento regionales para cinco periodos de retorno: 10, 50, 100, 200 y 2000 años, para las que ahí se consideran las 67 ciudades más

importantes del país (tabla 14.2). A su vez, el manual presenta mapas de isotacas para esos mismos periodos de retorno.

En el manual se define como velocidad regional del viento a la máxima velocidad media probable de presentarse con un cierto periodo de recurrencia en una zona o región determinada del país. Las velocidades mostradas se refieren a condiciones homogéneas que corresponden a una altura de 10 metros sobre la superficie del suelo en terreno plano, por lo que no considera las características de rugosidad locales del terreno ni la topografía específica del sitio. A su vez, "dicha velocidad se asocia con ráfagas de 3 segundos y toma en cuenta la posibilidad de que se presenten vientos debidos a huracanes en las zonas costeras", es decir, considera todos los vientos ocurridos en los puntos de medición, independientemente de su origen.

Tabla 14.2.- Velocidades de viento contenidas en el MDOC-CFE.

| #  | Datos por ciudad |          |        | V (km/h)  |     |     |     |     |
|----|------------------|----------|--------|-----------|-----|-----|-----|-----|
|    |                  |          |        | Tr (años) |     |     |     |     |
|    |                  |          |        | 2000      | 200 | 100 | 50  | 10  |
| 1  | Acapulco         | -99.91   | 16.86  | 209       | 181 | 172 | 162 | 129 |
| 2  | Aguascalientes   | -102.299 | 21.886 | 189       | 160 | 151 | 141 | 118 |
| 3  | Campeche         | -90.52   | 19.85  | 195       | 159 | 146 | 132 | 98  |
| 4  | Cd. Guzmán       | -103.47  | 19.71  | 155       | 132 | 126 | 120 | 101 |
| 5  | Cd. Juárez       | -106.47  | 31.73  | 171       | 158 | 152 | 144 | 116 |
| 6  | Cd. Obregón      | -109.95  | 27.49  | 211       | 186 | 177 | 169 | 147 |
| 7  | Cd. Victoria     | -99.14   | 23.73  | 235       | 197 | 184 | 170 | 135 |
| 8  | Coatzacoalcos    | -94.37   | 18.153 | 180       | 145 | 137 | 130 | 117 |
| 9  | Colima           | -103.74  | 19.25  | 174       | 147 | 138 | 128 | 105 |
| 10 | Colotlán         | -103.28  | 22.11  | 178       | 161 | 155 | 148 | 131 |
| 11 | Comitán          | -92.12   | 16.26  | 160       | 124 | 112 | 99  | 72  |
| 12 | Cozumel          | -86.94   | 20.51  | 213       | 185 | 173 | 158 | 124 |
| 13 | Cuernavaca       | -99.25   | 18.93  | 139       | 120 | 114 | 108 | 93  |
| 14 | Culiacán         | -107.4   | 24.8   | 212       | 180 | 165 | 152 | 121 |
| 15 | Chapingo         | -98.85   | 19.5   | 150       | 126 | 118 | 110 | 91  |
| 16 | Chetumal         | -88.3    | 18.5   | 220       | 180 | 161 | 150 | 119 |
| 17 | Chihuahua        | -106.07  | 28.65  | 165       | 147 | 142 | 136 | 122 |
| 18 | Chilpancingo     | -99.51   | 17.56  | 144       | 131 | 127 | 120 | 109 |
| 19 | Durango          | -104.68  | 24.03  | 143       | 131 | 127 | 122 | 110 |
| 20 | Ensenada         | -116.6   | 31.86  | 247       | 190 | 170 | 148 | 100 |
| 21 | Guadalajara      | -103.35  | 20.67  | 192       | 176 | 170 | 164 | 146 |
| 22 | Guanajuato       | -101.25  | 21.01  | 158       | 148 | 144 | 140 | 127 |
| 23 | Guaymas          | -110.89  | 27.93  | 237       | 190 | 174 | 160 | 130 |
| 24 | Hermosillo       | -110.96  | 29.09  | 228       | 179 | 164 | 151 | 122 |
| 25 | Jalapa           | -96.92   | 19.53  | 180       | 152 | 145 | 137 | 118 |
| 26 | La Paz           | -110.31  | 24.16  | 227       | 200 | 182 | 171 | 135 |
| 27 | Lagos de Moreno  | -101.94  | 21.36  | 157       | 141 | 135 | 130 | 118 |
| 28 | León             | -101.68  | 21.12  | 157       | 148 | 144 | 140 | 127 |
| 29 | Manzanillo       | -104.308 | 19.059 | 240       | 195 | 177 | 158 | 110 |
| 30 | Mazatlán         | -106.42  | 23.2   | 277       | 240 | 225 | 213 | 145 |
| 31 | Merida           | -89.6    | 20.97  | 214       | 186 | 174 | 156 | 122 |
| 32 | Mexicali         | -115.44  | 32.65  | 240       | 190 | 170 | 149 | 100 |
| 33 | México           | -99.1    | 19.35  | 150       | 129 | 120 | 115 | 98  |
| 34 | Monclova         | -101.43  | 26.9   | 184       | 159 | 151 | 145 | 123 |
| 35 | Monterrey        | -100.31  | 25.7   | 182       | 158 | 151 | 143 | 123 |
| 36 | Morelia          | -101.17  | 19.71  | 114       | 102 | 97  | 92  | 79  |
| 37 | Nvo Casas Gdes   | -107.91  | 30.42  | 169       | 148 | 141 | 134 | 117 |
| 38 | Oaxca            | -96.76   | 17.06  | 140       | 122 | 120 | 114 | 104 |
| 39 | Orizaba          | -97.1    | 18.86  | 198       | 172 | 163 | 153 | 126 |
| 40 | Pachuca          | -98.74   | 20.12  | 148       | 137 | 133 | 128 | 117 |
| 41 | Parral           | -105.67  | 26.93  | 181       | 157 | 149 | 141 | 121 |
| 42 | Piedras Negras   | -100.52  | 28.7   | 188       | 168 | 161 | 155 | 137 |
| 43 | Progreso         | -89.65   | 21.28  | 240       | 198 | 181 | 163 | 103 |
| 44 | Puebla           | -98.2    | 19.05  | 132       | 117 | 112 | 106 | 93  |
| 45 | Puerto Cortés    | -111.87  | 24.43  | 222       | 195 | 186 | 175 | 134 |
| 46 | Puerto Vallarta  | -105.22  | 20.62  | 203       | 171 | 159 | 146 | 108 |
| 47 | Querétaro        | -100.39  | 20.59  | 147       | 131 | 124 | 118 | 103 |

|    |                    |         |       |     |     |     |     |     |
|----|--------------------|---------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 48 | Río Verde          | -100    | 21.93 | 156 | 130 | 122 | 111 | 84  |
| 49 | Salina Cruz        | -95.19  | 16.17 | 182 | 146 | 135 | 126 | 109 |
| 50 | Saltillo           | -101    | 25.42 | 165 | 142 | 133 | 124 | 111 |
| 51 | S. C. de las Casas | -92.65  | 16.75 | 144 | 120 | 114 | 105 | 86  |
| 52 | S. Luis Potosí     | -100.99 | 22.16 | 169 | 153 | 147 | 141 | 126 |
| 53 | S. la Marina       | -98.2   | 23.78 | 252 | 204 | 185 | 167 | 130 |
| 54 | Tampico            | -97.86  | 22.23 | 238 | 193 | 177 | 160 | 129 |
| 55 | Tamuín             | -98.77  | 22    | 172 | 155 | 145 | 138 | 121 |

**Tabla 14.2 Velocidades de viento contenidas en el MDOC\_CFE**

|    |              |         |       |     |     |     |     |     |
|----|--------------|---------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 56 | Tapachula    | -92.27  | 14.9  | 167 | 132 | 121 | 111 | 90  |
| 57 | Tepic        | -104.9  | 21.51 | 186 | 160 | 150 | 142 | 117 |
| 58 | Tlaxcala     | -98.24  | 19.31 | 131 | 113 | 108 | 102 | 87  |
| 59 | Toluca       | -99.65  | 19.29 | 115 | 102 | 97  | 93  | 81  |
| 60 | Torreón      | -103.43 | 25.54 | 229 | 193 | 180 | 168 | 136 |
| 61 | Tulancingo   | -98.37  | 20.09 | 130 | 116 | 110 | 106 | 92  |
| 62 | Tuxpan       | -97.4   | 20.96 | 204 | 172 | 161 | 151 | 122 |
| 63 | Tuxtla Gutz. | -93.12  | 16.76 | 141 | 120 | 110 | 106 | 90  |
| 64 | Valladolid   | -88.21  | 20.69 | 240 | 198 | 180 | 163 | 100 |
| 65 | Veracruz     | -96.14  | 19.19 | 222 | 194 | 185 | 175 | 150 |
| 66 | Villahermosa | -92.95  | 17.98 | 151 | 138 | 132 | 127 | 114 |
| 67 | Zacatecas    | -102.52 | 22.75 | 143 | 131 | 127 | 122 | 110 |

**14.2 Estaciones Meteorológicas Automáticas de Superficie, Subsecretaría de Marina Dirección General de Investigación y Desarrollo, Dirección General Adjunta de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología, Dirección de Meteorología Marítima.**

Desde la página de internet (<http://meteorologia.semar.gob.mx/>) de la Secretaría de Marina se puede obtener información de las estaciones que se muestran en la figura 5, de las últimas 3 a 72 horas, no se cuenta con los registros históricos publicados en la página de internet.

La tabla con el nombre de las estaciones solo está en la página como una imagen, por lo que no es inmediato obtener este dato.

Hasta el momento no contamos con información de las estaciones pertenecientes a la Secretaría de María, envié un correo solicitando los registros de las estaciones, habrá que esperar respuesta.



*Figura 14.2 Estaciones Meteorológicas Automáticas de la Secretaría de Marina.*



### 14.3 INIFAP, Red Nacional de Estaciones Estatales Agroclimatológicas

<http://clima.inifap.gob.mx/red/>

Ante la recurrencia de eventos climáticos adversos que afectan las actividades agroalimentarias del país, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), con apoyo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y de las Fundaciones Produce de los Estados, implementaron la Red Nacional de Estaciones Estatales Agroclimatológicas. Las estaciones de la Red están provistas de sensores para el registro de la temperatura del aire a 2 metros sobre el suelo, precipitación, humedad relativa, presión barométrica, humedad del follaje, punto de rocío, radiación solar, dirección y velocidad del viento.

Los datos de todas las estaciones de la Red son enviados cada 15 minutos al Laboratorio Nacional de Modelaje y Sensores Remotos del INIFAP, ubicado en el Campo Experimental Pabellón, Ags., en donde se procesa la información para su difusión en este Portal de Internet. Para ingresar a los datos de la INIFAP se requiere pagar una membresía, ya que la red de monitoreo agroclimático es resultado de esfuerzos institucionales federales y estatales, así como de productores organizados, con el propósito de disponer de la información meteorológica requerida por la agricultura del país.

La operación y mantenimiento de la red de estaciones climatológicas, esta fincada en las aportaciones económicas de productores cooperantes y de las instituciones, a través de cuotas de inscripción y/o la donación de equipos que requiere el proyecto. El pago de la membresía permite al usuario disponer de los datos históricos y gráficos de cualquier estación en operación. Usted puede ver un ejemplo de la información que se ofrece, accedendo a las estaciones del estado de Guanajuato.

Las estaciones del INIFAP se muestran en la siguiente figura 14.3 (puntos en color rojo), obsérvese que la mayor parte de las estaciones se ubican en zonas de cultivo. Aunque el número de estaciones es importante, la mayor parte de ellas fueron instaladas entre los años 2005 y 2006, por lo que se cuenta con muy poca información. Es posible obtener registros históricos mensuales (del 2005 a la fecha) para cada una de las estaciones que se muestran en la figura.

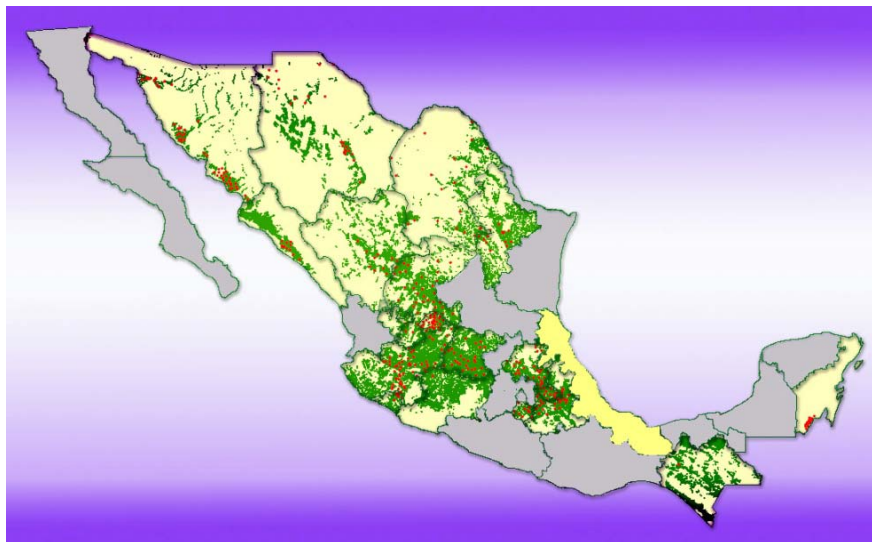


Figura 14.3 Red Nacional de Estaciones Estatales Agroclimatológicas (puntos en color rojo).

Los datos reportados en la figura 14.4 son los siguientes: Prec.: Precipitación total (mm), T. Max.: Temperatura máxima (°C), T. Min.: Temperatura mínima (°C), T. Med.: Temperatura media (°C), VV max.: Velocidad del viento máxima (km/hr), DVV max.: Dirección de la velocidad máxima del viento (grados azimut), VV: Velocidad promedio del viento (km/hr), DV: Dirección promedio del viento (grados azimut), HR: Humedad relativa (%), EP: Evaporación potencial (mm) y ET: Evapotranspiración de referencia (mm).

En la información consultada de estas estaciones no se especifica el intervalo de promedio de la velocidad de viento máxima (Wmax), por lo que asumo que corresponde a velocidad de ráfaga de 1 o 3 seg.



Estación: CEVAG  
 Municipio: Durango  
 Latitud: 23° 59' 12.42"  
 Longitud: 104° 37' 38.7"

#### Datos históricos del mes de mayo de 2006

| Fecha     | Prec. | T. Max. | T. Min. | T. Med. | VV max. | DVV max.   | VV    | DV           | HR     | EP     | ET     |
|-----------|-------|---------|---------|---------|---------|------------|-------|--------------|--------|--------|--------|
| 1/5/2006  | 0     | 28.9    | 8.1     | 19.29   | 18.2    | 253.4 (O)  | 7.66  | 101.94 (E)   | 27.23  | ND     | 8      |
| 2/5/2006  | 0     | 29.3    | 9.2     | 20.47   | 18.8    | 226.8 (SO) | 7.67  | 49.23 (NE)   | 23.48  | ND     | 7.7    |
| 3/5/2006  | 0     | 27.8    | 11      | 20.45   | 21.7    | 264.4 (O)  | 9.42  | 225.01 (SO)  | 37.55  | ND     | 7.1    |
| 4/5/2006  | 0     | 29.7    | 13.3    | 21.5    | 21.7    | 215.3 (SO) | 9.41  | 193.94 (S)   | 31.82  | ND     | 7.8    |
| 5/5/2006  | 0     | 31.6    | 12.7    | 21.39   | 23.9    | 264.4 (O)  | 10.24 | 125.94 (SE)  | 33.39  | ND     | 8.4    |
| 6/5/2006  | 0     | 30.9    | 11.9    | 21.33   | 17.3    | 224.9 (SO) | 8.18  | 195.68 (S)   | 25.24  | ND     | 7.9    |
| 7/5/2006  | 0     | 31.7    | 14.2    | 22.66   | 19.9    | 247.1 (SO) | 9.09  | 108.57 (E)   | 28.48  | ND     | 8      |
| 8/5/2006  | 0     | 31.3    | 16.5    | 22.93   | 17.4    | 238.1 (SO) | 5.19  | 180.38 (S)   | 26.93  | 5.96   | 5.9    |
| 9/5/2006  | 0     | 30.9    | 12.8    | 22.59   | 24.1    | 204.4 (SO) | 6.93  | 346 (N)      | 29.81  | ND     | 7.4    |
| 10/5/2006 | 0     | 32.2    | 8.6     | 21.19   | 21.2    | 207.3 (SO) | 8.04  | 180.8 (S)    | 37.18  | 6.89   | 7.2    |
| 11/5/2006 | 0     | 30.7    | 14.1    | 22.55   | 29      | 121.4 (SE) | 5.89  | 172.65 (S)   | 37.7   | 5.91   | 5.8    |
| 12/5/2006 | 0     | 31.3    | 13.7    | 22.63   | 23.1    | 219.5 (SO) | 7.82  | 354.71 (N)   | 35.08  | ND     | 7.6    |
| 13/5/2006 | 0     | 32.7    | 13.6    | 23.61   | 21.4    | 244.8 (SO) | 8.09  | 194.28 (S)   | 31.93  | ND     | 8      |
| 14/5/2006 | 0     | 31.9    | 14.2    | 23.3    | 18.5    | 261.2 (O)  | 6.41  | 294.5 (NO)   | 26.47  | 6.92   | 7.3    |
| 15/5/2006 | 0.2   | 31.9    | 13.4    | 22.35   | 19.8    | 112.6 (SE) | 6.93  | 332.6 (NO)   | 35.92  | 6.03   | 5.8    |
| 16/5/2006 | 13.6  | 26.7    | 11.6    | 17.39   | 33.3    | 359.6 (N)  | 5.37  | 235.28 (SO)  | 70.22  | 4.52   | 4.2    |
| 17/5/2006 | 3.8   | 23.4    | 9       | 15.15   | 33.1    | 305.4 (NO) | 4.62  | 299.19 (NO)  | 75     | 5.01   | 4.3    |
| 18/5/2006 | 0     | 22.8    | 7.8     | 15.25   | 19.7    | 301 (NO)   | 5.01  | 3.54 (N)     | 63.76  | 5.76   | 4.6    |
| 19/5/2006 | 0     | 26.7    | 10.4    | 18.47   | 9.3     | 85.5 (E)   | 3.6   | 313.19 (NO)  | 50.68  | ND     | 6.1    |
| 20/5/2006 | 0     | 28.9    | 12.2    | 20.69   | 21      | 236.3 (SO) | 5.98  | 108.08 (E)   | 47.96  | ND     | 6.4    |
| 21/5/2006 | 0     | 30      | 12.8    | 21.64   | 15.2    | 224.3 (SO) | 4.46  | 356 (N)      | 44.13  | ND     | 6.5    |
| 22/5/2006 | 0     | 31.7    | 13.8    | 23.34   | 15.7    | 245.1 (SO) | 5.41  | 358.57 (N)   | 45.72  | 6.73   | 6.9    |
| 23/5/2006 | 0     | 33.1    | 14.4    | 24.23   | 13.7    | 64.9 (NE)  | 5.55  | 177.54 (S)   | 35.01  | ND     | 7.5    |
| 24/5/2006 | 0     | 33.1    | 12.5    | 23.92   | 14.8    | 33.3 (NE)  | 4.61  | 330.39 (NO)  | 30.57  | 6.9    | 7.3    |
| 25/5/2006 | 0     | 32.4    | 12.9    | 22.46   | 26.6    | 232 (SO)   | 5.6   | 262.48 (O)   | 34.61  | 6.11   | 6.5    |
| 26/5/2006 | 0     | 31.6    | 13.8    | 21.2    | 28.5    | 223.8 (SO) | 7.39  | 304.27 (NO)  | 40.11  | 5.81   | 6      |
| 27/5/2006 | 0     | 30.6    | 13.3    | 21.03   | 23      | 137.9 (SE) | 7.18  | 319.33 (NO)  | 50.98  | 5.88   | 6      |
| 28/5/2006 | 0     | 30.1    | 13      | 21.57   | 23.5    | 226.7 (SO) | 8.1   | 237.54 (SO)  | 48.01  | ND     | 7.4    |
| 29/5/2006 | 0     | 30.7    | 13.3    | 22.01   | 25.8    | 211.1 (SO) | 5.88  | 238.81 (SO)  | 43.58  | 6.42   | 6.5    |
| 30/5/2006 | 0     | 30      | 13.2    | 21      | 27.9    | 234.5 (SO) | 5.92  | 169.54 (S)   | 46.89  | 5.45   | 5.6    |
| 31/5/2006 | 0     | 30.5    | 12.2    | 20.98   | 19.9    | 6.8 (N)    | 5.95  | 227.57 (SO)  | 50.3   | 5.72   | 5.9    |
| TOTALES   | 17.6+ | 30.16*  | 12.31*  | 21.24*  | 21.52*  | --         | 6.7*  | 226.44 (SO)* | 40.19* | 96.02+ | 207.6+ |

Figura 14.4 Ejemplo de Datos Históricos del mes de mayo de 2006 para una estación en el municipio de Durango.

#### 14.4 Comisión Federal de Electricidad (CFE)

En la página de internet de la Comisión Federal de Electricidad (<http://www.cfe.gob.mx/es/LaEmpresa/meteorologico/huracanes/>) no se cuenta con información de estaciones meteorológicas, únicamente se tienen avisos meteorológicos como precipitación de lluvia y avisos meteorológicos.

#### 14.5 Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE)

En la página del CICESE (<http://oceanografia.cicese.mx/pronostico/datosclima.htm>) se tienen disponibles los datos de las estaciones EMAS de la CNA del año 1999 a 2005 para las estaciones de la Península de Baja California (figura 14.5).



Figura 14.5 Datos climatológicos del CICESE.

#### 14.6 National Data Buoy Center (NDBC), NOAA

<http://www.ndbc.noaa.gov/hmd.shtml>

En la figura 14.6 se muestran las zonas marcadas en recuadros dentro del mapa mundial indican los sitios en que se cuenta con boyas.

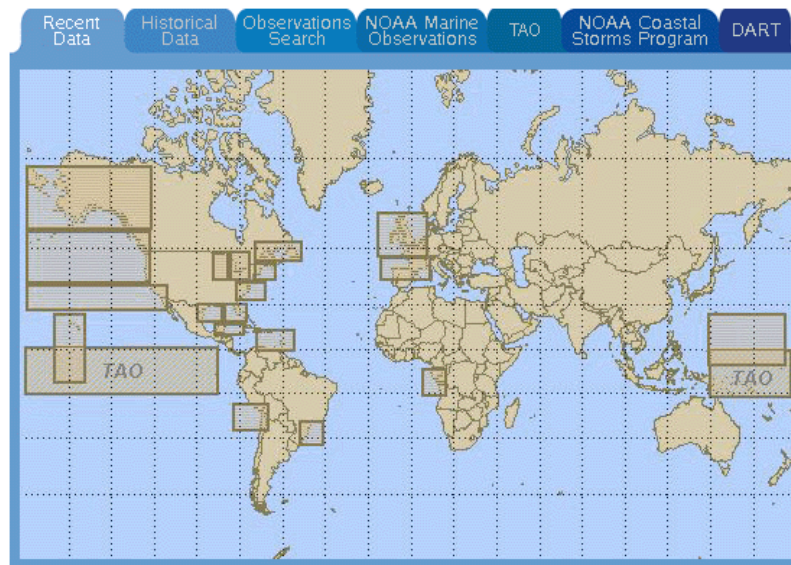


Figura 14.6 Áreas con boyas en el mundo  
([http://www.ndbc.noaa.gov/maps/west\\_caribbean\\_hist.shtml](http://www.ndbc.noaa.gov/maps/west_caribbean_hist.shtml))

Dos de las áreas en que se cuenta con boyas se encuentran cerca de las costas de nuestro país, estas zonas son la del Mar Caribe (ver figura 14.7) y la del Golfo de México (ver figura 14.8).

#### Western Caribbean Historical Marine Data

To view marine data, click a station on the map below:



Figura 14.7 Boyas en el Mar Caribe cerca de las costas de México ([http://www.ndbc.noaa.gov/maps/west\\_caribbean\\_hist.shtml](http://www.ndbc.noaa.gov/maps/west_caribbean_hist.shtml))

#### Western Gulf of Mexico Historical Marine Data

To view marine data, click a station on the map below:

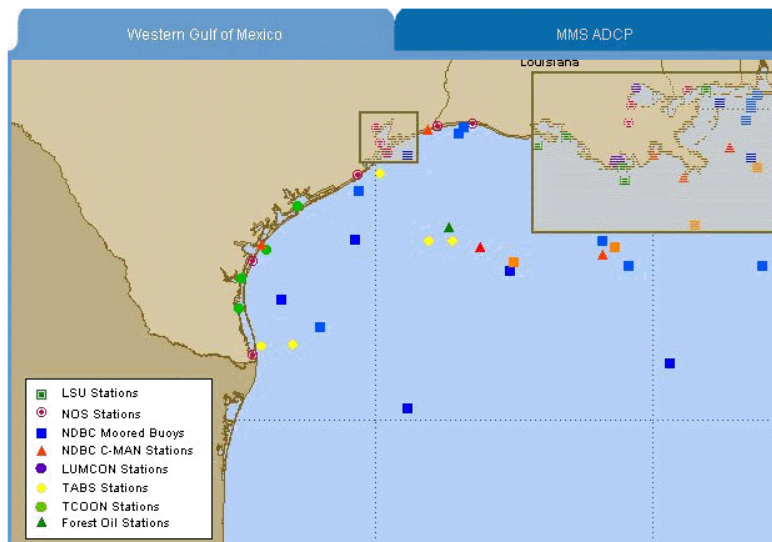


Figura 14.8 Boyas en el Golfo de México cerca de las costas de nuestro país ([http://www.ndbc.noaa.gov/maps/west\\_gulf\\_hist.shtml](http://www.ndbc.noaa.gov/maps/west_gulf_hist.shtml)).



En la tabla 14.3 se muestran los datos disponibles para las boyas que se encuentran en el Mar Caribe, cerca de las costas de nuestro país.

### Western Caribbean

*Tabla 14.3 Boyas en el Mar Caribe cerca de las costas de México.*

| Buoy # | Location                                      | Standard meteorological data |
|--------|---|------------------------------|
| 42055  | Golfo de México                               | Solo año 2005                |
| 42056  | Mar Caribe (es la más cercana a Cozumel)      | Solo año 2005                |
| 42057  | Mar Caribe (entre las Islas Caimán y Jamaica) | Solo año 2005                |
| 42058  | Mar Caribe (cerca de Jamaica)                 | Solo año 2005                |

Para la boya más cercana a las costas de nuestro país en el Golfo de México, en la tabla 14.4 se muestran sus años de registro disponibles en la página de internet de la NOAA.

### Western Gulf of Mexico

*Tabla 14.4 Boyas en el Golfo de México cerca de las costas de nuestro país.*

| Buoy # | Location  | Standard meteorological data |
|--------|---|------------------------------|
| 42002  | Golfo de México (frente las costas de Tamaulipas) | De año 1973 a 2005           |

Además se encontró que PEMBU (UNAM), el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), PEMEX, ERIC II (Extractor rápido de información climatológica del IMTA) solo contiene información climatológica de la base de datos Clicom, del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), perteneciente ésta a la CNA, no cuentan con valores de velocidad de viento.

### 14.5 Resumen velocidades de viento

La tabla 14.5 muestra el intervalo de promedio de las únicas fuentes de velocidades de viento.

*Tabla 14.5 Intervalos de tiempo de las bases de datos existentes de viento.*

| Base de datos              | Intervalo de promedio  |
|----------------------------|--|
| Estaciones EMA's de la CNA | 10 min y 5 seg., a 10 m sobre el terreno                       |
| NOAA (HURDAT) – UNISYS     | 1 min. y a 10 m sobre el nivel del terreno                     |
| Modelo Silva               | 8 min. y a 10 m sobre la superficie del <b>MAR</b>             |
| MDOC - CFE                 | 3 seg y a 10 m sobre la superficie del suelo en terreno plano. |

## REFERENCIAS

- Allan, R.P., Soden B.J. *Atmospheric warming and amplification of precipitation extremes*. *Science* **787**, 1-3 (2008).
- Avances de México en Materia de Cambio Climático 2001-2002/** Patricia Osnaya (compiladora); Adrian Fernández y Julia Martínez (coordinadores). INE-SEMARNAT, México, 2003.
- Emanuel, K. A. *Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years*. *Nature* **436**, 686–688 (2005).
- Emanuel, K. A. *The dependence of hurricane intensity on climate*. *Nature* **326**, 483–485 (1987).
- Emanuel, K.A. *A statistical analysis of tropical cyclone intensity*. *Am. Meteorol. Soc.* **128**, 1139-1152 (2000).
- González, R.P., Pérez, J.L., Sesma, J.S. *Análisis de los posibles impactos del cambio climático, estudio de caso preliminar; Cancún, Quintana Roo*. Subordinación de Hidrometeorología Coordinación de Tecnología Hidrológica. (2006).
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2000). *Resumen para Responsables de Políticas, Escenarios de Emisiones*.
- Herrera, V., *Segunda edición, Manual sobre Instrumentos y Métodos de Observación*. Comisión Nacional Del Agua, 2005.
- Holland, G.J. *The maximum potential intensity of tropical cyclones*. *Am. Meteorol. Soc.* **54**, 2519-2541 (1997).
- Instituto Nacional de Ecología (2007). *Mexico's Third National Communication to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. México.
- Instituto Nacional de Ecología (2000). *Estrategia Nacional de Acción Climática*. México.
- Knutson, T. R., Tuleya, R. E., Shen, W. & Ginis, I. *Impact of CO<sub>2</sub>-induced warming on hurricane intensities as simulated in a hurricane model with ocean coupling*. *J. Clim.* **14**, 2458–2468 (2001).
- Knutson, T.R., Sirtus, J.J., Garner, S.T., Vecchi, G.A. *Simulated reduction in Atlantic hurricane frequency under twenty-first-century warming conditions*. *Nature Geoscience* **1**, 359-364 (2008).
- Knutson, T.R., Tuleya, R.E. *Impact of CO<sub>2</sub>-induced warming on simulated hurricane intensity and precipitation: sensitivity to the choice of climate model and convective parameterization*. *J. Climate*. **18**, 3477-3495 (2004).
- Landsea, C.W. *Hurricanes and global warming*. *Nature* **438**, (2005).
- Herrera, V. G. *Manual sobre instrumentos y métodos de observación*. Comisión Nacional del Agua, 2005.
- Más allá del Cambio Climático, las Dimensiones Psicosociales del Cambio Ambiental Global/** Javier Urbina Soria y Julia Martínez Fernández (compiladores). INE-SEMARNAT, México, 2006.
- Saunders, M.A., Lea, A.S. *Large contribution of sea surface warming to recent increase in Atlantic hurricane activity*. *Nature* **451**, 558 (2008).
- Saunders, M.A., Lea, A.S. *Seasonal prediction of hurricane activity reaching the coast of the United States*. *Nature* **434**, 1005-1008 (2005).
- Shade, L.R., Emanuel, K.A. *The oceanic effect on the intensity of tropical cyclones: results from a simple coupled atmosphere-ocean model*. *Am. Meteorol. Soc.* **56**, 642-651 (1999).
- S. Fred Singer, ed., *Nature, Not Human Activity, Rules the Climate: Summary for Policymakers of the Report of the Nongovernmental International Panel on Climate Change*, Chicago, IL: The Heartland Institute, 2008.
- Mehtha k., *La Ingeniería Estructural ante los Riesgos Naturales, a 20 años de Gilberto*”, 2008.
- Reinoso et al, *Metodología para el Cálculo de Pérdidas en Edificios y Naves Industriales ante Fenómenos Hidrometeorológicos Ocurridos en México* (2006).
- Risk Management Solutions (2006). *U.S. and Caribbean Hurricanes Activity Rates, the New RMS Medium-Term Perspective and Implications for Industry Loss*.
- Treberth, K. *Uncertainty in hurricanes and global warming*. *Science* **308**, 1753-1754 (2005).

## Base de datos:

Eric III

Estaciones Meteorológicas Automáticas, Servicio Meteorológico Nacional  
Estaciones Meteorológicas Sinópticas, Servicio Meteorológico Nacional

**Páginas de internet:**

[www.postmagazine.com/](http://www.postmagazine.com/)  
[www.afp.com/espanol/home/](http://www.afp.com/espanol/home/)  
[www.esourcecanada.com/](http://www.esourcecanada.com/)  
[www.newsday.com/](http://www.newsday.com/)  
[www.abc.net.au/](http://www.abc.net.au/)  
[www.guardian.co.uk/](http://www.guardian.co.uk/)  
[www.ap.org/](http://www.ap.org/)  
[www.nationalgeographic.com/](http://www.nationalgeographic.com/)  
[http://www.aoc.noaa.gov/aircraft\\_lockheed.htm](http://www.aoc.noaa.gov/aircraft_lockheed.htm)  
<http://www.hurricanehunters.com/aboutus.html>  
[earth.google.es/](http://earth.google.es/)  
[es.wikipedia.org/](http://es.wikipedia.org/)  
[www.google.com.mx/](http://www.google.com.mx/)  
[www.ine.gob.mx/](http://www.ine.gob.mx/)  
[www.eluniversal.com.mx/](http://www.eluniversal.com.mx/)  
<http://www.tudiscovery.com/calentamientoglobal/>  
[smn.cna.gob.mx/](http://smn.cna.gob.mx/)