



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

---

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA APLICADA Y**

**TECNOLOGÍA AVANZADA,**

**UNIDAD ALTAMIRA**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE PRODUCTOS SATELITALES  
DEL VIENTO EN EL GOLFO DE MÉXICO.**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN TECNOLOGÍA AVANZADA**

**PRESENTA:**

**ING. CARMEN PATRICIA RIVAS LARA**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**DR. DAVID ALBERTO RIVAS CAMARGO**



**JULIO DE 2012**



## INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

### ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS Y DESIGNACIÓN DE DIRECTOR DE TESIS

México, D.F. a 07 de febrero de 2012

El Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICATA ALT. en su sesión ORD. No.02/12 celebrada el día 21 del mes de febrero-12 conoció la solicitud presentada por el(la) alumno(a):

**Rivas**

Apellido paterno

**Lara**

Apellido materno

**Carmen Patricia**

Nombre (s)

Con registro: 

B	0	9	1	2	9	7
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de:

1.- Se designa al aspirante el tema de tesis titulado:

**Análisis comparativo de productos satelitales de viento en el Golfo de México.**

De manera general el tema abarcará los siguientes aspectos:

**Procesamiento de bases de datos satelitales del campo de viento. Cálculo de climatologías del viento en el Golfo de México. Cálculo de correlaciones entre las bases de datos. Comparación de los datos satelitales con observaciones puntuales en superficie.**

2.- Se designa como Director de Tesis al Profesor:

**Dr. David Alberto Rivas Camargo**

3.- El trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesina será elaborado por el alumno en:

**IPN CICATA. Unidad Altamira**

que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente hasta la aceptación de la tesis por la Comisión Revisora correspondiente:

Director(a) de Tesis

**Dr. David Alberto Rivas Camargo**

Aspirante

**Carmen Patricia Rivas Lara**



CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA  
APLICADA Y TECNOLOGÍA AVANZADA  
DEL IPN  
UNIDAD ALTAMIRA

Presidente del Colegio

**Dr. Abelardo Irineo Flores Vela**



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

*ACTA DE REVISIÓN DE TESIS*

En la Ciudad de **Altamira, Tams.**, siendo las **18:00 hr** horas del día **01** del mes de **Junio** del **2012** se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de **CICATA-Alt** para examinar la tesis titulada

**Análisis comparativo de productos Satelitales del Viento en el Golfo de México**

Presentada por el alumno

**Rivas**

Apellido paterno

**Lara**

Apellido materno

**Carmen Patricia**

Nombre(s)

Con registro: **B 0 9 1 2 9 7**

aspirante de

**Maestría en Tecnología Avanzada**

Después de intercambiar opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA  
Directorio de tesis

**Dr. David Alberto Rivas Camargo.**  
5944-EA-10 Profesor Colegado

**Dr. Felipe Caballero Briones.**  
5945-EA-10 Profesor Colegado

**Dr. Rogelio Ortega Rodríguez.**  
8242-EA-12 Profesor Colegado.

**Dr. Miguel Ángel Arronte García.**  
5676-EB-09 Profesor Colegado

**Dr. Fabio Felipe Chalé Lara.**  
8001-EA11 Profesor Colegado

**Dr. Sergio Bernardo Jiménez Hernández**

**PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES**  
COMISION EN CIENCIA  
APLICADA Y TECNOLOGIA AVANZADA  
DEL IPN  
UNIDAD ALTAMIRA

**Lic. Alfonso Lara Rodríguez**



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de **Altamira, Tamaulipas** el día **5** del mes **Junio** del año **2012**, el (la) que suscribe **Carmen Patricia Rivas Lara** alumno (a) del Programa de **Maestría en Tecnología Avanzada** con número de registro **B091297**, adscrito a **Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Unidad Altamira**, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de **Dr. David Alberto Rivas Camargo** y cede los derechos del trabajo intitulado **Análisis comparativo de productos satelitales del viento en el Golfo de México**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección **CPRL0900@IPN.MX**. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Carmen Patricia Rivas Lara.

**DEDICATORIAS.**

Con mucho cariño para mis padres Lorena y Guillermo por su apoyo en esta empresa que en ocasiones parecía inalcanzable pero con sus consejos y cariño he logrado.

A mis hermanos siempre los tengo presentes.

A Fernando por su amor y apoyo en el logro de este sueño.

### **AGRADECIMIENTOS.**

A mi asesor de tesis Dr. David Alberto Rivas Camargo por brindarme la oportunidad de concluir esta maestría, por su apoyo y confianza.

A mis sinodales Dr. Felipe Caballero Briones, Dr. Miguel Angel Arronte Garcia, Dr. Rogelio Ortega Rodríguez, Dr. Fabio Felipe Chalé Lara y Dr. Sergio Jiménez Hernández por sus consejos en el desarrollo de mi tesis.

A mis compañeras y compañeros del CICATA Altamira: Magda, Mayela, Paola, Rocío, Suliam, Héctor, Jesús y Jorge Luis, por su *porras*, consejos, amistad, cariño y muchos momentos compartidos durante la maestría.

Por último agradezco el apoyo económico otorgado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) mediante una beca de postgrado con número de registro: 333049. Y al Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI) por el apoyo económico.



## RESUMEN

Los datos de viento sobre el océano derivados de los varios productos existentes son de amplia cobertura espacial y relativamente alta resolución espacial y temporal; en los últimos años han sido una gran herramienta en el análisis de las condiciones oceánicas del planeta.

En este proyecto se describe la evolución del campo de viento sobre la superficie del mar en la región occidental del Golfo de México a partir de diversos datos satelitales y se describe su variabilidad espacial y temporal. Los datos usados en este estudio son los de viento derivados del Satélite QuikSCAT, los datos multisatelitales, y el reanálisis del NARR. Se analizó la variabilidad mediante estadísticas básicas y se realizó una comparación con observaciones in situ.

En los resultados se encontró que puede utilizarse cualquier de las bases de datos como una referencia general, todos los datos usados en el análisis reproducen los patrones del viento a escala sinóptica y mesoescala. Sus diferencias principales están relacionadas con la interacción tierra-mar cerca de la costa. En la región mexicana del Golfo las diferencias más notorias son frente a la parte norte de Veracruz, Tabasco y Campeche, pero la distribución de estas diferencias es desde Florida hasta Campeche.

En la franja muy cercana a la costa las mediciones satelitales deben ser combinadas con observaciones para una descripción detallada del campo de viento. La adecuada comparación de las BDs y las mediciones in situ se ve limitada por la escasez de estaciones de observación en aguas mexicanas y que estas dispongan de información confiable. No obstante, la comparación que se presenta en este trabajo sirve como una buena referencia de la bondad de las BDs.

La parte costera del Golfo se representa mejor en la BD RT c/3 hrs por tener las menores diferencias con las otras observaciones. En el caso de eventos extremos, como son los huracanes, estos obtienen la mejor representación en la BD RT c/6 hrs.

## ABSTRACT

Wind data over the ocean derived from several existing products have a wide spatial coverage and a relatively high spatial and temporal resolution. In recent years, they have been very useful tool in the analysis of oceanic conditions in the planet.

This project focuses on the description of the evolution of the sea-surface wind field in the western Gulf of Mexico from various satellite data and its spatial and temporal variability is also described. The wind data used in this study are derived from satellite QuikSCAT, multisatellite data, and NARR reanalysis. The variability was utilized by basic statistics and a comparison with insitu observations was carried out.

The results show that any of the databases can be used as a general reference, all data used in this analysis reproduce both the synoptic and the mesoscale wind patterns. Their main differences are related to land-sea interaction near the coast. In the Gulf's Mexico region the most significant differences are found in front to the northern of Veracruz, Tabasco and Campeche, but the distribution of these differences extends from Florida to Campeche.

Near the coast, satellite measurements must be combined with observations for a detailed description of the wind field. The proper comparison of DBs and in situ measurements is limited by the lack of observation points in Mexican waters, and that these stations provide reliable information. Nonetheless the comparison presented in this paper is a good reference of the reliability of the BDs.

The Gulf is Coast is best by the 3-hourly DB since this presents it has the smallest differences respect to the observations. In cases of extreme events such as hurricanes, best representation is attributed to the 6-hourly y DB.



**ÍNDICE.**

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	XI
LISTA DE TABLAS.....	XIII
LISTA DE ECUACIONES.....	XIII
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. HIPÓTESIS.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3. OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1. GOLFO DE MÉXICO.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2. PARAMETROS CLIMÁTICOS.....</b>	<b>5</b>
<b>2.3. MODELACION NUMÉRICA.....</b>	<b>11</b>
<b>3. ANTECEDENTES.....</b>	<b>13</b>
<b>4. METODOLOGÍA.....</b>	<b>16</b>
<b>4.1. DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS.....</b>	<b>16</b>
4.1.1.Climatología de Observaciones.....	16
4.1.2.Datos Satélites.....	18
4.1.3.Datos Re análisis.....	21
4.1.4.Estaciones Meteorológicas (EMs).....	22
<b>4.2. PROCESAMIENTO DE DATOS.....</b>	<b>24</b>
4.2.1.Primera Etapa: Obtención de las Bases de Datos.....	25
4.2.2.Segunda Etapa: Análisis de Variabilidad.....	26
4.2.3.Tercera Etapa: Comparación con observaciones.....	30
4.2.4.Cuarta Etapa: Casos Especiales.....	31
<b>5. RESULTADOS.....</b>	<b>32</b>
<b>5.1. MEDIAS CLIMATOLÓGICAS.....</b>	<b>33</b>
5.1.1.BD COADS.....	33
5.1.2.BD RT DIARIA vs BD COADS.....	36
5.1.3.BD RT c/6 hrs vs BD COADS.....	37
5.1.4.BD RT c/3 hrs vs BD COADS.....	39
5.1.5.BD SCOW vs BD COADS.....	40
<b>5.2. DESVIACIÓN ESTÁNDAR.....</b>	<b>42</b>
5.2.1.BD RT DIARIA.....	42
5.2.2.BD RT c/6 hrs.....	43
5.2.3.BD RT c/3 hrs.....	44
<b>5.3. CORRELACIÓN ENTRE LAS BASES DE DATOS.....</b>	<b>46</b>
<b>5.4. FASE ENTRE BASES DE DATOS.....</b>	<b>48</b>
<b>5.5. COMPARACIÓN CON OBSERVACIONES (BDs Vs EMs).....</b>	<b>50</b>
5.5.1.Medias Climatológicas.....	52
5.5.2.Desviaciones Estándar.....	59
5.5.3.Correlación y Fase.....	64
<b>6. CASOS ESPECIALES.....</b>	<b>70</b>
<b>6.1. HURACANES EN EL GOLFO.....</b>	<b>70</b>
<b>6.2. NORTES EN EL GOLFO.....</b>	<b>80</b>
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>84</b>

**ÍNDICE (continuación).**

	Página
<b>8. APÉNDICES.</b>	
A. ACRÓNIMOS .....	85
B. GLOSARIO .....	86
C. FZAS.GENERADORES Y REGULADORAS DEL MOVIMIENTO DEL VIENTO ..	92
C.1. Fuerzas Generadoras .....	93
C.2. Fuerzas Reguladoras.....	93
D. SATÉLITES.....	94
E. OBTENCIÓN DE DATOS.....	97
F. DIAGRAMAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS.....	98
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>104</b>

**LISTA DE FIGURAS.**

	Página
Figura 1 Golfo de México ( <i>Google Earth</i> ).....	4
Figura 2 Componentes del Viento. ....	6
Figura 3 Direcciones del Viento y sus componentes $u$ y $v$ .....	6
Figura 4 Origen del viento.....	7
Figura 5 Esfuerzo del Viento.....	8
Figura 6 Partes de una boya NDBC.....	9
Figura 7 Proceso General para la Generación de Productos.....	10
Figura 8 Geometría de observación del satélite.....	19
Figura 9 Fotografía de las Boyas NDBC.....	22
Figura 10 EMs en el Golfo de México.....	23
Figura 11 Etapas del Proyecto.....	24
Figura 12 Partes de una gráfica de viento. ....	32
Figura 13 BD COADS. Media Estadística del Viento (m/s) durante a) Enero, b) Abril, c) Julio y d) Octubre.....	34
Figura 14 BD RT Diaria. Media Estadística del Viento (m/s) durante a) Enero y c) Julio; Diferencia de Medias entre la BD COADS y BD RT Diaria durante b) Enero y d) Julio	37
Figura 15 BD RT c/6 hrs. Media Estadística del Viento (m/s) durante a) Enero y c) Julio; Diferencia de Medias entre la BD COADS y BD RT c/6 hrs durante b) Enero y d) Julio.....	38
Figura 16 BD RT c/3 hrs. Media Estadística del Viento (m/s) durante a) Enero c) Julio; Diferencia de Medias entre la BD COADS y BD RT c/3 hrs durante b) Enero y d) Julio.....	39
Figura 17 BD SCOW. Media Estadística del Viento (m/s) durante a) Enero y c) Julio; Diferencia de Medias entre la BD COADS y la BD SCOW durante b) Enero y d) Julio.....	41
Figura 18 BD RT Diaria. Desviación Estándar del Viento (m/s) durante a) Enero y b) Julio.....	43
Figura 19 BD RT c/6 hrs. Desviación Estándar del Viento (m/s) durante a) Enero y b) Julio.....	44
Figura 20 BD RT c/3 hrs Desviación Estándar del Viento (m/s) del mes de a) Enero y b) Julio ....	45
Figura 21 Correlación compleja entre a) BD RT c/3 hrs y BD RT c/6 hrs; entre b) BD RT c/6 hrs y BD RT Diaria; entre c) BD RT c/3 hrs y BD RT Diaria.....	47
Figura 22 Fase ( $^{\circ}$ ) entre a) BD RT c/3 hrs y BD RT c/6 hrs; entre b) BD RT c/6 hrs y BD RT Diaria; entre c) BD RT c/3 hrs y BD RT Diaria.....	49
Figura 23 Medias Mensuales de Componentes de viento (m/s) entre BDs y Boyas NDBC.....	54
Figura 24 EMs de las medias estadísticas y desviaciones estándar.....	55
Figura 25 Desviaciones Estándar Mensuales de Componentes de viento (m/s) entre BDs y Boyas NDBC.....	62

**LISTA DE FIGURAS (continuación).**

	Página
Figura 26 Series de Tiempo por Componente Zonal entre EMs y BD RT Diaria.....	64
Figura 27 Series de Tiempo por Componente Meridional entre EMs y BD RT Diaria.....	65
Figura 28 Viento en la EM de Altamira .....	69
Figura 29 Huracán Dean (22/08/07; 00:00), en las BDs a)RT c/3 hrs, b)RT c/6 hrs y c)RT Diaria.	73
Figura 30 Huracán Humberto (13/09/07, 00:00) en las BDs a) RT c/3 hrs, b) RT c/6 hrs y c) RT Diaria.....	75
Figura 31 Huracán Lorenzo (28/09/07, 00:00) en las BDs a) RT c/3 hrs, b) RT c/6 hrs y c) RT Diaria.....	77
Figura 32 Huracán Dean (20 al 23 de Agosto del 2007).en las Componentes de viento entre las EMs: No. 42055 y API Altamira, y las BDs .....	78
Figura 33 Huracán Lorenzo (25 al 28 de Septiembre del 2007) en las Componente de viento entre las EMs: NDBC No. 42055 y API Altamira, con las BDs .....	79
Figura 34 Frente Frio No. 24 (23/01/08), en las BDs a)RT c/3 hrs, b)RT c/6 hrs y c)RT Diaria .....	81
Figura 35 Frente Frío No. 24 (22 al 24 de Enero del 2008) en las Componentes de viento entre las EMs: NDBC No. 42055 y API Altamira, con las BDs .....	83
Figura 36 Avance de un frente frío que a su paso va levantando y condensando el aire cálido en nubes verticales.....	87
Figura 37 Movimiento del viento en un huracán, vista lateral .....	88
Figura 38 Latitud, Longitud, Meridianos y Paralelos en la Tierra .....	89
Figura 39 Desplazamiento entre Alta y Baja Presión .....	89
Figura 40 Fuerzas del Viento .....	92
Figura 41 Cobertura mundial <i>QuikSCAT</i> el 1 de noviembre de 2000 .....	94
Figura 42 a 57 Diagramas de Procesamiento de Datos .....	98 a 103

**LISTA DE TABLAS.**

	Página
Tabla 1. Datos y cálculos de los artículos.....	14
Tabla 2. Cobertura Espacial y Temporal de la BD del COADS .....	17
Tabla 3. Variables incluidas en la BD SCOW.....	17
Tabla 4. Productos de CERSAT .....	20
Tabla 5. BDs de Campo de Viento .....	22
Tabla 6. Direcciones de descarga de las mediciones en BDs y EMs.....	25
Tabla 7. Periodos de BDs utilizados.√: Ene–Dic .....	33
Tabla 8. Magnitud de viento durante la temporada de Verano e Invierno en las BDs .....	35
Tabla 9. Media Estadística en la Magnitud del Viento (m/s) de las BDs en Enero y Julio.....	40
Tabla 10. Magnitud media del Viento (m/s) en cada BD.....	40
Tabla 11. Máximas Diferencias de Medias Estadísticas entre laz BDs y la BD COADS .....	42
Tabla 12. Desviación Estándar de las BDs.....	46
Tabla 13. Correlación Compleja y Fase entre las BDs: RT c/3 hrs con RT Diaria; y entre RT c/3 hrs con RT c/6 hrs .....	48
Tabla 14. Correlación Compleja y Fase entre la BD RT c/6 hrs con la BD RT Diaria.....	48
Tabla 15. Periodos de Mediciones de las Boyas NDBC.....	50
Tabla 16. Estaciones Meteorológicas (EMs) en superficie.....	51
Tabla 17. Medias Mensuales del Componente Zonal de Viento (m/s) de las BDs y las Boyas NDBC, en las posiciones de las Boyas NDBC. ....	52
Tabla 18. Medias Mensuales del Componente Meridional de Viento (m/s) en las posiciones de las Boyas NDBC, entre BDs y Boyas.....	56
Tabla 19. Diferencias de Medias Mensuales de Viento (m/s) en las posiciones de las Boyas NDBC, entre BDs y Boyas.....	58
Tabla 20. Desviaciones Estándar Mensuales del Componente Zonal de Viento (m/s) en las posiciones de las Boyas NDBC, entre las BDs y las Boyas.....	61
Tabla 21. Desviaciones Estandar Mensuales del Componente Meridional de Viento (m/s) en las posiciones de las Boyas NDBC entre las BDs y las Boyas.....	63
Tabla 22. Error Estándar de Estimación (m/s) entre EMs y BDs .....	66
Tabla 23. Datos utilizados (%) y Correlación Compleja entre las EMs y las BDs.....	67
Tabla 24. Correlación por Componentes de viento entre las EMs y las BDs .....	67
Tabla 25. Fase (°) entre las EMs. y las BDs.....	67
Tabla 26. Huracanes en GdM durante el 2007 .....	70
Tabla 27. Categoría máxima y ubicación por día de los Huracanes del 2007 en el GdM.....	71
Tabla 28. Dean (20 al 23 de Agosto del 2007, 00:00) Mediciones en las Posiciones de las EMs No. 42055 y API Altamira para el Huracán.....	79

### LISTA DE TABLAS (continuación).

	Página
Tabla 29. Huracán Lorenzo (25 al 28 de Septiembre del 2007, 00:00) Mediciones en las Posiciones de las EMs No. 42055 y API Altamira .....	80
Tabla 30. Frente Frío No. 24 (23/01/08) Magnitud de Viento en las BDs .....	82
Tabla 31. Frente Frío (22 al 24 de Enero del 2008, 00:00) Mediciones en las Posiciones de las EMs No. 42055 y API Altamira .....	83
Tabla 32. Acrónimos del Documento .....	85
Tabla 33. Categorías de Huracanes .....	87

### LISTA DE ECUACIONES.

	Página
(1) Media Climatológica.....	27
(2) Diferencia entre medias climatológicas .....	27
(3)-(7) Desviación estándar de la climatología .....	27
(8)-(10) Correlación Compleja .....	29
(11) Error de Estimación Estándar.....	29



## 1. INTRODUCCIÓN.

Los fenómenos meteorológicos han sido observados durante toda la historia de la humanidad, es solamente durante los últimos 100 años que se ha registrado sistemáticamente. Este proceso se ha acelerado de manera reciente por la modernización de la tecnología, las telecomunicaciones y los sistemas de cómputo, de tal manera que los países han establecido redes de observación e intercambio de información. La observación instantánea de los fenómenos, a través de los sistemas satelitales, de aviación, de radar, de radiosondeo y de superficie (tierra y océano) y su rápida diseminación a través del mundo por las distintas redes de comunicación (radio, televisión y cómputo), permiten que gran parte de la población mundial esté informada (Reyes Coca, 2001).

En los últimos años, los productos satelitales han demostrado ser una herramienta de gran utilidad en el análisis del campo de viento a lo largo del océano mundial. El éxito de estos productos radica en su amplia cobertura espacial y relativamente alta resolución espacial y temporal.

El enfoque de este proyecto es el uso del viento como forzamiento en modelos numéricos oceánicos (e.g., Rivas et al., 2010; Rivas y Samelson, 2011) y para ello se utilizaron diversas bases de datos de viento sobre la superficie oceánica, las cuales aparentemente no han sido analizadas para la región occidental del Golfo de México (GdM). Aquí se consideran los años disponibles de estas bases de datos (BDs), lo que permite diagnosticar con buen nivel de confianza, la variabilidad espacial y temporal de los patrones sinópticos del viento superficial.

Por otro lado, dado su método de obtención, los productos satelitales presentan varias limitantes, y una de ellas es la de diagnosticar correctamente aquellos valores cercanos (unos cuantos kilómetros) a la costa. Los datos de viento no son la excepción, cuyas deficiencias en zonas costeras se deben no sólo al método de medición y procesamiento, sino a procesos físicos relacionados con la interacción entre el mar y el continente, así como a interacciones orográficas.

## 1.1. JUSTIFICACIÓN

Los satélites meteorológicos ayudan a la humanidad en la predicción de muchos fenómenos relacionados con los vientos, además, pueden predecir catástrofes que la fuerza de la naturaleza puede ocasionar. Para determinar la dinámica del mar, la estimación de las corrientes superficiales del océano y los procesos relacionados con la capa límite tanto atmosférica como oceánica, la dispersión y deriva de los derrames del petróleo y otros, se requiere el conocimiento de los vientos superficiales y el estado del mar en alta resolución espacial y temporal. Los vectores de viento en la superficie pueden estimarse a partir de radares y radiómetros a bordo de satélites, y son calculados en diversos centros de predicción numérica del tiempo, ubicados alrededor del mundo.

En esta tesis se llevó a cabo un análisis comparativo de diversos productos satelitales del viento aplicado en el GdM como una aportación al conocimiento de la oceanografía de la parte occidental del Golfo, al analizarse la variabilidad espacial y temporal del campo de viento que sirve como uno de los principales forzantes del océano de la región, para la cual aparentemente no existe ningún análisis como el que aquí se describe. Debe recordarse la importancia que tiene el GdM y su zona costera mexicana, como fuente petrolífera, pesquera y de comercio nacional e internacional, por sus diversos puertos y medios de transporte, tanto de personas como de productos varios. Además, este trabajo permitirá conocer las limitantes y ventajas de los productos satelitales existentes, lo que permitirá la selección más apropiada para el viento forzante en los modelos numéricos que se están implementando actualmente en el CICATA-IPN UA.

Como ya se comentó, aparentemente no existe ningún antecedente de un análisis comparativo de los productos del campo de viento para la región Occidental del GdM, por lo que el presente trabajo sirve como antecedente importante para futuras investigaciones donde se analicen productos satelitales en esta zona, en especial del viento superficial. Además, en esta tesis se presentan muchos de los detalles del origen y procesamiento de los datos, lo que permitirá a los futuros usuarios de estos productos iniciar fácilmente en el procesamiento de los mismos.

## 1.2. HIPÓTESIS

La medición espacial y temporal del campo de viento para la costa oriental de México, en las bases de datos mostradas en este proyecto, presentan desigualdades significativas entre sí, en especial en la franja costera. Esto es, existen grandes diferencias en sus mediciones en el GdM en especial la zona occidental, debido a la interacción entre el mar y el continen.

## 1.3. OBJETIVOS

### a. Objetivo General.

Describir la evolución del campo de viento sobre la superficie del mar de la región occidental del GdM a partir de los diversos datos satelitales; para realizar un análisis comparativo entre los productos del viento con el fin de conocer ventajas y desventajas entre ellos.

### b. Objetivos Específicos.

- Procesar los datos de viento provenientes de cuatro productos satelitales y de un reanálisis de uso generalizado en otras aplicaciones oceanográficas.
- Describir la variabilidad espacial y estacional del viento en la región occidental del GdM a partir de los resultados del análisis.
- Realizar comparaciones con datos puntuales medidos (*in situ*) en superficie a lo largo de la región occidental del Golfo en esta región, con el fin de explorar la confiabilidad de los datos satelitales cercanos en esta región, donde es sabido que éstos presentan limitaciones.

## 2. MARCO TEÓRICO.

### 2.1. GOLFO DE MÉXICO.

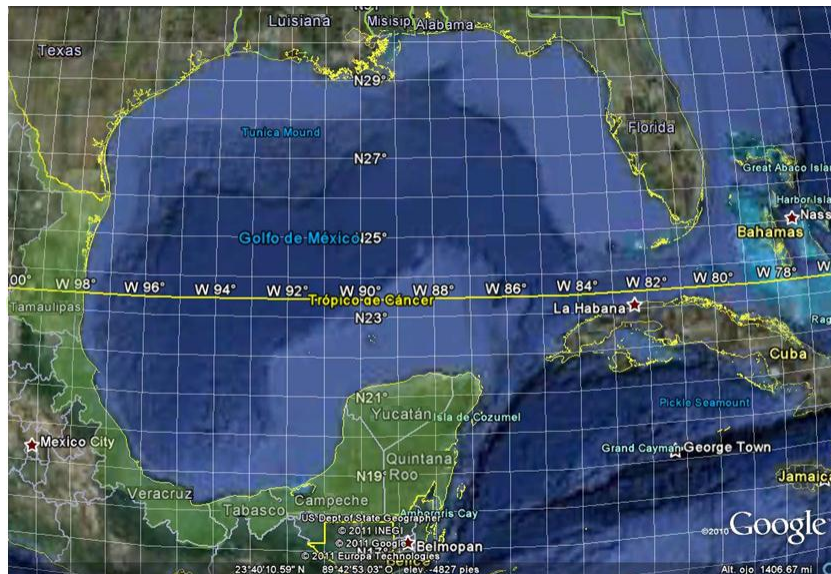


Figura 1 Golfo de México (Google Earth).

El Golfo de México es una cuenca oceánica relativamente poco profunda, con una profundidad máxima cercana a los 4,000 m, localizada entre los 98°W y 80°W y los 30°N y 18°N con 3600 m en la zona más profunda, con una área de 1,602,000 km<sup>2</sup>. Junto con el Mar Caribe forman el llamado “Mediterráneo americano”. El Golfo de México en oceanografía, frecuentemente se llama “cuenca mexicana” (Chávez, 1986). Sus aguas están divididas entre México, EUA y Cuba, comprende los estados mexicanos de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo, y los estadounidenses Florida, Alabama, Misisipi, Luisiana y Texas. Tiene un área superficial de  $1.5 \times 10^6$  km<sup>2</sup> (900 km x 1700 km), ver Figura 1.

En su climatología normalmente llegan dos tipos de masas de aire, las masas polares en los meses centrados en el invierno y el aire tropical en el semestre centrado en el verano. Éstas producen Nortes y depresiones o tormentas tropicales durante el año, respectivamente.

Cuando los Nortes son profundos, en ocasiones llegan a repercutir en el sur del territorio nacional en una parte baja y estrecha de éste, es decir, los vientos de componente norte, se internan sobre el Istmo de Tehuantepec hasta cruzar la vertiente del Océano Pacífico

donde se localiza el Golfo de Tehuantepec. (Sheinbaum, 1997). En el desplazamiento de las masas de aire frío que entran ocasionalmente por el noroeste de México, avanzan por el Norte del país y cruzan hasta el GdM, se ha observado que pueden producir Nortes más intensos, en comparación con aquéllas que descienden por la parte central, sur y sursureste de los EUA (Ruiz Barradas et al., 2010).

Los huracanes pueden formarse desde principios de Mayo en el Mar Caribe o en el GdM. La temporada oficial de huracanes comienza el 1 de Junio y termina el 30 de Noviembre. En la denominada "Sonda de Campeche" se empiezan a formar los huracanes a partir de Junio con ruta norte–noroeste, afectando Veracruz y Tamaulipas. En la cuenca del Atlántico (la parte Norte del Atlántico, el GdM y el Mar Caribe) la temporada de huracanes llega a su punto más alto desde mediados de Agosto hasta Octubre. Toda la región del Caribe está expuesta a este riesgo durante los seis meses de la temporada.

## **2.2. PARÁMETROS CLIMÁTICOS.**

En esta sección se describen los parámetros climáticos y los conceptos que se utilizarán en este trabajo.

### Viento.

El viento se puede producir en diversas escalas: desde flujos tormentosos que duran decenas de minutos hasta brisas locales, generadas por el distinto calentamiento de la superficie terrestre y que duran varias horas, e incluso globales, que son el fruto de la diferencia de absorción de energía solar entre las distintas zonas geo-astronómicas de la Tierra. Las dos causas principales de la circulación atmosférica a gran escala son el calentamiento diferencial de la superficie terrestre según la latitud y la inercia producida por la rotación del planeta.

El viento es sí el aire que se mueve con una cierta magnitud y dirección en su velocidad. Forma parte de las variables que describen parcialmente el estado físico de la atmosfera, es una cantidad vectorial con componentes en las direcciones horizontal (nivel superficie) y vertical (a partir la superficie del planeta). En la horizontal se observa su desplazamiento norte–sur, sobre el eje x y este–oeste, sobre el eje y. Sobre el eje z un desplazamiento hacia arriba o abajo, con relación a la superficie del agua (Figura 2).

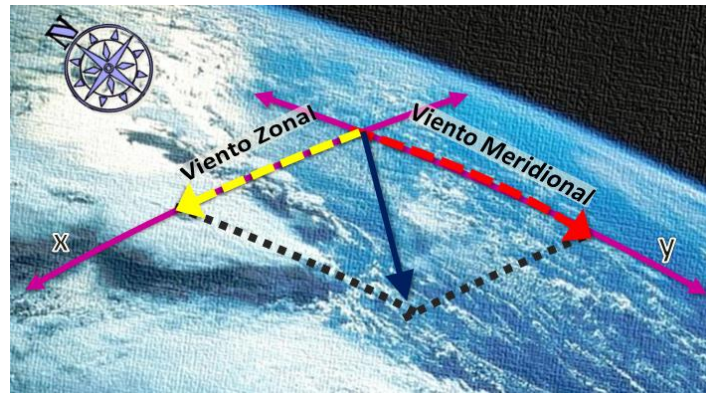


Figura 2 Componentes del Viento.

Los vientos comienzan con las diferencias de presión de aire. Cuando entre dos masas de aire adyacentes existe una diferencia de densidad, el aire tiende a fluir desde las regiones de mayor presión a las de menor presión. Cuanto mayor sea la diferencia de presiones, mayor es la fuerza. El alta y la baja presión son relativas, no hay número fijo que divida estas zonas. Este flujo de aire se ve afectado por el efecto de Coriolis en cualquier punto de la superficie terrestre. El viento es usado para describir la dirección predominante de la que sopla el aire, con una velocidad determinada por lo general en kilómetros por hora, metros por segundo, o millas por hora (nudos).

El viento es aire que se ha puesto en movimiento sobre la superficie terrestre por la acción de distintas fuerzas (Apéndice C). Nace de los gradientes observados en los campos de temperatura, densidad y presión; el viento es el resultado de una presión natural que trata de hacer un balance para disminuir estos gradientes, aunque este balance nunca se alcanza ya que continuamente se están generando nuevos gradientes en estos campos.

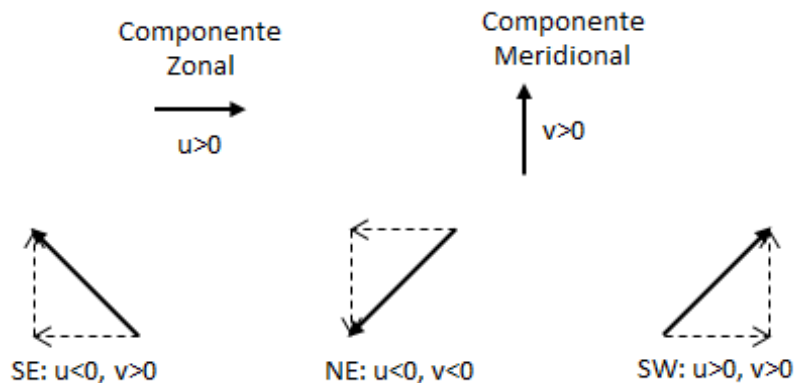


Figura 3 Direcciones del Viento y sus componentes u y v.



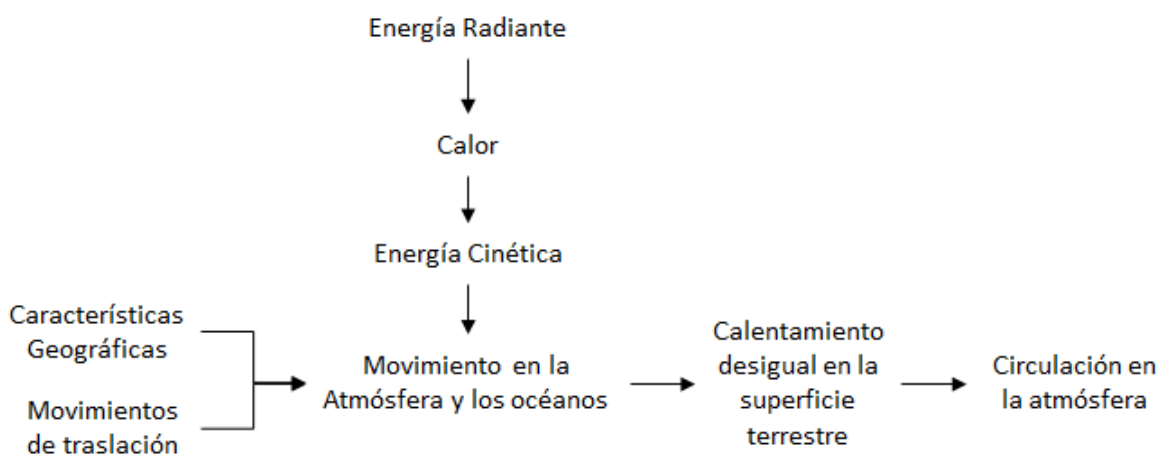
En ocasiones es necesario conocer las componentes para un viento dado, su componente zonal ( $u$ ), se mide a lo largo de los paralelos, es positiva hacia el este (vientos del oeste), su componente meridional ( $v$ ), se mide lo largo de los meridianos, siendo positiva hacia el Norte (vientos del sur) y su componente vertical ( $w$ ), a lo largo de la vertical local, positiva hacia arriba. En la [Figura 3](#) se observan los componentes y su signo según la dirección del viento.

Otra alternativa es escribir el vector con su intensidad y dirección. En el caso del vector horizontal, la dirección del viento es la dirección desde donde el viento viene medido en grados ( $^{\circ}$ ) en sentido del reloj desde el norte. Esta convención es la más usada en el contexto de la meteorología operativa.

### Esfuerzo del Viento.

Globalmente hablando, el factor originador y predominante a gran escala es la diferencia de calentamiento entre unas zonas y otras de acuerdo con determinados factores geográficos y astronómicos, así como por variaciones estacionales o temporales producidas por los movimientos de rotación y traslación del planeta ([Figura 4](#)).

Para explicar el giro anticiclónico en la región occidental del GdM, [Sturges y Blaha \(1976\)](#) sugieren que el rotacional del esfuerzo del viento sobre el GdM es el principal mecanismo forzante para la circulación de esta zona.



[Figura 4](#) Origen del viento.

La atmósfera y el océano casi siempre se encuentran en un estado que se conoce como turbulento, y que se sienten en las ráfagas de viento. El calentamiento de la superficie terrestre, aumenta la temperatura del océano; aumentando el coeficiente de arrastre y con ello el esfuerzo del viento (Figura 4). Un valor muy importante en el cálculo del esfuerzo del viento es el coeficiente de arrastre, el cual parametriza los efectos turbulentos dentro de la capa límite, varía de acuerdo a los flujos de calor océano-aire y estará en función de la diferencia de calor y del aire.

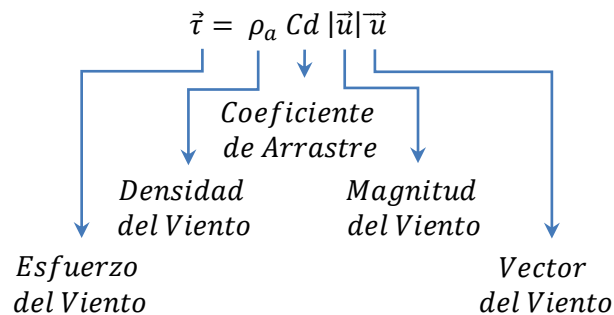


Figura 5 Esfuerzo del Viento.

### Boyas.

La medición de la velocidad y dirección del viento se efectúa con instrumentos registradores llamados anemómetros, que dispone de dos sensores, uno para medir la velocidad y otro para medir la dirección del viento. Las mediciones se registran en anemógrafos (<http://es.wikipedia.org/wiki/Viento>). Para que las mediciones sean comparables con las mediciones efectuadas en otros lugares del planeta, las torres con los sensores de velocidad y dirección deben obedecer a normativas estrictas dictadas por la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

Una boya marina está compuesta de distinto tipo de instrumental, que se emplea para la medición de las variables oceanográficas y también pueden contener para la observación meteorológica, en ambos casos son de gran ayuda en la obtención de información (Figura 6). Algunas boyas cuentan con sensores que miden la presión atmosférica, viento, temperatura del aire, oleaje, nivel de la marea, temperatura de la superficie del mar, punto de rocío, corrientes, entre otros.

Las mediciones al igual que las posiciones se transmiten por satélite en tiempo real a los centros meteorológicos y oceanográficos operativos para su pronta distribución y

utilización. Presumiblemente, este sistema tiene la característica de ser muy confiable, exacto, repetitivo y puntual en cuanto a las mediciones que se obtienen.

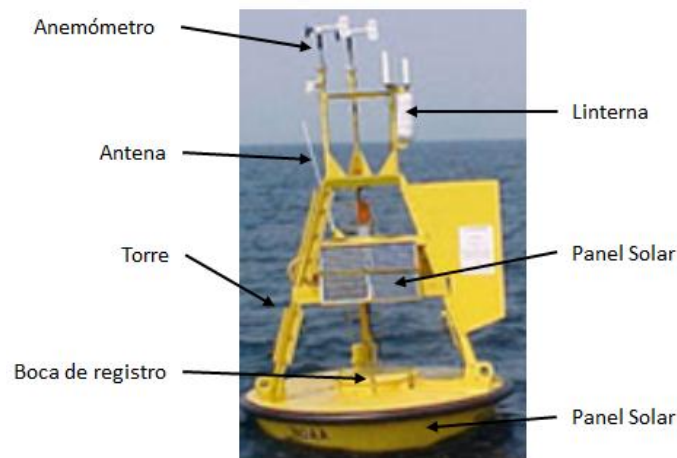


Figura 6 Partes de una boya NDBC.

El Centro Nacional de Datos de Boyas (NDBC por sus siglas en inglés), del Servicio Meteorológico Nacional (NWS) correspondiente a la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) de EUA ha emplazado una serie de boyas distribuidas en el océano a nivel mundial que monitorea las condiciones meteorológicas y oceanográficas. Las boyas registran las siguientes variables: dirección e intensidad del viento a 5 o 10 m, dirección e intensidad de la ráfaga, altura de ola significativa, periodo dominante de ola, periodo promedio de ola, dirección promedio de ola, presión barométrica, temperatura del aire, temperatura superficial del mar, temperatura de punto de rocío, visibilidad y tendencia de la presión (López, 2009).

#### Productos Satelitales de Viento.

Los satélites están diseñados para observar la tierra desde una determinada órbita con el objetivo de monitorizar el medio ambiente y estudiar fenómenos meteorológicos y climatológicos a nivel global y local.

Los datos de los satélites meteorológicos actuales generan enormes cantidades de información que, si se extrae de forma adecuada, se puede usar para cuantificar diversas propiedades físicas (Figura 7). Esta información se conoce como "productos meteorológicos derivados" o simplemente como "productos". Los productos proporcionan

descripciones detalladas de varias estructuras atmosféricas, oceánicas y terrestres. ([http://www.meted.ucar.edu/EUMETSAT/products\\_es/print.htm](http://www.meted.ucar.edu/EUMETSAT/products_es/print.htm)).

Entre sus beneficios:

- Cada producto se centra en un único parámetro de interés para una comunidad de usuarios particular.
- Los productos más avanzados cuantifican propiedades físicas y producen parámetros con valores cuantificados.
- El proceso de generación de productos puede ser automático y objetivo, sin depender de los conocimientos o la habilidad de ningún usuario en particular.

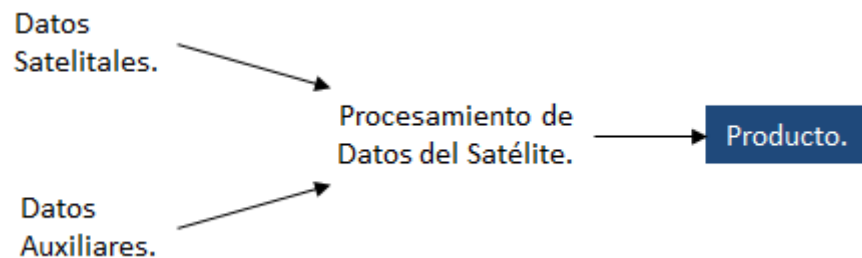


Figura 7 Proceso General para la Generación de Productos.

Los productos mejoran constantemente a medida que se incorporan técnicas matemáticas y métodos de cálculo más avanzados, y gracias a una comprensión más completa de los procesos físicos involucrados.

En este trabajo se utilizaron las BDs generadas a partir de mediciones del satélite *QuikScat*, disponibles en la página de CERSAT (Centro de Archivo y Procesamiento del Satélite Europeo de Tele observación, por sus siglas en francés), una de las BDs con una resolución temporal de cada 6 hrs. y la otra con mediciones diarias.

### Zona Costera.

Existen varias definiciones para zona costera, citando la definición de [Ramírez \(2007\)](#), ésta es el espacio donde interaccionan el mar, la tierra y las aguas epicontinentales y la atmosfera, donde la transición de estas tres fases incide en las condiciones y en la dinámica ambiental, a las cuales se agrega la influencia del hombre como agente transformador de primer magnitud. Puede comprender alrededor de 60 km, en la cual vive la mitad de la población mundial.

Cerca de la costa la escala del sistema de oleaje está determinada por la geometría de la costa y la batimetría, la cual usualmente tiene escalas mucho menores, que van desde las decenas hasta las centenas de kilómetros. Además el viento al soplar sobre la superficie, dependiendo de su intensidad, podrá formar olas desde unos cuantos centímetros hasta de varios metros (en eventos extremos).

La franja costera mexicana es aprovechada y utilizada en diversas actividades, entre las que sobresalen: minería y de explotación (producción y distribución de hidrocarburos), industrias (petroquímicas, siderurgia, fabricas papeleras e ingenios azucareros entre otras), turísticas (de esparcimiento y recreación) y actividades de pesca y acuícolas (Ramírez, 2007).

### **2.3. MODELACIÓN NUMÉRICA.**

En el área de la meteorología, más precisamente en la rama de la predicción numérica del tiempo, existe un amplio número de modelos utilizados para entender el desarrollo de los fenómenos atmosféricos y su evolución en el tiempo. En los últimos años la utilización de estos modelos se ha incrementado, en parte por el mejor entendimiento que se ha tenido de los procesos físicos que ocurren en la atmósfera, y otro tanto por el avance computacional que ha permitido realizar, de manera más rápida, el gran número de operaciones necesarias para resolver las ecuaciones que constituyen a los modelos.

En México existen varias instituciones que han implementado operativamente modelos para realizar predicción numérica del tiempo. López (2009) realizó el estudio del frente frío no. 4, de octubre del 2007, utilizando fundamentalmente el modelo numérico atmosférico de mesoescala llamado Weather Research and Forecasting Model (sus siglas WRF). Además de analizar los detalles del evento meteorológico en particular, se estudian los alcances y limitaciones del modelo mediante un proceso de evaluación estadística, su validación. Para lograrlo, utilizó BDs que complementan la información meteorológica y evaluar los resultados numéricos. Dichas BDs incluyen mediciones *in situ*, datos satelitales, salidas de otros modelos, etc.

De manera similar a los meteorológicos, también existen modelos numéricos para el océano. Éstos describen y pronostican el estado del océano como resultado de la evolución de sus forzantes, dentro de los cuales se encuentra el viento, o más

precisamente, el esfuerzo del viento. Los efectos de este esfuerzo pueden ser de gran escala o de escalas menores. Un ejemplo del efecto a gran escala es la formación del gran giro subtropical anticiclónico del Atlántico norte. Un ejemplo de escala menor es la formación de las surgencias costeras sobre la plataforma continental de diversas regiones del planeta.



### 3. ANTECEDENTES.

Trabajos previos a este proyecto han desarrollado investigaciones tanto de conocimiento del viento (saber cómo es o se desplaza en la atmósfera, cómo es medido o cuáles son los medios para obtener dichas mediciones y su confiabilidad) así como los efectos que puede provocar, en especial cerca de la costa y en qué fenómenos medioambientales se ve relacionado. Geográficamente en el presente trabajo se citan artículos de Oregón, California y obviamente del GdM que es la zona de estudio, e igual se citan como antecedentes aquéllos relacionados con las mediciones satelitales, a través de “dispersómetros” (adaptado a partir del inglés *scatterometers*).

Aunque el viento diagnosticado por satélite ha demostrado funcionar adecuadamente para aplicaciones de mesoescala, en el caso de estudios en zonas costeras es necesaria una mejor representación del campo de viento. [Vogelzang et al. \(2011\)](#) evalúan la calidad de productos de alta resolución basados en mediciones de viento desde el espacio, obtenidos por los dispersómetros ASCAT y *SeaWinds*, en términos de precisión y resolución; mediante el análisis espectral y comparación con mediciones *in situ* y un modelo de pronósticos NWP. Sus resultados indican que los productos ASCAT pueden ser útiles no sólo cerca de la costa, sino también sobre el océano abierto, por ejemplo en presencia de ciclones tropicales y otras condiciones meteorológicas extremas. En otro estudio se observa que los vientos superficiales del dispersómetro ASCAT (disponibles desde el año 2007) y QuikSCAT (que estaba disponible hasta noviembre de 2009) muestran diferencias persistentes durante su período de superposición. Los datos mostrados sugieren que las direcciones QuikSCAT y ASCAT de viento son congruentes entre sí ([Bentamy et al., 2012](#)).

En la literatura existen algunos análisis de diversos productos satelitales de viento para diferentes regiones geográficas, por ejemplo, el análisis de diversos productos de viento superficial (tanto satelitales como de reanálisis) en la región de surgencias costeras en el Norte del Sistema de la Corriente de California ([Perlin et al., 2004](#)), el cual muestra las limitaciones y habilidades de los datos para representar el viento en regiones costeras. Como ejemplo de la aplicación de los productos satelitales es el diagnóstico de la dinámica de mesoescala en la región occidental de EUA, en el trabajo de [Venegas et al. \(2008\)](#), el cual se basa en cuatro productos, como son la temperatura superficial del mar, la altura de la superficie del mar, el esfuerzo del viento y la clorofila superficial. Para el

Tabla 1. Datos y cálculos de los artículos.

<b>Autor:</b>	<b>Datos:</b>	<b>Calcularon/Obtuvieron:</b>
Vogelzang et al. (2011)	-Datos de estaciones meteorológicas.	-Estadística de la temperatura del aire y el agua, amplitudes y fases estacionales, rotacional del esfuerzo del viento.
Morey et al. (2005)	-Trayectorias de boyas a la deriva. -Datos de viento del COADS. -Descarga de ríos de EUA y México.	-Modelación numérica en la plataforma de LATEX.
Martínez-López y Zavala-Hidalgo (2009)	-Imágenes satelitales de clorofila del SeaWiFS -Campos de viento derivados del NCEP para el período septiembre 1997-agosto 2007 -Datos de descarga del US Geological Survey, Water Resources Data.	-Covarianza del esfuerzo del viento a lo largo de la costa y la concentración de clorofila. -Ciclo estacional de la entrada de agua dulce de la Plataforma LATEX. -Promedios mensuales de la descarga del río Mississippi para el período 1933-1984. -El aporte de agua dulce a la plataforma en los estados mexicanos de Tamaulipas, Veracruz y Tabasco a partir de BDs mundiales de descarga de río.
Perlin et al. (2004)	-Datos del dispersómetro SeaWinds, en los periodos: 20/06 al 30/09 de 2000 y del 01/06 al 30/09 de 2001. -Datos de viento de alta resolución de los modelos atmosféricos de mesoescala COAMPS, de la Universidad de Oklahoma.	-Campos de viento del modelo a partir de los datos de viento del COAMPS. -Los flujos de superficie, incluyendo el esfuerzo del viento.

caso del oeste del GdM, que es la región de interés en este proyecto, los trabajos son escasos. Un ejemplo importante es el diagnóstico de los transportes de clorofila a través de la plataforma continental de todo el Golfo realizado por [Martínez-López y Zavala-Hidalgo \(2009\)](#), el cual diagnostica incrementos significativos de clorofila en el oeste del Golfo asociados con el transporte superficial inducido por el viento (de relativa baja resolución).

En un estudio donde a partir de mediciones satelitales se describen las condiciones del GdM es [Morey et al. \(2005\)](#), quienes explican las condiciones biológicas de las aguas superficiales, a lo largo de la costa del LATEX y las plataformas del este de México. Estos autores muestran los resultados de un modelo numérico de alta resolución y encuentran que estas condiciones son controladas por la circulación estacional en la plataforma continental del Norte y de Occidente del GdM, que a su vez es impulsada por el viento y por los mecanismos responsables de la redistribución de agua dulce o de baja salinidad.

A modo de resumen y comparación entre los artículos y la presente investigación, se incluye la [Tabla 1](#), en la que se enlistan los datos utilizados en las investigaciones previas y qué obtuvieron al trabajar con ellos. En la misma, pero con diferente color, se resaltan las coincidencias que pudieran tener esta tesis con los trabajos previos. Por ejemplo, para el caso del [Martínez - López y Zavala – Hidalgo \(2009\)](#) la coincidencia es el uso de productos satelitales para la zona de estudio.

## 4. METODOLOGÍA.

En la primera etapa del trabajo se descargaron vía Internet las mediciones horarias, diarias o mensuales de las diferentes BDs del proyecto, realizándose una descripción de su variabilidad espacial y temporal. Para la segunda se utilizó una estadística básica para la comparación entre BDs. Durante la tercera etapa se realizaron comparaciones con observaciones *in situ*. Para esto se utilizaron datos de API y de boyas NDBC. En la cuarta etapa se describen dos eventos extremos del Golfo los huracanes y los Nortes.

### 4.1. DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS.

En este trabajo se utilizaron cinco BDs: dos climatologías mensuales COADS y SCOW, que se describen en la siguiente sección; dos BDs generadas a partir de las mediciones del satélite *QuikScat*, una con resolución temporal de cada 6 hrs (citada como AR, o por su resolución *c/6* hrs), y otra con datos Diarios (citada como BR, o por su resolución Diaria); y finalmente un reanálisis con una resolución temporal de cada 3 hrs (citada como NARR o por su resolución *c/3* hrs). Estas BDs se descargaron gratuitamente de Internet desde las páginas de cada una de ellas. Adicionalmente se utilizaron datos obtenidos de estaciones meteorológicas (EMs) situadas en boyas de la NDBC (siglas del National Data Bouy Center) y en el Puerto de Altamira. Para mayor detalle de la obtención de los datos ver el [Apéndice E](#).

#### 4.1.1. Climatologías de Observaciones

El COADS (siglas de Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set) es la colección más extensa de datos de la superficie oceánica mundial de los últimos dos siglos. Contiene mediciones de magnitudes tales como temperatura del aire y de la superficie del mar, el vector de viento, la presión barométrica, la humedad y la nubosidad (<http://www.math.ualberta.ca/~climate/coads.htm>).

COADS es una cooperación entre el Centro Nacional para la Investigación Atmosférica (NCAR) de la Fundación Nacional de Ciencia y los Laboratorios de Investigación del Medio Ambiente, Centro Nacional de Datos Climáticos (NCDC), y el Instituto de Cooperación para la Investigación en Ciencias de Medio Ambiente (CIRES) pertenecientes a la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA por sus siglas en inglés) (Woodruff et al., 1987).

La colección de datos incluye observaciones de la superficie oceánica global para los años 1784 a 1997 y la estadística mensual para las observaciones de 1800 a 1997. En esta colección histórica se incluyen observaciones hechas desde barcos militares, barcos de estudio del tiempo oceánico, barcos de investigación, boyas y batitermógrafos (Risien et al., 2008).

Los datos, documentación y una gran variedad de información están agrupados por meses, y éstos tienen aplicado un análisis de calidad. El resultado son campos "promedio" en los que se han filtrado los movimientos de escala espacial (y temporal) pequeñas, (ver [Tabla 2](#)). El lector interesado puede consultar para mayor información [Da Silva et al. \(1994\)](#).

Tabla 2. Cobertura Espacial y Temporal de la BD del COADS.

Espacial		Temporal	
Longitud	Latitud	1960–1997	1800–1997
89° N a 89° S	1° E a 359° E	1° x 1°	2° x 2°

SCOW (siglas en ingles de Scaterometer Climatologic of Ocean Wind) es una climatología generada a partir de datos de la velocidad del viento agrupada por ciclos estacionales de los campos del viento y el esfuerzo del viento; las variables incluidas se muestran en la [Tabla 3](#).

Tabla 3. Variables incluidas en la BD SCOW.

Variables.	Viento	Esfuerzo del Viento
	Velocidad	Magnitud
	Velocidad al Cuadrado	
	Velocidad al Cubo	
	Componentes Zonal y Meridional	
	Vorticidad	
	Divergencia	

SCOW se basa en un análisis armónico, se construye a partir de sólo 8 años de datos (Septiembre de 1999 a Agosto de 2007). La existencia de un mes con gran anomalía

puede influenciar sobre una media aritmética simple, lo que resulta en una climatología con mucho ruido. El análisis de frecuencias mitiga esos efectos, en la construcción de una climatología con un registro de datos más corto. Además los coeficientes del análisis armónico permiten el cálculo de un valor climatológico en cualquier momento arbitrario. (Risien et al., 2008).

#### 4.1.2. Datos Satelitales.

El Satélite *QuikSCAT* fue lanzado en 1999 y estuvo registrando datos hasta finales de 2009. Estos datos han sido vitales para el pronóstico del tiempo cerca de las costas y el seguimiento de tormentas. Realizo mediciones de velocidad y dirección del viento sobre los océanos mediante microondas, para mejorar la predicción del tiempo y estudiar el desarrollo de las tormentas tropicales (Kite-Powell, 2008). El proyecto *QuikSCAT* surge con la misión de tener una rápida recuperación, para llenar el vacío creado por la pérdida de datos del dispersómetro de la NASA (NSCAT), al perder potencia el Satélite ADEOS-1 en Junio de 1997 (Manual del Usuario Dispersometro del QuikSCAT).

El *QuikSCAT* es un satélite con órbita polar, a una altura de ~800 km, recorre en círculo todo el planeta pasando cada vez por los polos. Su tiempo de orbita es de ~102 min, en este tiempo puede cubrir el 90% del Planeta en un día, realizando 14 orbitas, más o menos pasa dos veces por el mismo punto con las mismas condiciones generales de luz debido a su órbita sincronizada con el sol (página en Internet <http://es.allmetsat.com/satelite-quikscat.php>).

Cuenta con un dispositivo dispersómetro, conocido como el *SeaWinds*, que utiliza una antena de plato giratorio con dos haces de cobertura con un patrón circular. La antena irradia pulsos de microondas a una frecuencia de 13.4 GHz a través de amplias regiones sobre la superficie de la tierra. Los dispersómetros usan una técnica indirecta para medir la velocidad del viento sobre el océano. El esfuerzo del viento genera sobre el océano ondas y olas pequeñas, estas ondas modifican la señal transversal del radar de la superficie del océano y por lo tanto la magnitud de la potencia retrodispersada. El instrumento recoge datos sobre el océano, tierra y hielo en un proceso continuo, con un ancho de banda de 1,800 km (Apéndice D) centrado en la parte más baja del satélite y con una resolución espacial de  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ . En la *Figura 8* se esquematiza el modo de operación del *QuikSCAT*. (Manual del Usuario Dispersometro del QuikSCAT).



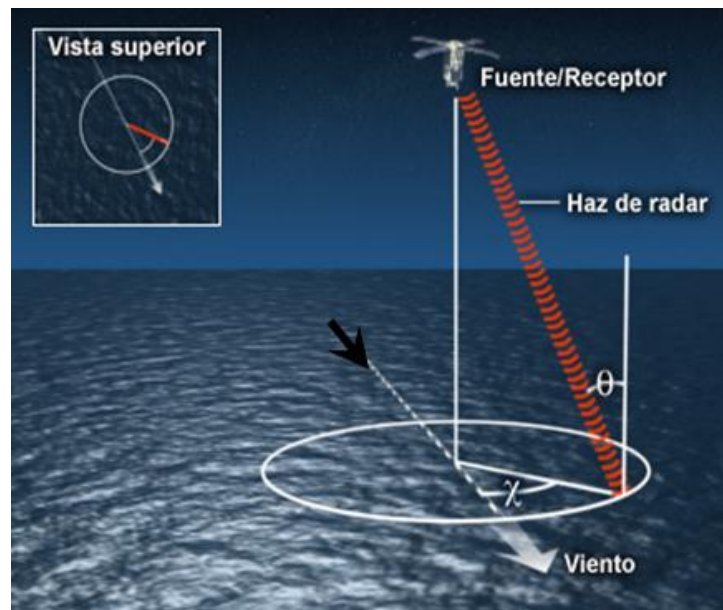


Figura 8 Geometría de observación del satélite.

CERSAT es parte de IFREMER (Instituto Francés de Investigación para el Aprovechamiento del Mar por sus siglas en francés), fue creado en 1991 como un nodo del segmento de la ESA (Agencia Espacial Europea por sus siglas en inglés) para los satélites de observación de la Tierra ERS-1 y ERS-2 y realiza el procesamiento fuera de línea de los datos de los sensores de baja tasa de bits de los ERS-1 y ERS-2. Los productos generados por el CERSAT se distribuyen gratuitamente a los científicos ya sea *on-line*, a través CERSAT ftp y sitios web, permitiendo extracción de subconjuntos de datos de acuerdo con criterios temporales y geográficos o por medio de DVD-ROM para algunos productos.

CERSAT es un centro de datos multimisión que archiva, procesa y valida datos desde sensores espaciales (tales como altímetros, dispersómetros, radiómetros, SAR, etc.). Está dirigido a la comunidad oceanográfica haciendo series de tiempo disponibles acerca del estado de la superficie del mar (campos de viento, flujos, olas, hielo submarino). Su página de Internet es: <http://www.ifremer.fr/cersat/en/general/general.htm>. Este producto ha sido usado de manera exitosa en estudios numéricos costeros (e.g., Rivas y Samelson, 2010).

De la página de CERSAT se pueden descargar los diversos productos resumizados en la Tabla 4. El *MWF QuikSCAT* (Datos de la Media del Campo de Viento) provee parámetros de campos de viento, como velocidad y dirección, sobre los océanos tal como se

recuperaron del dispersómetro *SeaWinds*. El producto constituye una serie temporal homogénea de los campos de viento diarios, semanales y mensuales con una malla de resolución global de  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  que extiende las series del ERS y NSCAT con una mejor resolución espacial (RE) y temporal (RT). Los principales parámetros que incluyen son el módulo de la velocidad del viento y sus componentes meridional y zonal, la magnitud del esfuerzo del viento y sus componentes respectivos.

Tabla 4. Productos de CERSAT.

Producto	MWF QuikSCAT	MWF Blended	
Plataforma	QuikSCAT	DMSP F13, F14	QuikSCAT
Sensor	SeaWinds	SSM/I	SeaWinds
Referencia	QuikSCAT/SeaWinds	SSM/I NRT	QuikSCAT NRT
Nivel	4	4	
Cobertura Espacial	Global	Latitud en [80.0, 80.0]; Longitud en [-180.0, 180.0]	
Resolución Espacial	$0.5^\circ$	$0.25^\circ$	
Resolución Temporal	Diaria	Cada 6 horas	
Acceso	www, ftp, DVD	ftp	

Los datos se almacenan como archivos NetCDF pero las herramientas de subconjuntos permiten la extracción de datos en HDF, NetCDF y formato ASCII. Hay un archivo por cada parámetro y cada media diaria, semanal o mensual (página de Internet <http://cersat.ifremer.fr/Data/Discovery/By-product-type/Gridded-products/MWF-QuikSCAT>)

Con el fin de mejorar la resolución espacial y temporal de viento en la superficie, en el producto *MWF Blended*, las mediciones de sensores remotos de viento del océano mundial se combinan con análisis operacionales; teniendo como objetivo, proporcionar la velocidad zonal y meridional y el esfuerzo del viento en escala mundial. Los campos de viento mezclados se calculan a partir de abril de 2004 hasta la actualidad y se consideran como datos de prueba que proporcionan información útil para generar, casi en tiempo real, resoluciones espaciales altas a escalas de tiempo mundial y regional. Los productos combinados están disponibles en tiempo sinóptico 00:00, 06:00, 12:00, 18:00, con un pequeño retraso respecto al tiempo real. Las observaciones de viento en la superficie del océano se recuperan del dispersómetro de *QuikSCAT* y de los radiómetros SSM/I disponibles en tiempo casi real en *Météo-France*. El análisis se realiza por un método geo estadístico de interpolación óptima llamado *kriging*. Las matrices de covarianza se

obtienen a partir de las mediciones satelitales de la velocidad del viento y del cálculo de las componentes zonales y meridionales. La calidad de los campos mezclados de viento resultantes, con una malla de 0.25° y de cada 6 hrs, se determina comparando con observaciones remotas y también con estimaciones promedio de viento en boyas fondeadas, obteniéndose una buena comparación a nivel mundial, así como en las subcuencas. Es de hacerse notar que la calidad de los campos mezclados de viento presentan mejores comparaciones con boyas fondeadas en mar abierto que cerca de la costa (página de Internet <http://cersat.ifremer.fr/Data/Discovery/By-product-type/Gridded-products/MWF-Blended>).

#### **4.1.3. Datos de Reanálisis.**

El NCEP–NARR (siglas en inglés de *National Center for Environmental Prediction - North American Regional Reanalysis*) es un conjunto de datos del clima de alta resolución, estable y de largo plazo (Mesinger et al., 2006). Su objetivo es crear un conjunto a largo plazo de los datos climáticos consistentes en una escala regional, para el dominio de América del Norte. Abarca desde 1979 a la fecha y una de las expectativas del NARR es que ayudará a responder a las preguntas de la variabilidad del agua en el tiempo y el clima, en particular en lo que se refiere a los patrones de precipitación en los Estados Unidos. El NARR fue desarrollado como una importante mejora de la versión anterior (NCEP-NCAR Global Reanalysis, GR1; Kalnay et al., 1996; Kistler et al., 2001), tanto en la resolución como en la precisión. Su resolución espacial es de 32 km y su resolución temporal es de 3 hr.

En la [Tabla 5](#) se resumen algunas de las características de los cuatro productos satelitales de viento (SCOW, MWF, MWF Blended y NARR) que se comparan en este trabajo contra la base de datos de referencia COADS incluyendo la resoluciones espacial y temporal, la climatología y el origen de los datos.

Tabla 5. BDs de Campo de Viento.

BD.	Resolución.		Climatología.	Mediciones por.
	RE	RT		
SCOW	¼° x ¼°	Mensual	Sep 99 – Oct 09	QuikSCAT
COADS	2° x 2°	Mensual	Desde 1954	<i>in situ</i>
MWF QuikSCAT	½° x ½°	24 hr.	Jul 99 – Nov 09	QuikSCAT
MWF Blended	¼° x ¼°	6 hr.	Abr 04 – Nov 09	QuikSCAT, DMSP F13, F14 y ECMWF
NARR	32 km.	3 hr.	Ene 79 – Nov 09	<i>in situ</i> , satélite y modelo

(Apéndice A – Acrónimos)

#### 4.1.4. Estaciones Meteorológicas (EMs).

##### Boyas NDBC

La NDBC opera una red de boyas meteorológicas automatizadas en alta mar y una red de estaciones marino-costeras que proporcionan informes horarios del tiempo marino para NWS y otras agencias. Las boyas, frente a las costas de EUA y los Grandes Lagos, pueden estar cerca o varios cientos de kilómetros en el mar. Las boyas proporcionan datos horarios a las oficinas de pronóstico del NWS (Servicio Nacional del Clima por sus siglas en inglés) que son importantes para la preparación de pronósticos y alertas. Estos datos también se transmiten al público por la radio meteorológica de la NOAA y se publican en Internet en la página [www.ndbc.noaa.gov](http://www.ndbc.noaa.gov).

NDBC No.  
42002



NDBC No.  
42001,  
42020,  
42055

Figura 9 Fotografía de las Boyas NDBC.

Las boyas NDBC tienen cascos circulares o con forma de barco que van desde 3 m a 10 m de diámetro, con superestructuras que se extienden de 5 m a 10 m sobre el agua. Están pintadas de colores brillantes, tienen impreso "NOAA" y su número de estación, muestran una luz amarilla intermitente. Se indican en las cartas de navegación por el número de la estación de cinco dígitos o como "ODAS ". En este trabajo se utilizaron los datos provenientes de las boyas No. 42001, No. 42002, No. 42020 y No. 42055. En la [Figura 9](#) se muestran fotografías representativas de estas boyas.

### API Altamira

Se utilizaron las mediciones meteorológicas existentes de un estudio de potencia eólico del Sur de Tamaulipas; éstas fueron obtenidas a partir de una estación ubicada en una torre en tierra a una altura de 10 m, manejada por Administración Portuaria Integral de Altamira (API Altamira), que es una empresa estatal descentralizada encargada de gestionar el puerto de Altamira en el estado de Tamaulipas ([Quiroga-Goode et al., 2011](#)). La estación Meteorológica, ubicada dentro del Puerto de Altamira, se encuentra localizada a los  $22.393^{\circ}$  N y a los  $97.895^{\circ}$  W. En la [Figura 10](#) se muestra la localización de las estaciones meteorológicas (Boyas NDBC y API Altamira) en el Golfo de México.

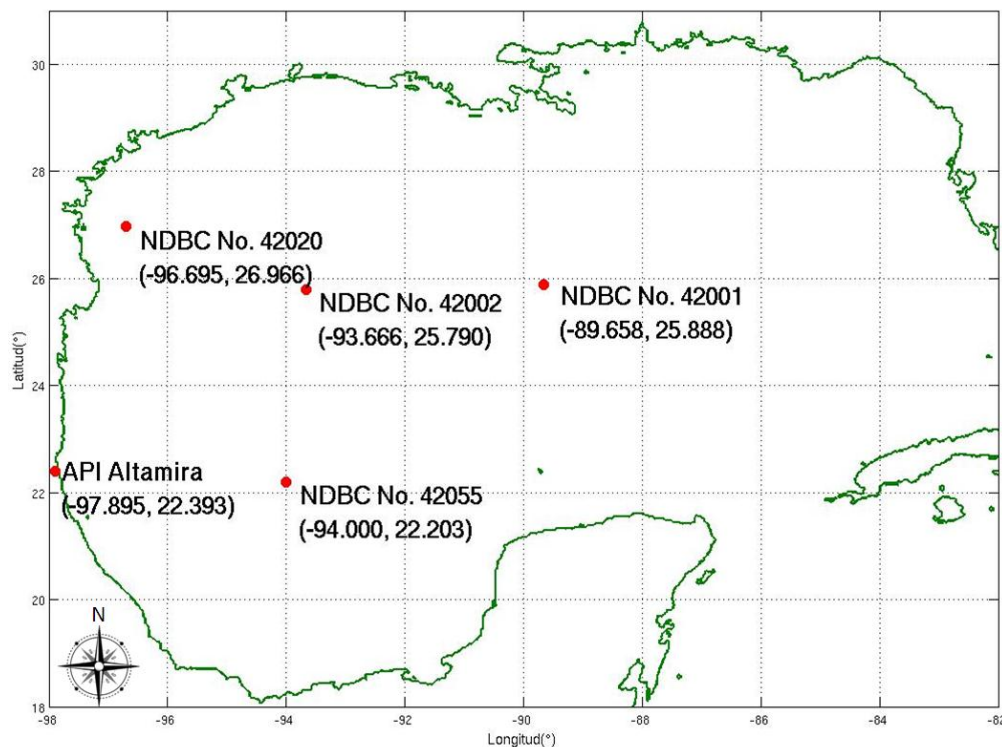


Figura 10 EMs en el Golfo de México.

## 4.2. PROCESAMIENTO DE DATOS.

Las BDs descargadas contenían mediciones de viento superficial que incluían las componentes zonal y meridional del viento, con diferentes resoluciones temporales, espaciales y de cobertura temporal, tal y como se describe en la [Tabla 5](#). Para poder compararlas entre sí fue necesario interpolar las diferentes BDs, tanto en RT como en RE, para después aplicar la estadística básica, comprendida por cálculo de medias, desviaciones estándar y correlaciones. Así también se realizó el mismo procedimiento para las comparaciones entre BDs y EMs, sólo que al realizar estas comparaciones también fue necesario considerar que las estaciones meteorológicas tenían algunos huecos en sus series de tiempo, aun así se pudo realizar una comparación *in situ*, cuyos resultados se pueden ver en la sección 5 de Resultados. Las mediciones de las estaciones meteorológicas no incluyen las mediciones por componentes sino la velocidad del viento y su dirección en grados por ello hubo necesidad de calcular las componentes de viento respectivas. Como ejemplo de aplicación de estas mediciones en la parte final del proyecto, se incluye las representaciones de los huracanes del 2007 y el frente frío no. 24 del 2008, en la [Figura 11](#) se muestran las etapas de este trabajo.

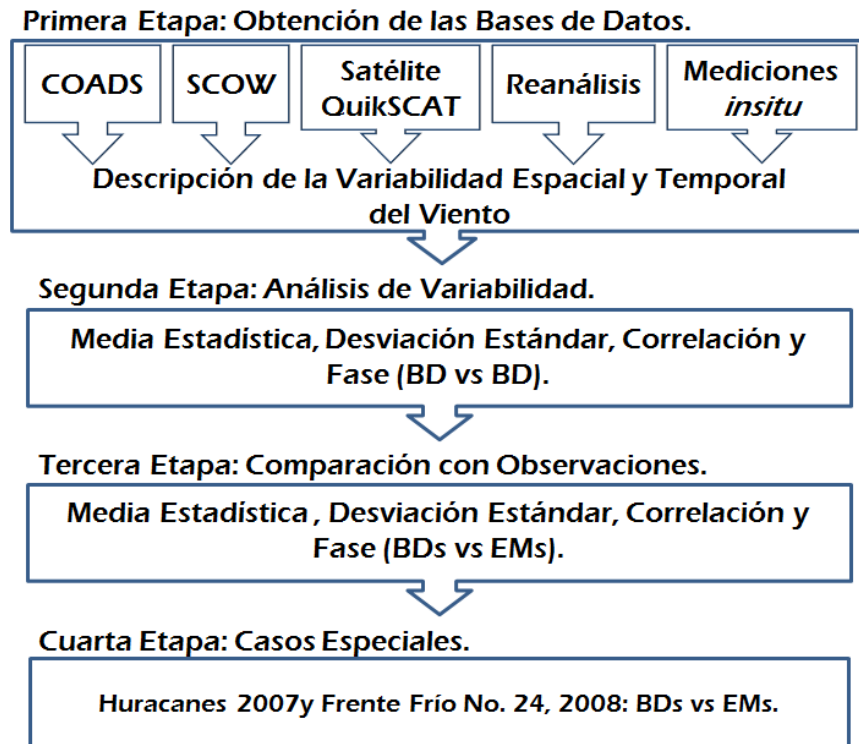


Figura 11 Etapas del Proyecto.



#### 4.2.1. Primer Etapa: Obtención de las Bases de Datos.

El procesamiento de los datos comenzó con la descarga de las mediciones de viento en el GdM que están disponibles vía internet en las páginas de las BDs en la [Tabla 6](#) se muestran las direcciones de descarga. Después de obtener todos los archivos disponibles para el periodo 31 de octubre de 2004 a 1 de noviembre del 2009, se delimitó el área de medición a solo el GdM, es decir, se descartaron las mediciones hechas en zona de tierra, así como los valores erróneos haciéndolos nulos. Se almacenaron las mediciones de cada BDs en archivos *.mat*, para manejar un solo tipo de archivo, obteniendo un procesamiento más rápido de la información, ya que las descargas presentaban diferentes formatos de almacenamiento. Las variables respaldadas fueron la  $x$  y  $y$ , para la componente zonal y componente meridional respectivamente; así como los datos de longitud *long* y latitud *lat* de la malla, agregando también un número de medición como identificador, además de la fecha y hora de la misma. Este procedimiento se realizó para las BDs RT c/3 hrs, RT c/6 hrs y RT Diaria. La BD COADS y la BD SCOW son medias climatológicas, es decir su medias estadísticas para cada mes del año, presentadas por componentes de viento zonal ( $u$ ) y meridional ( $v$ ), en la [Figura 42](#) se muestra la realización de este proceso.

Tabla 6. Direcciones de descarga de las mediciones en BDs y EMs.

Mediciones	Sitio.	Dirección de descarga
SCOW	COAS	<a href="http://www.coas.oregonstate.edu">www.coas.oregonstate.edu</a>
MWF QuikSCAT	CERSAT	<a href="http://cersat.ifremer.fr/About-us/Activities">http://cersat.ifremer.fr/About-us/Activities</a> .
MWF Blended		<a href="http://cersat.ifremer.fr/About-us/Activities">http://cersat.ifremer.fr/About-us/Activities</a> .
NARR	NARR	<a href="http://nomads.ncdc.noaa.gov/data.php?name=access#narr_datasets">http://nomads.ncdc.noaa.gov/data.php?name=access#narr_datasets</a>
EMs	NDBC	<a href="http://www.ndbc.noaa.gov/">http://www.ndbc.noaa.gov/</a>

(Apéndice E – Obtención de Datos).

Las mediciones de EMs tienen un procedimiento similar. Para las boyas NDBC fueron descargadas, de esa misma página, las mediciones de las estaciones No. 42001, No.

42002, No. 42020 y No. 42055 mostradas en la [Figura 10](#), contienen datos *in situ* a lo largo de la costa. Dichos datos incluyen las variables de velocidad y dirección del viento, WSPD y WD respectivamente (<http://www.ndbc.noaa.gov/obsdes.shtml>), de las cuales se eliminaron datos erróneos con valores de 99 para velocidad y 999 en dirección, después de depurarlas, se calcularon las componentes zonal ( $u$ ) y meridional ( $v$ ) del viento, utilizando las relaciones:

$$u = -U * \text{sen } \theta \quad (12)$$

$$v = -U * \text{cos } \theta \quad (13)$$

Donde  $U$  es la magnitud del viento y  $\theta$  es su dirección medida conforme a la convención meteorológica (en sentido horario con respecto al norte). Note que en los datos de las boyas se reporta el viento de donde viene, a diferencia de la convención utilizada en las BDs y en esta tesis, en la que el vector de viento se reporta a donde va, este procedimiento se explica por bloques en la [Figura 49](#).

El viento observado en superficie por las EMs no fue referenciado al nivel de 10 m, altura a la que se encuentran referenciados los datos en las BDs. Existen en la literatura algunos esquemas para referenciar este tipo de datos a un nivel deseado, pero es necesario conocer parámetros como la diferencia de temperatura del agua en superficie y del aire sobre ella. Para evitar la necesidad de conocer a detalle este tipo de parámetros, se decidió usar el viento sin referenciarlo a un cierto nivel, pero teniendo en cuenta que la comparación de las correlaciones entre los seis diferentes puntos debe hacerse con cautela.

#### **4.2.2. Segunda Etapa: Análisis de Variabilidad.**

Para este análisis se emplearon varias estadísticas básicas. Éstas se enlistan a continuación junto con una breve descripción.

##### Media Climatológica.

La media climatológica de un cierto mes se define como el promedio aritmético de todos los datos correspondientes a ese mes. Para la componente zonal sería:



$$\bar{U} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i \quad (1)$$

donde N es el número de datos y  $u_i$  es el i –esimo dato de la componente zonal del viento, ambos pertenecen al mes correspondiente. De manera similar, este cálculo se realiza para la componente meridional. Entonces, la media climatológica funge como un estado de referencia.

#### Diferencia entre medias climatológicas.

La diferencia entre las medias climatológicas de un cierto mes se define como la magnitud del vector diferencia de dos climatologías para ese mes. Es decir,

$$\text{Dif} = \sqrt{(u_2 - u_1)^2 + (v_2 - v_1)^2} \quad (2)$$

donde  $(u_1, v_1)$  y  $(u_2, v_2)$  son los vectores climatológicos del viento obtenidos a partir de dos diferentes bases de datos, para el mes correspondiente. Entonces, esta diferencia entre las medias evidencia en que regiones dentro de la región de estudio las medias difieren entre sí.

#### Desviación estándar de la climatología.

La desviación estándar de una climatología para un cierto mes se define como la suma en cuadratura de las desviaciones estándar de cada componente del viento durante ese mes. Es decir,

$$\text{SD} = \sqrt{\sigma_u^2 + \sigma_v^2} \quad (3)$$

donde

$$\sigma_u = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (u_i - \bar{U})^2} \quad (4)$$

y

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (v_i - \bar{V})^2} \quad (5)$$

son las desviaciones estándar de las componentes zonal y meridional del viento, respectivamente, del mes correspondientes. Entonces, esta desviación es una medida de la variabilidad temporal en cada punto de la región de estudio.

### Correlación.

El coeficiente de correlación lineal indica la fracción de varianza que explica una serie escalar con respecto a otra. Ésta está definida por:

$$r = \frac{\sigma_{1,2}^2}{\sigma_1 \cdot \sigma_2} \quad (6)$$

donde

$$\sigma_{1,2}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(u_{1,i} - \bar{U}_1)(u_{2,i} - \bar{U}_2)] \quad (7)$$

es la covarianza entre una serie 1 y una serie 2, y  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$  son las desviaciones estándar de cada una de las series 1 y 2, definidas de manera similar a las ecuaciones (11)-(5). Entonces, si las dos series varían casi de manera sincronizada, entonces la correlación tendería a 1. Si las series varían de manera casi sincronizada pero de forma inversa (i.e., un máximo de una serie corresponde a un mínimo de la otra), entonces la correlación tendería a -1. Si ambas series no varían de manera similar, entonces la correlación tendería a 0.

### Correlación Compleja.

De acuerdo con Kundu (1976), la correlación compleja es un método para obtener la relación entre el ángulo y la magnitud de dos vectores. La correlación compleja es similar a la correlación mencionada anteriormente, pero esta se calcula a partir de dos series vectoriales (bidimensionales) expresadas como números complejos:  $W_1 = u_1 + iv_1$  y  $W_2 = u_2 + iv_2$ . El cálculo de este tipo de correlación es similar al de la ecuación (6), o sea,

$$r_0 = \frac{\sum_{i=1}^N [(W_{1,i} - \bar{W}_1)(W_{2,i} - \bar{W}_2)]}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (W_{1,i} - \bar{W}_1)^2 \sum_{i=1}^N (W_{2,i} - \bar{W}_2)^2}} \quad (8)$$

donde las barras indican un promedio aritmético de toda la serie, pero ahora el resultado  $r_0$  es un numero complejo. Así, la correlación compleja está definida como el módulo de  $r_0$ :

$$r_c = |r_0| \quad (9)$$

### Fase.

La cantidad que complementa a la correlación compleja es la fase, la cual está dada por el arco tangente del cociente de la parte imaginaria y de la parte real de  $r_0$ :

$$\phi = \arctan\left(\frac{\text{Im}(r_0)}{\text{Re}(r_0)}\right) \quad (10)$$

Entonces, a diferencia de la correlación obtenida para series escalares, la correlación compleja varía entre 0 y 1. Si las dos series vectoriales varían de manera casi sincronizada pero de forma inversa (i.e., un máximo de la magnitud de una de las series corresponde a un mínimo de la magnitud de la otra), la correlación compleja tendería a 1 y no a -1 como en la caso de la correlación escalar, pero la fase tendería a un valor de 180°.

### Error estándar de estimación

El error estándar de estimación es una medida de la desviación del valor obtenido a partir de una BD con respecto al valor observado. Por ejemplo, para el caso de la componente zonal del viento en una cierta posición en superficie se tiene. Está dado de la forma:

$$ER_u = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (u_{\text{obs},1} - u_{\text{BD},1})^2} \quad (11)$$

donde  $u_{obs,i}$  es la serie observada en superficie y  $u_{BD,1}$  es la superficie proveniente de una BD.

Utilizando las fórmulas (1) y (3), se calcularon las medias y desviaciones estándar para las BDs RT c/3 hrs, RT c/6 hrs y RT Diaria, en la Figura 43 se muestra el procedimiento para la BD RT Diaria; las BD SCOW y BD COADS son medias climatológicas no fue necesario realizar este cálculo. Posteriormente se generaron las representaciones gráficas para las medias y las desviaciones estándar (Figura 44), figuras insertadas y comentadas en la sección de Resultados, sección 5.1 y 5.2.

Para comenzar el análisis comparativo de las BDs se calcularon las diferencias de las medias climatológicas (2), teniendo como punto de referencia la BD COADS. Las BDs además de tener RT diferente también difieren en su RE (Tabla 5), fue necesario interpolar las BDs a la RE y RT de la BD COADS. Debido que tiene el mayor periodo de mediciones, además ser una de las BDs más utilizadas en las investigaciones oceanográficas; se decidió que fuera la BD COADS la referencia para estos cálculos, también se muestran las figuras resultantes en la sección 5.1.

Se obtuvo la correlación compleja (2) y la fase (10) considerando en este caso las BDs RT c/3 hrs, RT c/6 hrs y RT Diaria. Fue necesario rellenar los huecos de la series en estas BDs e igual adaptar la RT y RE de la BD RT c/3 hrs y la BD RT c/6 hrs a la BD RT Diaria, por medio de interpolación y el cálculo de promedios diarios (Figura 42) las gráficas resultantes se pueden ver en la sección 5.3.

#### **4.2.3.Tercer Etapa: Comparación con Observaciones.**

Otra fuente de información para éste proyecto fueron las mediciones de las boyas NDBC. Éstas incluyen la dirección y velocidad del viento. Las mediciones de las BDs están separadas en componentes de viento entonces en las mediciones de las boyas, después de depurarlas, fueron calculados sus componentes zonal (12) y meridional (13) respectivas, en cada una de las series de datos. Para la comparación con las BDs se calculó la media estadística y la desviación estándar por componente de viento para las mediciones de las boyas, generando las tablas y figuras de las secciones 5.4.1 y 5.4.2, utilizando los procedimientos mostrados en las figuras 45–49, por orden de aparición.

Para la correlación entre BDs y EMs, fueron rellenados los huecos en las series *in situ* generados por la depuración de las mismas y después fueron calculados los componentes de viento  $u$  y  $v$ , utilizando (12) y (13), para cada serie (Figura 41 y 42). Las mediciones de las EMs están en RT cada hr, siendo necesario modificar dicha resolución a cada 3 hrs, a cada 6 hrs y a diaria para concordar las RT entre las BDs y las EMs, para obtener su correlación y fase (Figura 53–55). Las tablas y figuras generadas se encuentran en la sección 5.4.3.

#### **4.2.4. Cuarta Etapa: Casos Especiales.**

En la parte final del proyecto se incluyen los fenómenos extremos presentes en el GdM los huracanes y los Nortes; como ejemplo se ha agregado los huracanes del año 2007, sus efectos cuando estaban presentes en el GdM; y como ejemplo de Nortes el Frente Frío no. 24 del 2008.

Para las mediciones durante los huracanes fueron localizadas dentro de las BDs las fechas correspondientes a los Huracanes: Dean (20 a 23 de Agosto), Humberto (12 a 14 de Septiembre) y Lorenzo (25 al 28 de Septiembre); las BDs utilizadas para representar los huracanes fueron la BDs RT c/3 hrs, RT c/6 hrs y RT Diaria. Estas mediciones se compararon con las EMs API y NDBC No. 42055, en las posiciones de estas estaciones. En la trayectoria de Humberto no se cuenta con EMs cercanas para una comparación, solo se utilizaron las BDs para describir este huracán. Para el Norte se realizó algo similar, localizando en las BDs RT c/3 hrs, RT c/6 hrs y RT Diaria la presencia del frente frío, ubicando el No. 24 el 23 de Enero del 2008 y después comparando con las EMs API y NDBC No. 42055. Las figuras correspondientes a huracanes y el Norte mencionados se localizan en la sección 6 de esta tesis.

## 5. RESULTADOS.

El clima en el GdM puede ser más o menos dividido en dos estaciones: un invierno prolongado, cuando las incursiones frontales y los brotes de aire frío son los principales responsables la variabilidad sinóptica, y una temporada de verano, cuando la variabilidad es relativamente pequeña, excepto cuando las tormentas tropicales o huracanes incursionan en el Golfo. Durante los meses de primavera la dirección media del viento está más orientada zonalmente, hacia el oeste.

La influencia de los frentes fríos se hace evidente en el patrón de vientos climatológicos, siendo principalmente el norte sobre el GdM. El clima de verano es muy diferente, ya que la región exhibe los patrones del clima más tropical con temperaturas predominantemente mucho más caliente y vientos del Este al Sureste.

Las gráficas creadas para las secciones 5 y 6 tienen la forma de la **Figura 12**, la zona de estudio es el área del GdM y se utilizan dos escalas de colores y valores a) para las figuras donde se muestre la magnitud del viento, media, desviación estándar, correlación o fase entre BDs y b) para las diferencias de medias entre la BD COADS y las otras BDs del estudio.

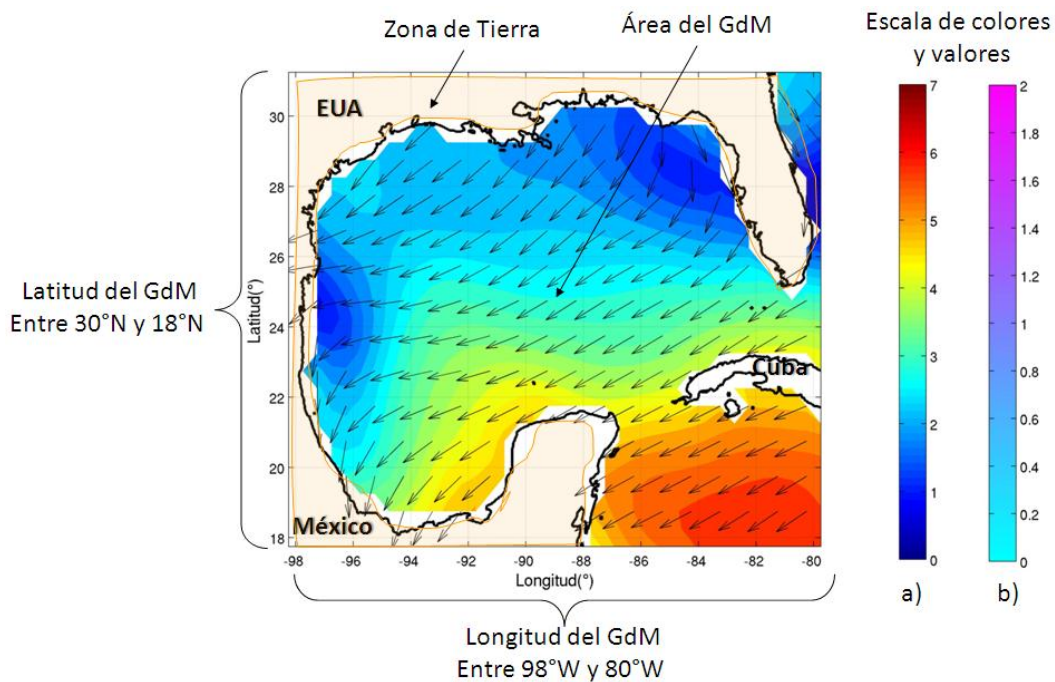


Figura 12 Partes de una gráfica de viento.

## 5.1. MEDIAS CLIMATOLÓGICAS.

El interés en la inspección de las climatologías radica en su gran utilidad en la descripción estacional de los patrones cercanos a la superficie (e.g., [Morey et al., 2005](#)). En esta sección se presenta la descripción básica de la variabilidad espacial y temporal del viento, a partir de las BDs derivadas del *QuikSCAT*, reanálisis del NARR, SCOW y COADS, este último utilizado como referencia.

Dada la diversa disponibilidad de datos de cada una de las BDs ([Tabla 5](#)), las climatologías de las BDs RT c/3 hrs, RT c/6 hrs y RT Diaria, fueron construidas usando periodos de diferente longitud ([Tabla 7](#)).

Tabla 7. Periodos de BDs utilizados.√: Ene–Dic

Año	Base de Datos		
	BR	AR	NARR
2004	√	<i>Abr–Dic</i>	√
2005	√	√	√
2006	√	√	√
2007	√	√	√
2008	√	√	√
2009	<i>Ene–Nov</i>	<i>Ene–Nov</i>	<i>Ene–Oct</i>

### 5.1.1. BD COADS.

Durante la estación de invierno la climatología de la BD COADS ([Figura 13a](#)) muestra que el viento que desciende de la parte sur de EUA atraviesa el Golfo con dirección al sur, que al ingresar a la zona del Golfo comienza a cambiar su dirección hacia el suroeste, predominando esta dirección hasta la parte sur del Golfo. Al acercarse a las costas de Tamaulipas y Veracruz el viento cambia su dirección hacia el sur siguiendo paralelo a la costa, y fluye cruzando hacia el continente en la parte más al sur del Golfo, entre los estados de Veracruz y Tabasco. La zona con mayor intensidad del viento se observa frente a la costa desde Campeche hasta Quintana Roo, al suroeste del Golfo. A principios de la primavera ([Figura 13b](#)) el viento proveniente del Océano Atlántico tiene una dirección este a oeste en la zona del GdM, cambiando su dirección por arriba de los 24° N



hacia el noroeste e igual dirección frente a la costa de Tamaulipas y Veracruz, entre los 26° N y 20° N; a la altura de Tabasco la dirección del viento es hacia el suroeste.

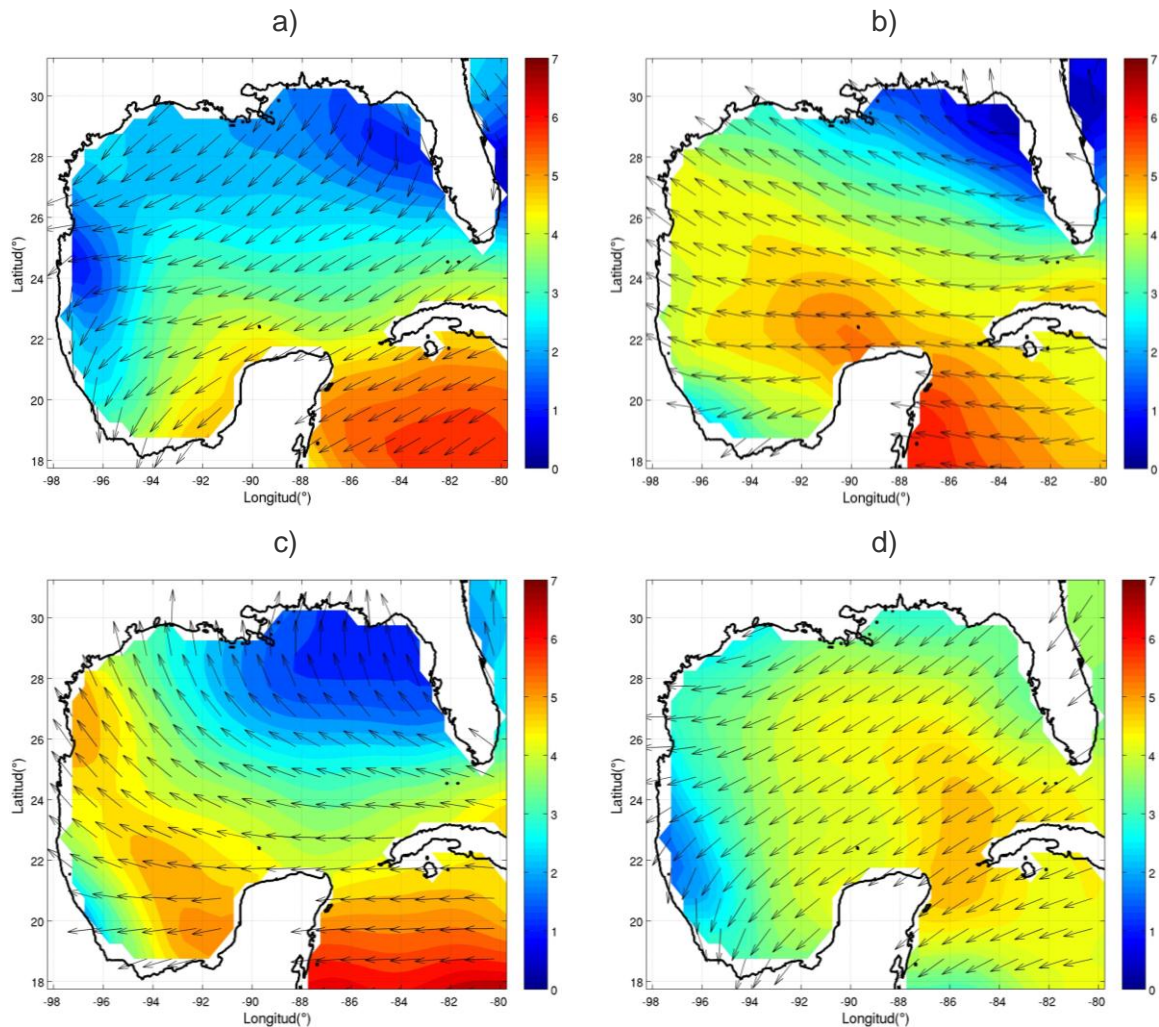
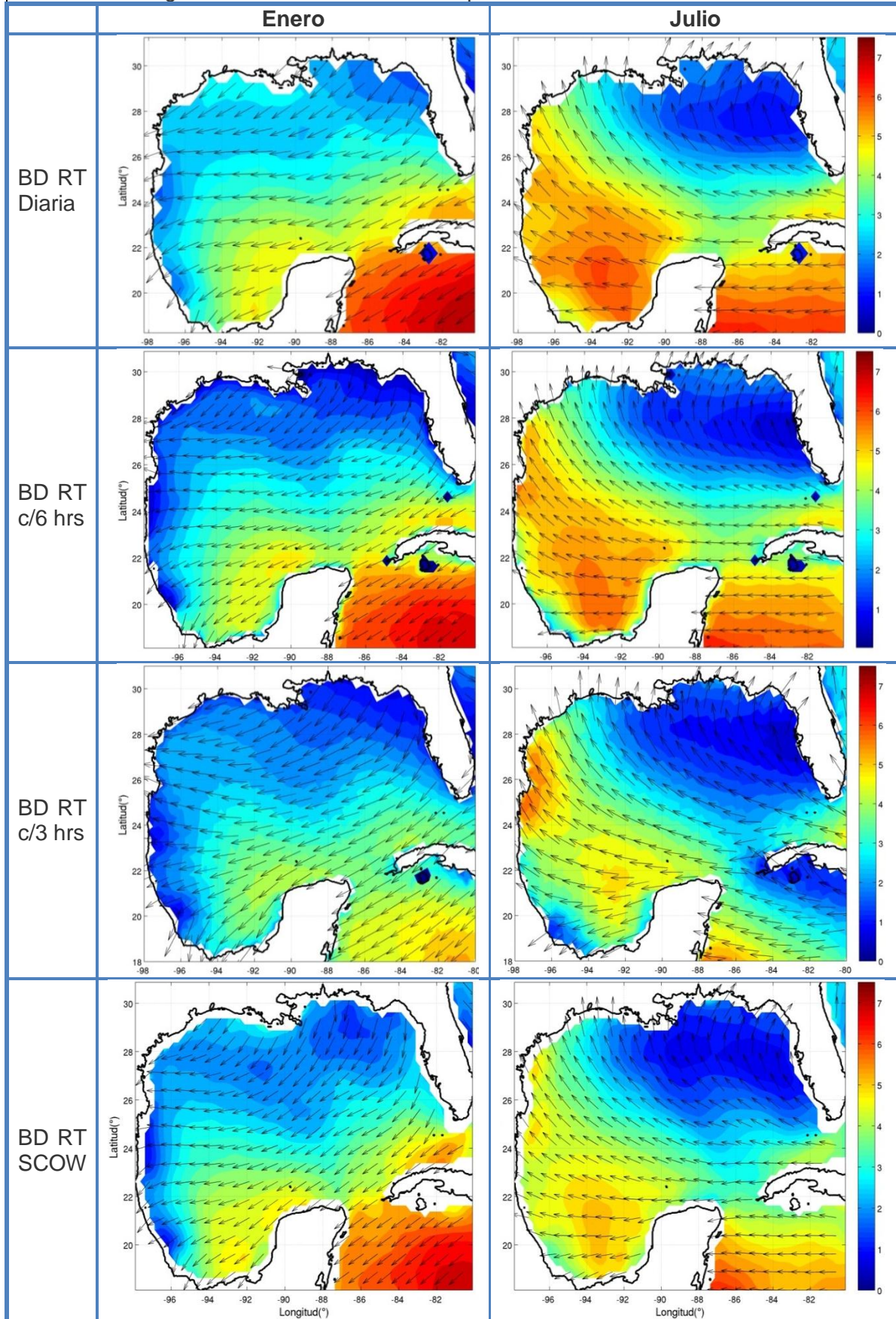


Figura 13 BD COADS. Media Estadística del Viento (m/s) durante a) Enero, b) Abril, c) Julio y d) Octubre.

Para la época de verano (Figura 13c) la dirección predominante es de este a oeste. Al sur de los 24° N la dirección es predominantemente del este en la mayor parte del Golfo, mientras que al Norte de esta latitud es predominante hacia el noroeste. Hacia el Norte de los 26° N, la dirección varía hacia el noreste, al este de los 90° W. La zona de intensificación atraviesa el GdM desde la costa de Campeche y Yucatán, en dirección noreste hacia la costa de Texas y Tamaulipas, presentando la mayor velocidad frente a ambas costas. Ya en el otoño (Figura 13d) el viento tiene una dirección hacia el suroeste, cerca de las costas mexicanas, entre las latitudes 22° N y 18° N; modifica su dirección hacia el sur, atravesando México entre los 96° W y 92° W de longitud oeste.



Tabla 8. Magnitud de viento durante la temporada de Verano e Invierno en las BDs.



En la [Tabla 8](#) se muestran las medias estadísticas de los meses de Enero y Julio para las BDs RT c/3 hrs, RT c/6 hrs, RT Diaria y SCOW. El primer mes es afectado por la temporada de Nortes, observándose una dirección predominantemente hacia el Oeste, con dirección a las costas de Tamaulipas y Norte de Veracruz y hacia el Sur, enfilando al Istmo de Tehuantepec.

Comparando la intensidad del viento en el mes de Enero existe mayor similitud en la parte Sur del Golfo frente a la zona de Campeche, en territorio mexicano. La zona de menor concordancia se muestra en la parte Norte tanto en valores como distribución de los mismos, desde Florida, en EUA hasta el Norte de Veracruz, México.

Para Julio el principal fenómeno meteorológico que afecta son los huracanes, cambiando la dirección del viento hacia el Suroeste llegando a costas de Tamaulipas y Texas. Comparando la intensidad del viento, la zona de mayor concordancia abarca casi la mitad del Golfo desde Yucatán hasta Texas, manteniéndose la misma zona en las BDs pero con rango de valores variables

### **5.1.2. BD RT Diaria Vs BD COADS.**

En esta climatología para el mes de Enero ([Figura 14a](#)) el viento frente a la costa desde Texas hasta Florida, tiene una dirección al suroeste; por debajo de los 26° N cambia con rumbo al oeste; frente a los estados de Tamaulipas y Veracruz su dirección es hacia el suroeste nuevamente. Atravesando México por el Istmo de Tehuantepec. La zona de intensificación del viento se localiza frente a la costa de Campeche y Yucatán por debajo de los 23° N, con una máxima de 7.3 m/s ([Tabla 9](#)).

Comparando con el mismo mes de la BD COADS la mayor diferencia se observa a lo largo de la costa de la Península de Yucatán con valores por arriba de 2 m/s; los diferencias menores se localizan cerca de Florida y frente a la costa de Tamaulipas entre los 23° N y 26° N. ([Figura 14b](#))

En el mes de Julio ([Figura 14c](#)) se observa una dirección del viento hacia el noroeste en la mayor parte del Golfo, observándose también otras direcciones como son hacia el oeste, por debajo de los 21° N, entre Campeche y Veracruz; y hacia el noreste en el área frente a la costa de Florida, a la derecha de los 89° W. La parte con mayor velocidad en viento,



con valores superiores a los 6.6 m/s (Tabla 9), es en la parte suroeste del GdM cerca de la costa de Campeche hacia la costa de Tamaulipas.

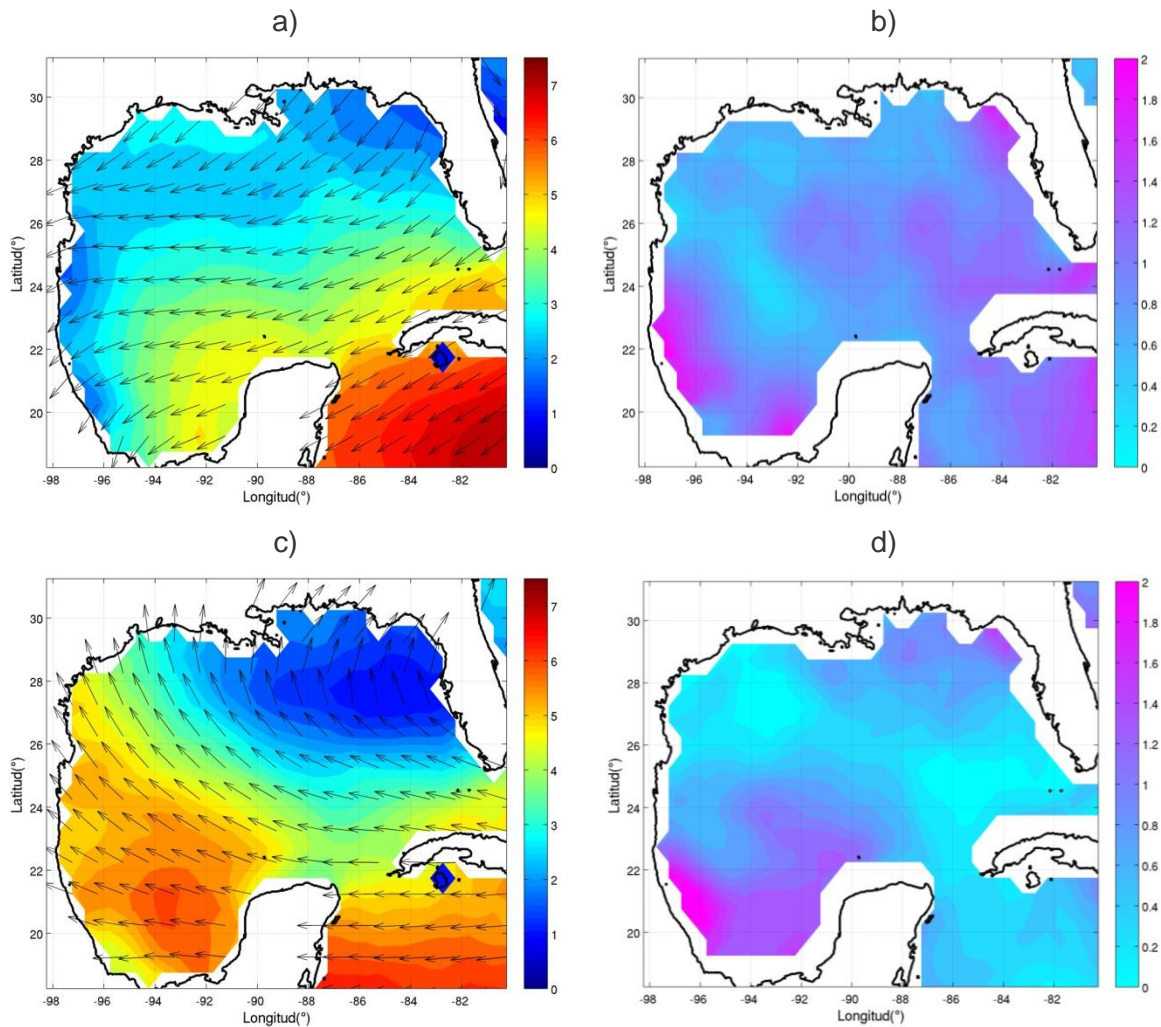


Figura 14 BD RT Diaria. Media Estadística del Viento (m/s) durante a) Enero y c) Julio; Diferencia de Medias entre la BD COADS y BD RT Diaria durante b) Enero y d) Julio.

La diferencia entre BD COADS y BD RT Diaria para el mes de julio, mostrada en la Figura 14d, muestran una mayor diferencia frente a parte de Texas entre los 28° N y 26° N y hacia el sur del GdM entre los 93° W y 91° W frente a parte de Campeche y Tabasco.

### 5.1.3. BD RT c/6 hrs Vs BD COADS.

En la Figura 15a el viento en la mayor parte del Golfo la dirección del viento es hacia el suroeste; excepto en la zona comprendida entre 27° N, 96° W y 23° N, 92° W, en donde la dirección es hacia el este; cerca de la costa la dirección del viento también es hacia el

suroeste. La zona de intensificación es a lo largo de la costa de México, desde Tabasco hasta Yucatán. En la imagen inferior (Figura 15c), el viento va hacia el noroeste en la parte media del Golfo y cerca de la costa desde la parte media de Texas hasta la parte media de Veracruz; por debajo de los 20° N la dirección es hacia el oeste. Frente la costa de Florida, la dirección cambia al Norte y después al noreste.

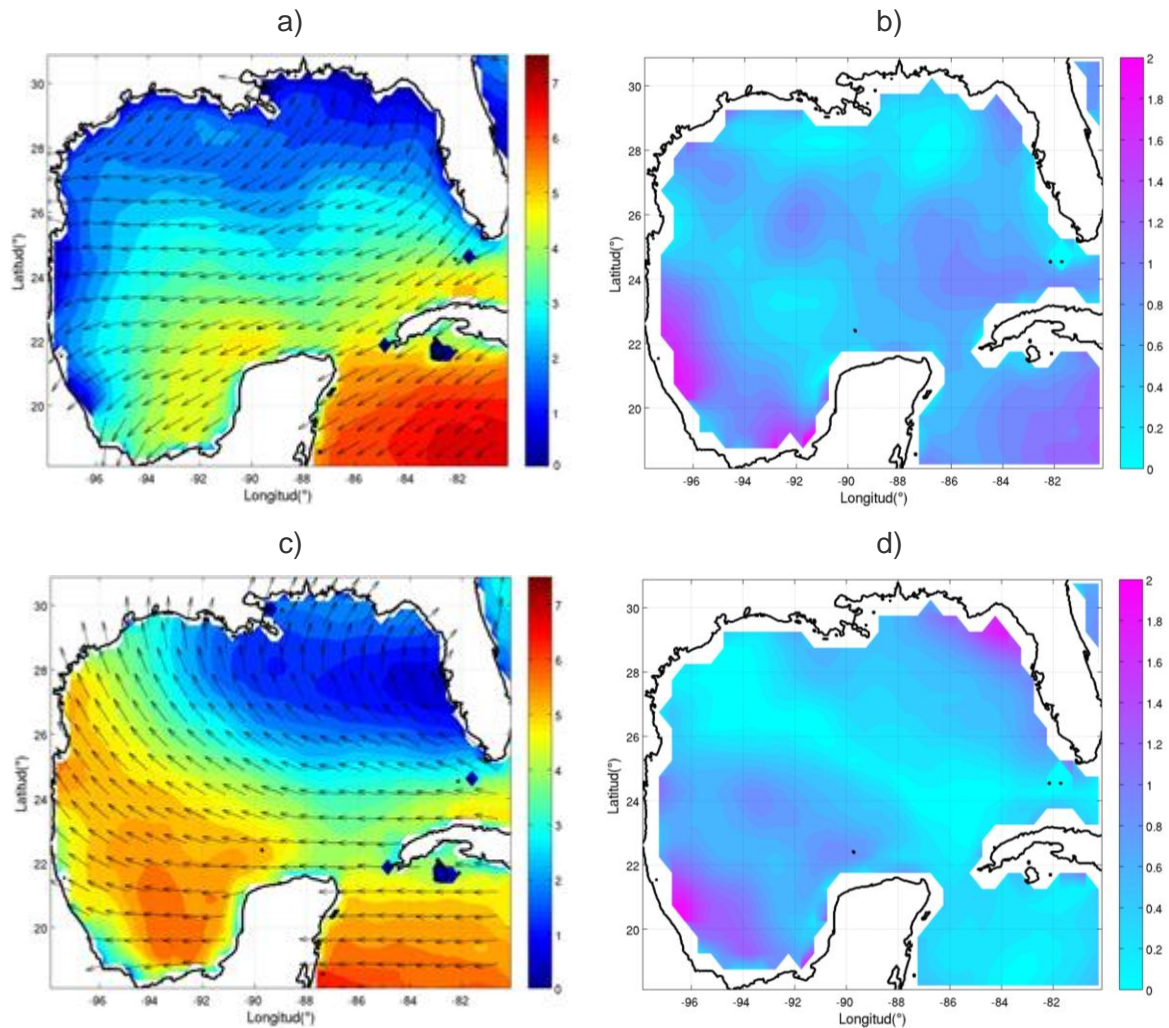


Figura 15 BD RT c/6 hrs. Media Estadística del Viento (m/s) durante a) Enero y c) Julio; Diferencia de Medias entre la BD COADS y BD RT c/6 hrs durante b) Enero y d) Julio.

En el mes de Enero la diferencia mayor con la BD COADS, se localiza frente a Tamaulipas y Veracruz, entre los 24° N y 20° N, y entre los 93° W y 91° W frente a Tabasco y Campeche con valores alrededor de los 2.7 m/s. La menor diferencia se localiza al otro lado del GdM frente a Lousiana y Florida, en zonas comprendidas entre los 92° W y 90° W, para la primera y entre los 87° W y 85° W y 83° W y 81° W para la segunda (Figura 15b).



Julio ubica su mayor diferencia (Tabla 11) cerca de la costa entre los 22° N y 20° N y una pequeña franja frente a Campeche, en la parte sur del Golfo; en el extremo Noreste, frente a Florida se presenta otra zona con mayor diferencia (Figura 15d). Existe una menor diferencia cerca de la costa, localizada frente a Texas entre los 26° N y los 29° N.

#### 5.1.4. BD RT c/3 hrs Vs BD COADS.

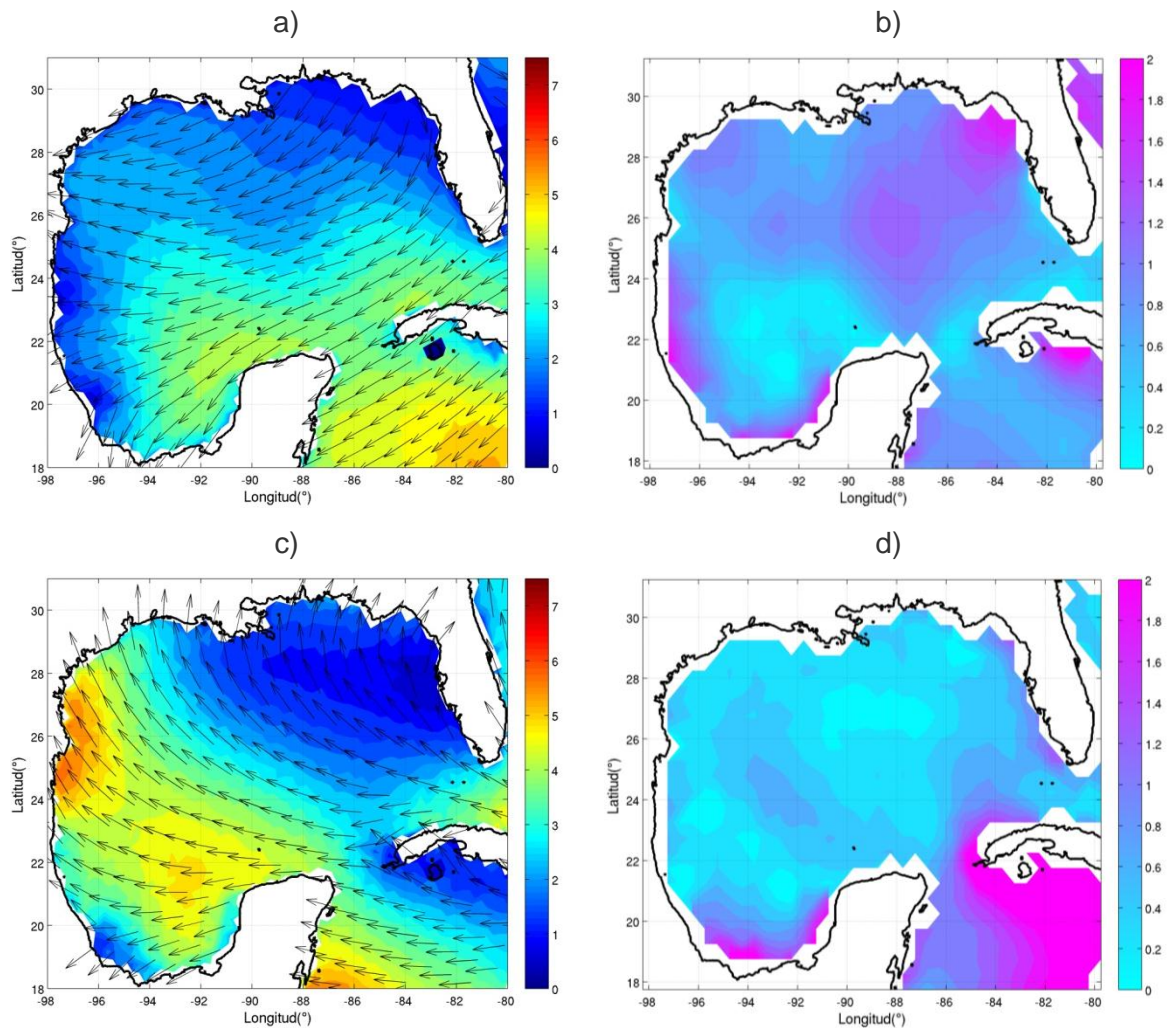


Figura 16 BD RT c/3 hrs. Media Estadística del Viento (m/s) durante a) Enero y c) Julio; Diferencia de Medias entre la BD COADS y BD RT c/3 hrs durante b) Enero y d) Julio.

En la media del mes de Enero en la Figura 16a, se muestra una dirección del viento hacia el suroeste en la costa sur de EUA. Desde la parte media de Texas hasta el centro de Tamaulipas la dirección es hacia el noroeste, por debajo de los 23° N en la parte sur del Golfo la dirección es hacia el suroeste, por debajo de los 20° N entre los 96° N y 94° N, la dirección es hacia el sur. Para el mes de Julio (Figura 16c) la dirección del viento es hacia

el noreste en gran parte del Golfo, cerca de la costa de Florida el viento cambia su dirección hacia el noreste; cerca de los 21° N comenzando frente a la costa de Tabasco hasta Yucatán el viento toma una dirección al suroeste.

En Enero la zona de mayor diferencia se localiza entre los 20° N y los 24° N en la costa de Tamaulipas y parte de Veracruz e igual frente a Florida entre los 27° N y los 29° N, con valores por arriba de los 2.5 m/s. La zona de menor diferencia se localiza por debajo de los 24° N y al Este de los 95° W (Figura 16b). Para Julio la zona con mayor diferencia (Tabla 11) se localiza cerca de la costa desde Campeche a la parte Oeste de Veracruz y la de menor diferencia se localiza frente a la costa, desde los 20° N hasta los 83° W, es decir, desde el Norte de Veracruz hasta Florida (Figura 16d).

Tabla 9. Media Estadística en la Magnitud del Viento (m/s) de las BDs en Enero y Julio.

BDs RT Meses	COADS		SCOW		c/3 hrs		c/6 hrs		Diaria	
	▲	▼	▲	▼	▲	▼	▲	▼	▲	▼
Enero	5.97	0.52	7.16	0.65	6.50	0.06	7.08	0.04	7.33	0.88
Julio	6.74	1.08	6.45	0.76	6.93	0.57	6.56	0.42	6.57	0.97

(Valores: ▲ Máximo y ▼ Mínimo.)

### 5.1.5. BD SCOW Vs BD COADS.

Durante el mes de Enero, en la parte sur de EUA (Figura 17a) por arriba de los 28° N la dirección del viento es hacia el suroeste, debajo de este paralelo y hasta los 22° N, la dirección es hacia el oeste, desde la costa más al sur de Texas hasta la parte Norte de Veracruz. Por debajo de los 21° N frente a la costa Sur del GdM la dirección es hacia el suroeste.

Tabla 10. Media Estadística en la Magnitud del Viento (m/s) en cada BD.

BDs	COADS	c/3 hrs	c/6 hrs	Diaria
▲	6.8	7.3	7.2	8.6

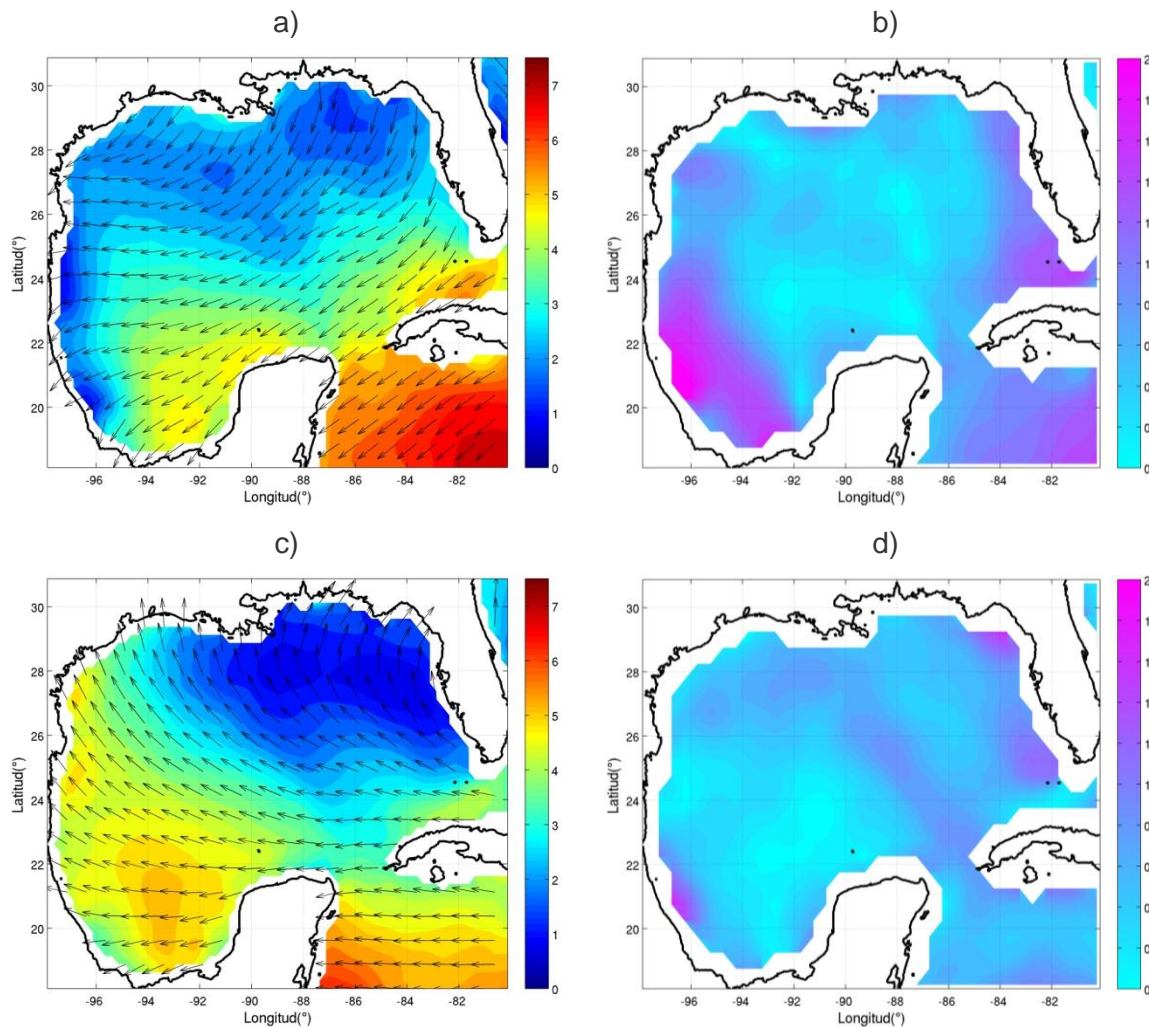


Figura 17 BD SCOW. Media Estadística del Viento (m/s) durante a) Enero y c) Julio; Diferencia de Medias entre la BD COADS y la BD SCOW durante b) Enero y d) Julio.

Para el mes de Julio (Figura 17c), la dirección frente a la costa del Golfo es hacia noroeste desde la parte Norte de Veracruz hasta la parte media de Texas. Después de los  $94^{\circ}$  W va modificando su dirección rumbo al este observándose una dirección hacia el sureste frente a parte de la costa de Florida por arriba de los  $28^{\circ}$  N y al noroeste por debajo de esta. Por debajo de los  $20^{\circ}$  N la dirección es hacia el oeste, frente a la costa en la parte media de Veracruz hasta Campeche.

Los valores de mayor diferencia se ubican frente a la parte Norte de Veracruz, entre los  $20^{\circ}$  N y los  $22^{\circ}$  N con valores por arriba de los 2 m/s, frente a Campeche también se presentan máximos valores de diferencia entre la BD SCOW y BD COADS, para el mes de Enero. En el Verano (Julio) la ubicación de la zona de mayor diferencia también se presenta frente a Veracruz, pero con valores por debajo de los 2 m/s (Figura 17b y 17d).

Tabla 11. Máximas Diferencias de Medias Estadísticas entre las BDs y la BD COADS.

BDs RT Meses	c/3 hrs	c/6 hrs	Diaria	SCOW
Enero	2.8	2.7	2.4	2.4
Abril	3.5	2.1	1.7	1.9
Julio	4.2	2.0	3.0	1.9
Octubre	3.6	2.0	2.9	2.4

Las gráficas de magnitud media de viento en las diferentes BDs del proyecto reflejan similitudes en la distribución de los valores en el GdM; excepto cerca de la costa, la parte del GdM donde existe menor concordancia es frente a Tabasco y Campeche, entre las BDs RT c/3 hrs, RT c/6 hrs y RT Diaria es más notorio.

## 5.2. DESVIACIONES ESTÁNDAR.

En esta sección se describe la desviación estándar con respecto a las medias estadísticas descritas en la sección 4.1, para los casos de BDs RT c/3 hrs, RT c/6 hrs y RT Diaria. Los campos de la desviación estándar evidencian las zonas de mayor variabilidad temporal, así como permiten identificar en qué zonas esta variabilidad es mayor a la media climatológica.

### 5.2.1. BD RT Diaria.

Para la desviación estándar de la BD RT Diaria durante el mes de Enero (Figura 18b) la mayor parte de los valores máximos, están localizados en la parte Norte del GdM, por arriba de los 24° N, así como también al oeste del mismo, frente a la costa de Tamaulipas y parte de Veracruz, es decir de los 94° W con dirección a la costa. Para Julio existen valores entre 2.4 m/s y 5.1 m/s (Tabla 12), distribuidos los máximos valores cerca de la costa sur de EUA y los valores mínimos cerca de la península de Yucatán (Figura 18b).



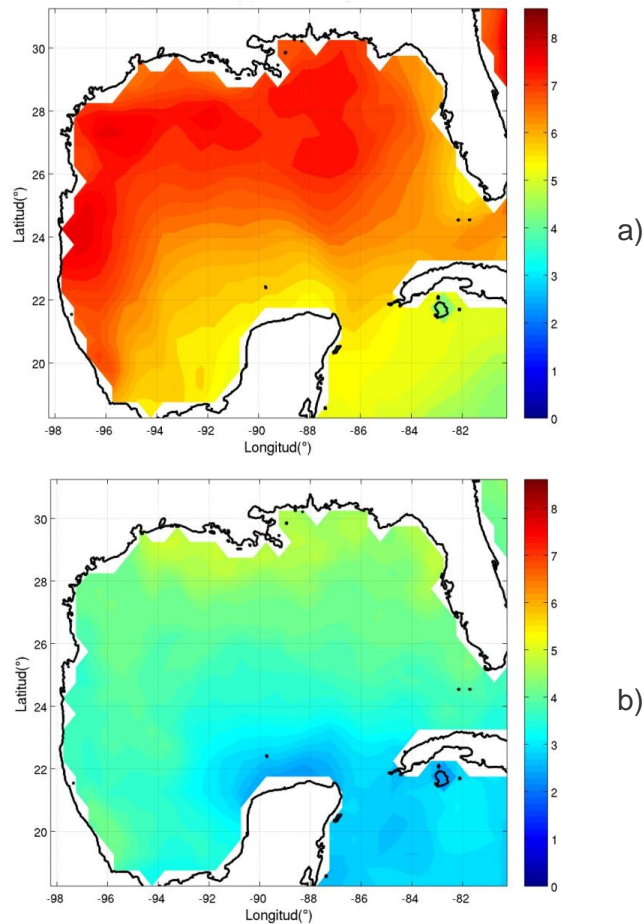


Figura 18 BD RT Diaria. Desviación Estándar del Viento (m/s) durante a) Enero y b) Julio.

### 5.2.2. BD RT c/6 hrs

El área dentro del Golfo con alta desviación estándar para la temporada de Invierno (Figura 19a), se localiza por arriba de los 24° N, abarcando la parte Norte del GdM y de los 94° W hacia la costa, comprendiendo los estados de Tamaulipas y parte de Veracruz, observándose espacio de valores bajos frente a la costa de Veracruz entre los 20° N y los 22° N. Al este de los 95° W sobre la costa mexicana, desde Tabasco a Yucatán también se observan valores cerca del mínimo (Tabla 12). Para el mes de Julio (Figura 19b) los valores máximos están desde Luisiana hasta Florida, por arriba de los 24° N y al este de los 94° W, los mínimos valores se localizan a lo largo de la costa desde Texas hasta Yucatán.

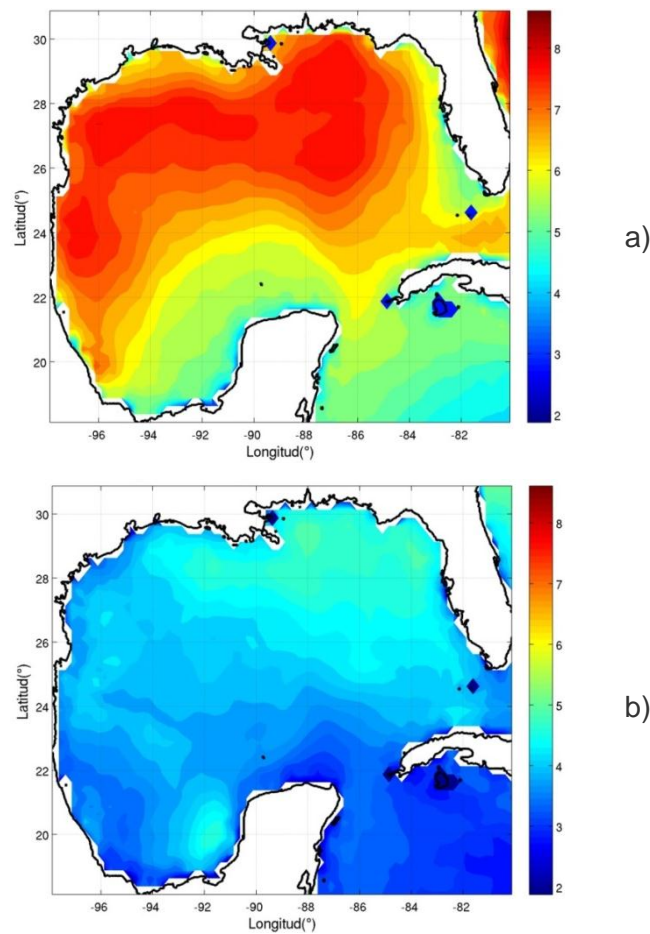


Figura 19 BD RT c/6 hrs. Desviación Estándar del Viento (m/s) durante a) Enero y b) Julio.

### 5.2.3. BD RT c/3 hrs

En la desviación estándar en BD RT c/3 hrs para el invierno se observan valores máximos, entre 4.5 m/s y 6 m/s (Figura 19a) en gran parte del Golfo distribuidos por arriba de los 24° N. Los valores mínimos se observan al este de los 95° W en la costa desde Tabasco a Yucatán.

En el verano (Julio) los valores superan escasamente los 4 m/s, presentando los valores máximos entre los 28° N, 90° W y 25° N, 86° W, frente a Luisiana, decreciendo el valor al irse acercando a la costa, una zona con características similares se localiza también frente a Campeche.

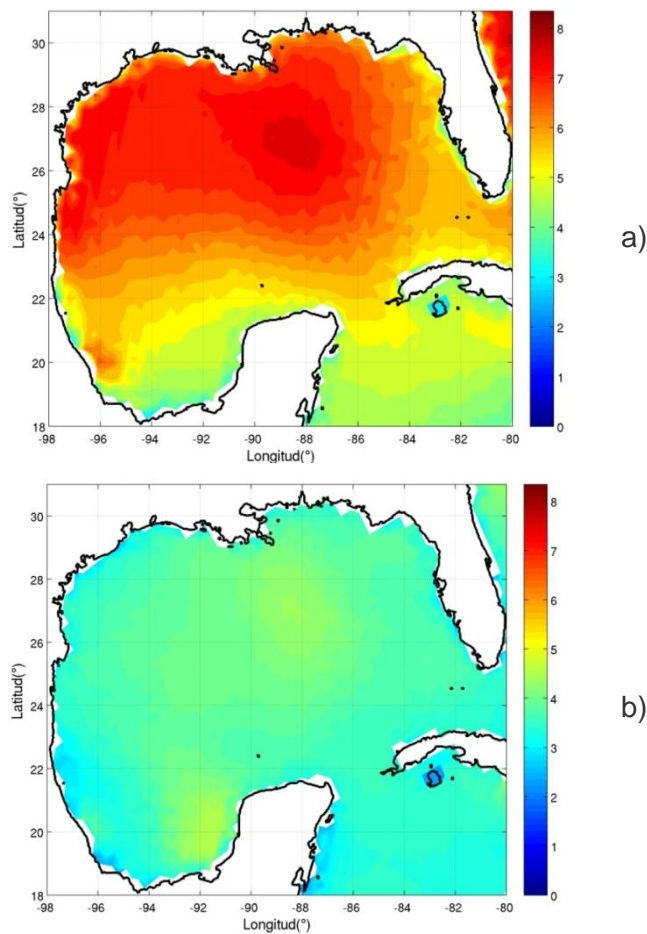


Figura 20 BD RT c/3 hrs. Desviación Estándar del Viento (m/s) del mes de a) Enero y b) Julio.

Las tres desviaciones estándar (BDs RT c/3 hrs, RT c/6 hrs y RT Diaria) ubican sus valores más altos en la parte Norte del GdM, con una zona de valores menores después de los  $96^{\circ}$  W en las costas de México. Sus diferencias podrían ser en los rangos de valores máximos y mínimos en cada BDs. Así como la cantidad de máximos valores presentes en las figuras 18-20, la mayoría está por arriba de los  $24^{\circ}$  N así como al oeste de los  $96^{\circ}$  W hacia la costa; pero la BD RT c/3 hrs presenta mayor cantidad de estos valores debido tal vez a la resolución espacial de la misma base de datos. Esto para el mes de Enero.

En Julio se observan diferencias más que similitudes. En la BD RT c/3 hrs y la BD RT Diaria tienen un rango de valores similares, pero en la BD RT c/6 hrs quien se diferencia de estas. Sin embargo las zonas de distribución de máximos valores es similar entre las BD RT c/3 hrs y la BD RT c/6 hrs. La BD RT Diaria distribuye sus valores máximos cerca de la costa a lo largo de esta, desde Florida hasta Campeche, mientras la BD RT c/3 hrs y

la BD RT c/6 hrs tiene zonas parecidas al ubicarse estas cerca de Luisiana en EUA y Campeche para la parte de México.

Tabla 12. Desviación Estándar de las BDs.

BDs RT Meses	c/3 hrs		c/6 hrs		Diaria	
	▲	▼	▲	▼	▼	▲
<b>Enero</b>	8.3	3.0	8.5	2.8	7.8	4.4
<b>Julio</b>	4.5	2.1	5.2	1.9	5.1	2.4

### 5.3. CORRELACIÓN ENTRE BASES DE DATOS.

En esta sección se muestra una correlación (compleja) entre sí de las BDs RT c/3 hrs, RT c/6 hrs y RT Diaria. Esta correlación muestra cómo se comparan entre ellas, poniendo en evidencia aquellas regiones donde los resultados de cada una de ellas divergen entre sí.

De acuerdo con lo reportado por [Perlin et al. \(2004\)](#), los valores en las correlaciones disminuyen de manera sistemática hacia la costa y hacia el sur. Esto se atribuye a una mayor estabilidad direccional de los vientos en el Sur, que se alinean más paralelamente a la costa.

Dado que la resolución espacial y temporal de las BDs difieren entre sí, hubo que llevar las tres BDs a una misma malla de  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ , y a datos Diarias. Para esto se realizaron los promedios correspondientes para los casos de la BD RT c/3 hrs y la BD RT c/6 hrs Para el caso de la BD RT Diaria, este proceso no fue necesario, ya que la resolución que se menciona es precisamente la que presenta la BD RT Diaria.

La mayor correlación existe entre la BR RT c/3 hrs y la BD RT c/6 hrs al contar con valores superiores a 0.85 y además abarcando una buena parte del Golfo, casi todo su espacio, la excepción se observa cerca de la costa, comprendida entre los  $90^{\circ} \text{ W}$  y los  $97^{\circ} \text{ W}$  que corresponde a Veracruz, Tabasco y Campeche.

La correlación con valores menores es entre la BD RT c/3 hrs y la BD RT Diaria hrs teniendo valores por debajo de los 0.85. La correlación entre la BD RT c/6 hrs y la BD RT Diaria tiene un rango de valores similares a la anterior, pero ésta tiene una distribución de

valores diferente para la zona de la costa, observándose valores entre 0.70 y 0.75, en cambio para la BD RT c/3 hrs y la BD RT Diaria hrs los valores se ubican entre los 0.65 y 0.75.

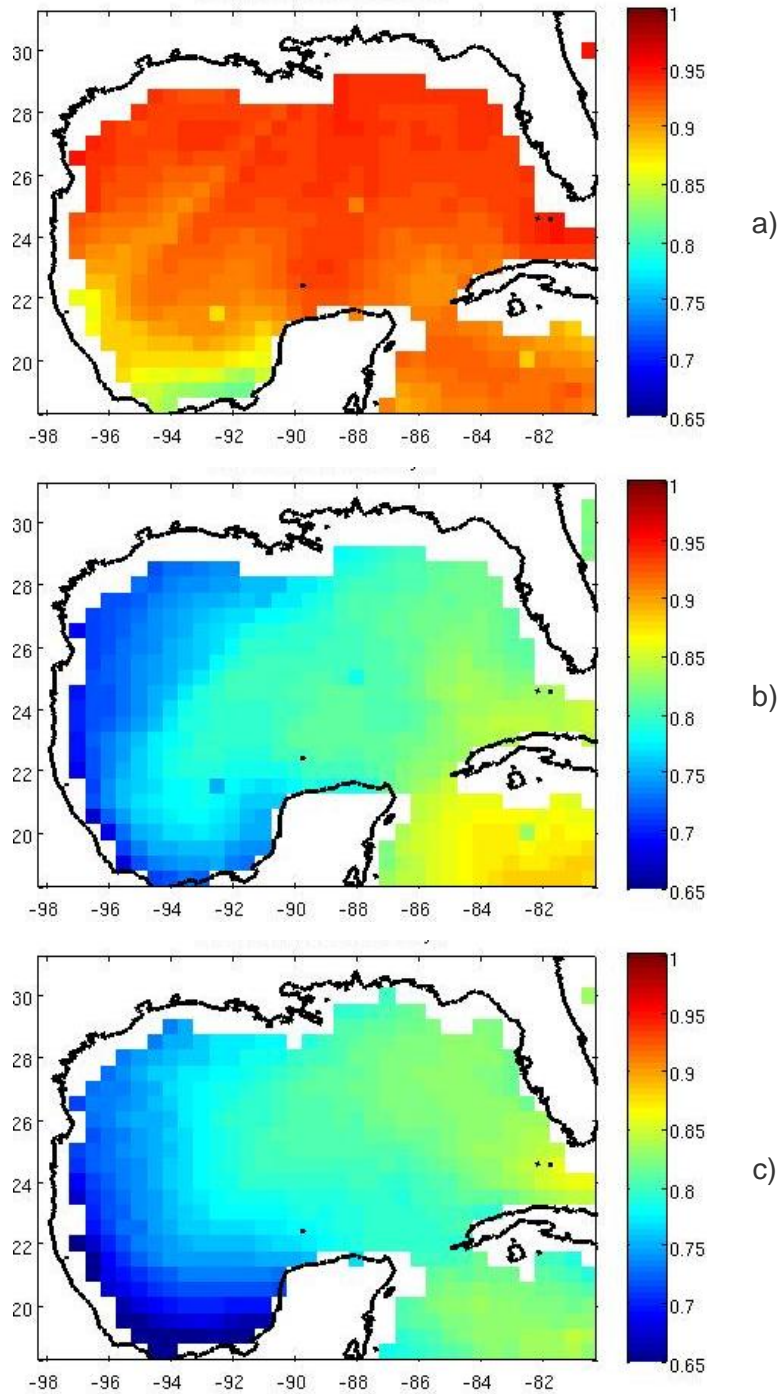


Figura 21 Correlación compleja entre a) BD RT c/3 hrs y BD RT c/6 hrs; entre b) BD RT c/6 hrs y BD RT Diaria; entre c) BD RT c/3 hrs y BD RT Diaria

Comparando la distribución de valores entre la BD RT c/3 hrs y la BD RT Diaria, y la BD RT c/3 hrs y la BD RT c/6 hrs, se observa una similitud en la zona comprendida entre los 90° W y los 96° W. No obstante, al comparar los valores en sí no existe tanta similitud, pues la primera tiene los máximos valores de correlación y la segunda los menores.

#### 5.4. FASE ENTRE BASES DE DATOS.

Las bases de datos con mayor desfase ocurre entre la BD RT c/3 hrs y la BD RT c/6 hrs (Tabla 13). La mayor parte del Golfo, el rango sería entre -5° y 12°, la parte con máximos valores se presenta en la parte sur del Golfo, desde Veracruz a la parte oeste de Campeche (Figura 22a). Entre la BD RT c/ 6 hrs y la BD RT Diaria (Figura 22b) el desfase es menor con un rango de valores entre -10.5° y 8.5°, con un rango de valores parecido al anterior pero con signos inversos (Tabla 14). Se presenta una pequeña zona con valores más altos en la parte Norte de Veracruz. Entre la BD RT c/3 hrs y la BD RT Diaria presentan una distribución similar de valores a la comparación anterior, la diferencia radica en la parte sur del GdM en la zona comprendida por Veracruz al oeste de Campeche siendo una zona más amplia y con valores superior a 5° (Figura 22c)

Tabla 13. Correlación Compleja y Fase entre las BDs: RT c/3 hrs con RT Diaria; y entre RT c/3 hrs con RT c/6 hrs.

BDs		Diaria				c/6 hrs			
		Correlación		Fase (°)		Correlación		Fase (°)	
BD	RT	▲	▼	▲	▼	▲	▼	▲	▼
		c/3 hrs		0.86	0.61	12.6	-13.3	0.95	0.81

Tabla 14. Correlación Compleja y Fase entre la BD RT c/6 hrs con la BD RT Diaria.

BD		Diaria			
		Correlación		Fase (°)	
BD	RT	▲	▼	▲	▼
		c/6 hrs		0.95	0.81

Los mayores valores de fase entre las BDs es en donde está incluida la BD RT c/3 hrs, con valores de 12° o superior. En el caso en que está presente la BD RT Diaria los valores también son grandes, aunque orientadas en el otro sentido: -10°.



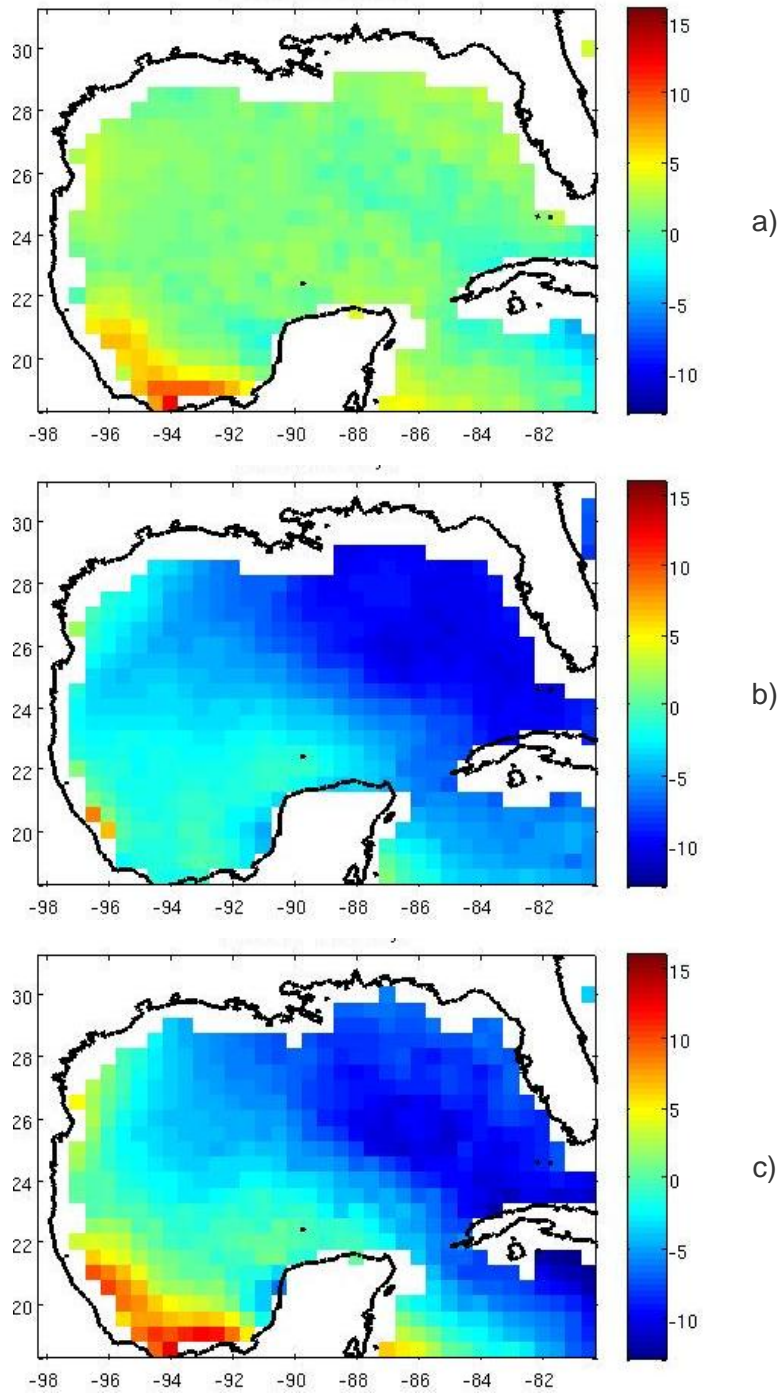


Figura 22 Fase ( $^{\circ}$ ) entre a) BD RT c/3 hrs y BD RT c/6 hrs; entre b) BD RT c/6 hrs y BD RT Diaria; entre c) BD RT c/3 hrs y BD RT Diaria

## 5.5. COMPARACIÓN CON OBSERVACIONES (BDs vs EMs).

Como ya se mencionó, los instrumentos empleados en cada estación son sensores de velocidad del viento, de dirección, sensores de la presión atmosférica y los sensores de temperatura del aire. Las estaciones de NDBC son un instrumento para medir los vientos a 5 o 10 m sobre el nivel del mar, presión atmosférica y temperatura del aire y del mar (Gutiérrez de Velasco y Winant, 1996).

En esta sección se muestran comparaciones entre datos puntuales en superficie, medidos en estaciones meteorológicas, y los valores de las BDs RT c/3 hrs, RT c/6 hrs y RT Diaria interpolados en esos puntos. Se utilizaron cinco puntos de observación, correspondientes a cuatro estaciones en boyas superficiales de la NDBC–NOAA (Tabla 15), y una estación costera (sobre la tierra) de la Administración Portuaria Integral (API) de Altamira, Tamaulipas (Figura 2). Fueron sólo cinco estaciones debido a la disponibilidad de datos simultáneos a los de las BDs, enfocando la comparación en el oeste del Golfo. Para la región sur del Golfo, es decir el área de la Bahía de Campeche, no se consiguieron datos de suficiente calidad.

Tabla 15. Periodos de Mediciones de las Boyas NDBC.

Boya.	Periodo
42001	1989 – 2009
42002	1989 – 2009
42020	1990 – 2009
42055	2005 – 2009

Como ya se mencionó, a diferencia de las estaciones de la NDBC, la estación API–Altamira se encuentra sobre tierra a 10 m de altura, aunque muy cerca del mar, en la zona de la playa de Altamira (Tabla 16). Note que para el caso de esta estación, los valores de la correlación son en general menores que aquellos valores para las demás estaciones (Figuras 25–26), lo que es de esperarse, dada la naturaleza de los datos de las BDs. No obstante la comparación de las BDs en esa posición es ilustrativa, ya que ésta da idea de cuál BD funciona mejor para la franja oceánica muy cercana a la costa (de escasos kilómetros de ancho) en la región oeste del Golfo.



Aunque la comparación de las BDs con las observaciones en superficie que se describe en esta sección no determina indiscutiblemente cuál de las BDs reproduce mejor el campo de viento verdadero, ésta sí brinda un buen argumento sobre qué producto (BD) puede ser el más apropiado para usarse en aplicaciones como la implementación de modelos numéricos para la región de interés.

En las siguientes secciones se comparan la media y desviación estándar mensual por componente meridional y zonal, entre las BDs y las boyas NDBC (Figura 22). Los periodos de tiempo utilizados fueron de 1989 a 2009 para las boyas NDBC No. 4001 y No. 42002, y 1990 a 2009 para la Boya No. 42020 (Tabla 15).

Tabla 16. Estaciones Meteorológicas (EMs) en superficie.

Estación	Latitud	Longitud	Altura	Sitio
NDBC 42001	22.203	-94.000	5 m	Sur del Paso del Suroeste, Luisiana.
NDBC 42002	25.790	-93.666	10 m	Este de Brownsville, Texas
NDBC 42020	26.966	-96.695	5 m	Suroeste de Corpus Christi, Texas
NDBC 42055	25.888	-89.658	5 m	Bahía de Campeche, México
API Altamira	22.393	-97.895	10 m	Altamira, Tamps (Sobre Tierra)

## 5.5.1. Medias Climatológicas.

Tabla 17. Medias Mensuales del Componente Zonal de Viento (m/s) en las posiciones de las Boyas NDBC, entre las BDs y las Boyas: BDs **AR** (RT c/6 hrs), **BR** (RT Diaria), **COADS**, **NARR** (RT c/3 hrs), **SCOW** y Boya.

Meses Posic.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
42001	-2.20	-2.84	-2.86	-3.42	-3.88	-2.91	-1.74	-1.69	-2.77	-4.12	-3.08	-2.15
	-2.24	-1.43	-3.22	-3.36	-3.66	-3.42	-2.81	-2.09	-1.67	-3.58	-3.41	-2.84
	-2.31	-2.91	-2.70	-3.37	-4.16	-3.26	-2.12	-1.54	-1.96	-4.01	-3.76	-2.61
42002	-2.17	-2.15	-3.09	-3.79	-3.84	-3.29	-2.23	-2.34	-3.74	-3.92	-3.13	-2.40
	-2.69	-2.08	-3.01	-3.44	-3.82	-2.97	-2.28	-1.59	-3.11	-4.30	-2.97	-2.47
	-1.83	-2.04	-2.97	-3.65	-3.36	-2.33	-1.53	-1.74	-2.75	-3.58	-3.45	-2.55
42020	-2.79	-3.05	-4.11	-4.49	-4.94	-4.30	-3.42	-2.78	-2.73	-4.07	-3.10	-2.48
	-2.48	-1.92	-3.81	-3.92	-4.47	-4.11	-3.54	-3.30	-2.61	-2.90	-3.33	-3.07
	-2.19	-2.94	-3.21	-3.95	-4.80	-3.80	-3.03	-2.24	-2.42	-3.88	-3.45	-2.80
42020	-2.51	-2.69	-3.41	-4.17	-4.33	-3.94	-2.85	-2.77	-3.76	-3.59	-2.84	-2.41
	-2.71	-2.65	-3.55	-3.96	-4.28	-3.56	-3.37	-2.48	-2.64	-3.92	-2.98	-2.64
	-2.51	-2.94	-3.81	-4.42	-4.24	-3.46	-2.79	-2.74	-3.21	-3.56	-3.36	-2.79
42020	-1.97	-2.30	-2.90	-3.91	-4.12	-3.64	-3.16	-2.77	-2.70	-3.08	-2.19	-1.57
	-1.62	-0.98	-3.02	-3.31	-3.86	-3.60	-2.97	-3.00	-2.65	-2.63	-2.59	-2.64
	-1.69	-2.64	-2.68	-3.36	-4.15	-3.55	-2.63	-1.91	-2.25	-3.66	-2.98	-2.58
42020	-2.01	-2.44	-3.31	-3.81	-4.35	-3.68	-2.89	-2.88	-3.29	-3.09	-2.35	-1.60
	-2.51	-2.52	-3.51	-3.89	-4.18	-3.75	-3.37	-2.73	-2.74	-3.34	-2.51	-2.10
	-2.07	-2.57	-3.46	-4.03	-3.85	-3.16	-2.59	-2.57	-2.94	-3.13	-2.82	-2.26

La [Figura 23](#) muestra que tanto las mediciones en las BDs y las boyas NDBC No. 42001, No. 42002 y No. 42020 tienen una distribución de medias mensuales similar, situación que también se refleja en la [Tabla 19](#), donde la máxima diferencia entre las medias de las boyas NDBC y las BDs es de 2.74 m/s, presente durante el mes de Septiembre entre la BD RT c/6 hrs y la boya No. 42020, y la mínima se encuentra en el mes de Enero, 0.0005 m/s, entre la BD RT c/6 hrs y la boya No. 42001; ambas cantidades en la componente meridional.

Observando las figuras de la componente zonal, una de cada Boya, se puede ver un incremento después de Mayo y a partir de Julio comienzan un decremento hasta Octubre volviendo a incrementar después de este mes. Existe dos periodos con más concordancia, de Marzo a Mayo y también de Octubre a Diciembre; aunque tienen la misma forma las tres figuras hay diferencias entre los valores, ver la [Tabla 19](#) para conocer estas diferencias.

En la comparación de la posición No. 42001, el rango de valores es entre -4.16 m/s a -2.70 m/s para el primero ([Tabla 17](#)) y para el segundo periodo de -4.30 m/s a -2.40 m/s. Similar ocurre en la posición No. 42002 en el primer periodo de Marzo a Mayo pero el rango de valores es más amplio 4.80 m/s a -3.21 m/s y con ello las líneas de las medias más separadas, a la inversa sucede de Octubre a Diciembre, que se reduce quedando de -3.92 m/s a -2.4 m/s. Por último en la No. 42020 el rango es entre -4.35 m/s a -2.68 m/s para el primer periodo, notándose una mayor concordancia entre las BDs RT c/3 hrs, COADS y SCOW; de Octubre a Diciembre se tiene un rango entre -3.66 m/s y -2.10 m/s, excepto la BD RT c/6 hrs, las BDs tienen una misma forma u orientación. Durante los meses de Enero a Marzo es la BD RT c/6 hrs que aparece más separada de las demás BDs ([Figura 23](#)).

En el periodo de Mayo a Octubre se encuentra un rango de valores de -4.30 m/s a -1.54 m/s en la posición No. 42001; de -4.80 a -2.24 m/s para la No. 42002 y de -4.35 a -1.91 m/s en la No. 42020 ([Tabla 17](#)). Para la primera la distribución de las medias mensuales graficadas tienen forma similar excepto la BD RT c/6 hrs desfasada con respecto a las demás; en la segunda posición sucede algo parecido con la BD RT c/6 hrs tiene pequeñas diferencias gráficas. En la No. 42020 las más notorias en desfase son la BD RT c/6 hrs y la BD RT Diaria.

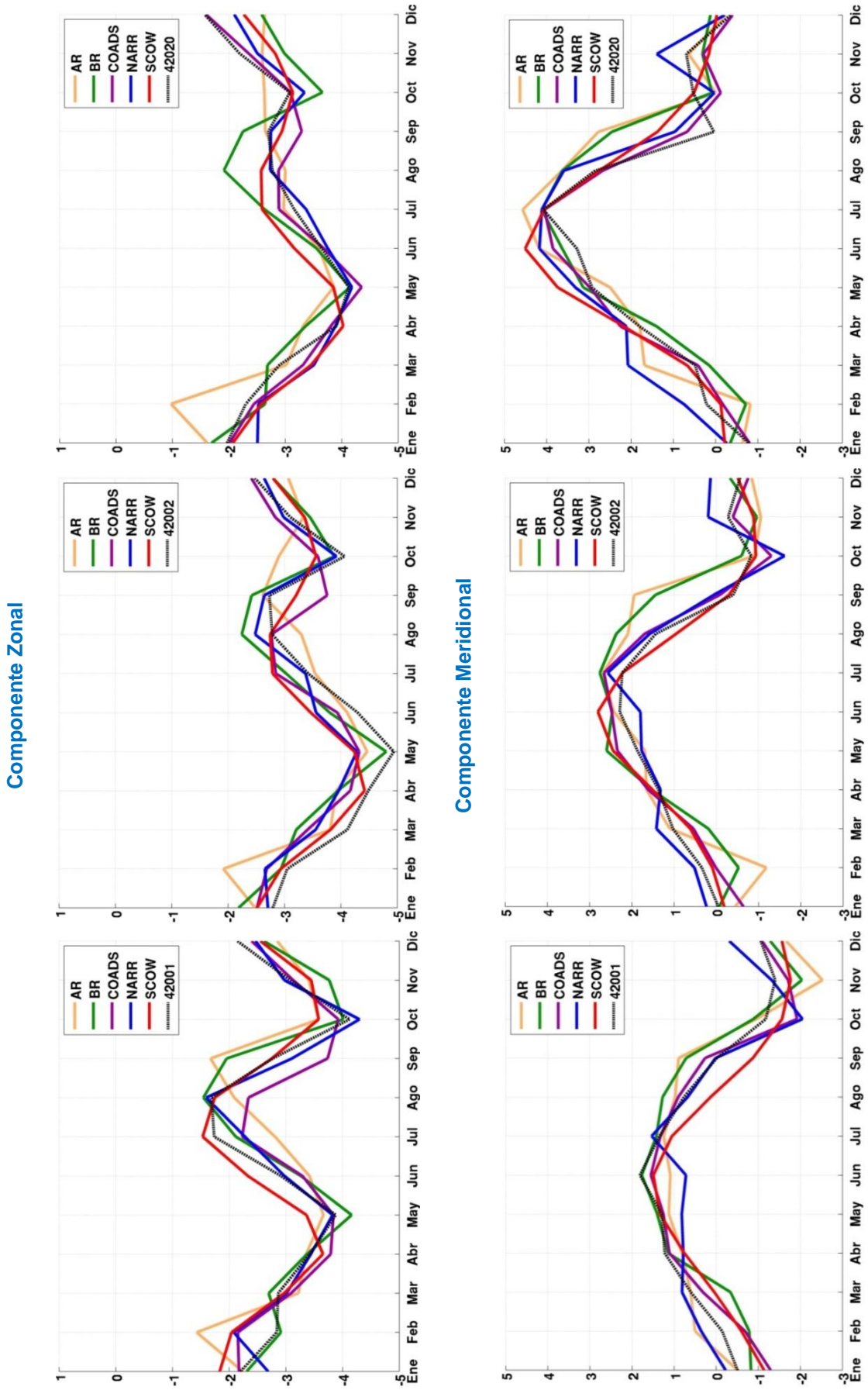


Figura 23 Medias Mensuales de Componentes de viento (m/s) entre BDs y Boyas NDBC. BDs AR (RT c/6 hrs), BR (RT c/3 hrs), COADS, NARR (RT Diaria), SCOW (RT c/3 hrs), SCOW y Boya.

La BD que tiene mayor diferencia entre las medias mensuales de las Boyas y sus valores es la BD RT c/6 hrs, prácticamente en las tres Boyas, con la mayor cantidad de diferencias, así como las máximas de diferencia en cada posición; 1.41 m/s para la No. 42001, 1.17 m/s para la No. 42002, y 1.32 m/s para la No. 42020. Inversamente la BD que concuerda más sus valores con las medias mensuales de las Boyas es la BD RT c/3 hrs al tener la mayor cantidad de diferencias mínimas entre las BDs y las Boyas, con valores por debajo de 0.16 m/s en todos ellos (Tabla 19).

Las medias mensuales de cada Boya coincidieron más con las medias mensuales de solo una de las BDs. Para la posición No. 42001 fue la BD SCOW por tener la mayor cantidad de diferencias mínimas para esta Boya, con valores entre 0.02 m/s a 0.25 m/s (Tabla 19). En la No. 42002 es la BD COADS con valores entre 0.04 m/s a 0.14 m/s entre sus diferencias mínimas. Para la No. 42020 es la BD RT c/3 hrs por sus valores mínimos en las diferencias de medias mensuales, entre las BDs y esta posición de boya con un rango entre 0.01 m/s y 0.16 m/s.

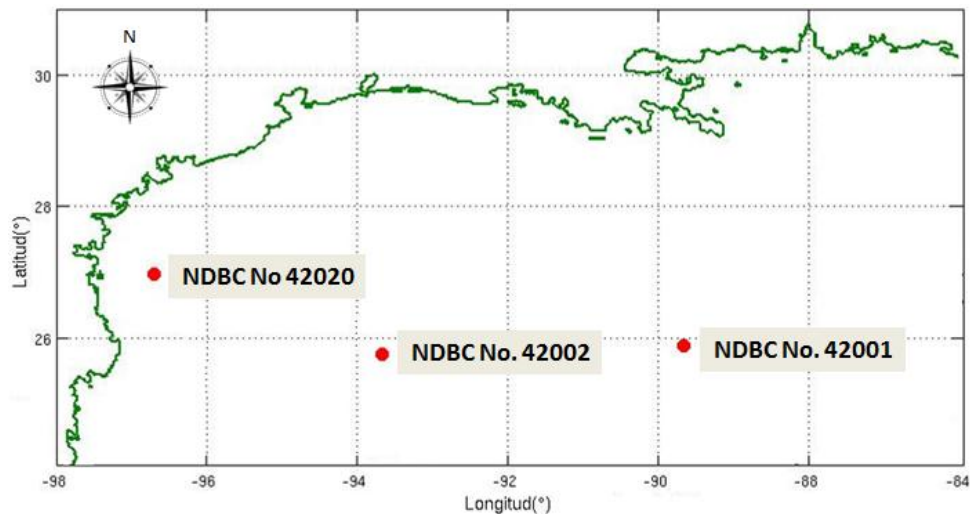


Figura 24 EMs de las medias estadísticas y desviaciones estándar.

Como ya se comentó, la BD RT c/6 hrs es la que tiene mayor diferencia con las medias mensuales de las Boyas NDBC, siendo así en la Boya No. 42001; para la No. 42002 además de esa BD también la BD RT Diaria, con diferencias entre 0.35 m/s y 0.91 m/s, ambas BDs con cuatro valores máximos en las diferencias de esa Boya; pero las diferencias máximas de la BD RT c/ 6 hrs son mayores, se encuentran entre los 0.57 m/s a 1.17 m/s. En la No. 42020 también son más de una BD con la misma cantidad de valores máximos, en las diferencias de la Tabla 19; la BD RT c/6 hrs con diferencias entre 0.59 m/s a 1.32 m/s, la BD RT Diaria con diferencias entre 0.58 m/s a 0.86 m/s y la BD

Tabla 18. Medias Mensuales del Componente Meridional de Viento (m/s en las posiciones de las Boyas NDBC, entre ) de las BDs y las Boyas. BDs **AR** (RT c/6 hrs), **BR** (RT Diaria), **COADS**, **NARR** (RT c/3 hrs), **SCOW** y Boya.

Meses Posic.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
42001	-0.51	-0.14	0.60	1.23	1.29	1.81	1.35	0.77	-0.01	-1.18	-1.40	-1.06
	-0.51	0.50	0.61	0.81	1.13	1.09	1.25	0.98	0.89	-0.96	-2.53	-1.66
	-0.83	-0.78	-0.34	1.14	1.40	1.77	1.42	1.28	0.72	-0.88	-2.04	-1.28
	-1.29	-0.68	0.32	1.11	1.26	1.55	1.33	0.90	0.27	-1.92	-1.71	-1.09
42002	-0.22	0.36	0.81	0.78	0.82	0.72	1.54	0.68	0.02	-2.05	-1.32	-0.31
	-1.14	-0.60	0.04	0.76	1.34	1.49	1.05	0.14	-0.87	-1.57	-1.77	-1.56
	-0.05	0.34	1.03	1.37	1.87	2.29	2.23	1.44	-0.40	-0.83	-0.28	-0.56
	-0.45	-1.18	1.10	1.65	1.69	2.43	2.69	2.09	1.95	-0.90	-1.05	-0.84
42020	-0.07	-0.53	0.19	1.53	2.60	2.47	2.76	2.37	1.44	-0.60	-0.96	-0.32
	-0.64	0.01	0.54	1.62	2.34	2.48	2.66	1.70	-0.08	-1.30	-0.39	-0.75
	0.23	0.52	1.42	1.32	1.77	1.80	2.57	1.58	0.06	-1.62	0.20	0.14
	-0.19	0.09	0.62	1.51	2.45	2.80	2.22	0.96	-0.30	-0.94	-0.88	-0.51
42020	-0.79	0.22	0.48	1.80	2.92	3.28	4.08	2.85	0.04	0.53	0.69	-0.35
	-0.64	-0.83	1.69	1.79	2.49	4.18	4.57	3.64	2.78	0.00	0.64	-0.23
	-0.35	-0.71	0.15	1.40	3.13	3.63	4.12	3.63	2.46	0.09	0.31	0.12
	-0.80	-0.17	0.42	2.25	2.98	3.85	4.05	2.68	0.68	-0.12	0.29	-0.40
42020	-0.27	0.75	2.07	2.11	3.32	4.17	4.12	3.59	0.97	0.03	1.39	-0.21
	-0.22	-0.12	0.67	2.17	3.74	4.51	4.06	2.76	1.38	0.51	0.16	-0.03



SCOW con diferencias entre 0.27 m/s a 0.57 m/s para los valores máximos de diferencias es la BD RT c/6 hrs como la BD con mayor rango; por ello se consideró la BD RT c/6 hrs como la BD de mayor diferencia entre las BDs y las posiciones de las Boyas.

En las medias mensuales de la componente meridional a comparación de la zonal se pueden identificar dos periodos, la anterior tenía tres; en este caso será de Enero a Octubre y de Octubre a Diciembre. En el primer periodo la media mensual va incrementando hasta Junio y después decrece conforme pasan los meses; así también va ampliándose el rango de valores al cambiar de posición en el orden: No. 41001, No. 42002 y No. 42020, es decir acercándose a la costa; (Figura 24) para la primer Boya los valores de las medias oscilan entre -4.03 m/s y 1.81 m/s; para la segunda quedaría entre -1.62 m/s y 2.80 m/s y en la última entre -0.83 m/s y 4.57 m/s (Tabla 18).

Si bien tiene una forma parecida las series, puede encontrarse sus diferencias en la Tabla 19. La BD con menor concordancia con las medias mensuales *in situ* es la BD RT c/6 hrs la cual tiene la mayor cantidad de diferencias máximas e igual tiene los valores máximos de las diferencias entre BDs y Boyas en cada posición de comparación; 1.12 m/s, 2.34 m/s y 2.74 m/s para la No. 42001, No. 42002 y No. 42020 respectivamente. La BD con mayor concordancia fue la BD RT c/3 hrs al tener la mayor cantidad de diferencias mínimas entre las medias mensuales de BDs y Boyas, con diferencias menores a 0.11 m/s.

En cada posición de Boya se puede observar una BD que difiera más que las otras, en dos de las posiciones, la No. 42002 y la No. 42020; es la BD RT c/6 hrs. Para la No. 42001 es la BD SCOW quien presenta la mayor cantidad de diferencias, cuatro en total, con valores entre 0.47 m/s y 1.09 m/s. Además de la BD RT c/6 hrs en la No. 42002 otra BD también presenta la misma cantidad de diferencias la BD RT Diaria; pero en rango de valores en la primera es de 0.28 m/s a 2.34 m/s y en la segunda es de 0.53 m/s a 0.93 m/s (Tabla 19).

En el otro extremo se encuentra la BD con menor diferencia o mayor concordancia; en la No. 42001 dos de las cinco BDs tienen la misma cantidad de diferencias mínimas con respecto a las medias mensuales de ésta Boya, la BD RT c/6 hrs (0.0005 m/s a 0.22 m/s) y la BD COADS (0.03 m/s a 0.09 m/s). Para la posición No. 42002 corresponde a la BD COADS que tiene un rango entre 0.05 m/s a 0.18 m/s.



Tabla 19. Diferencias de Medias Mensuales de Viento (m/s) en las posiciones de las Boyas NDBC, entre las BDs y las Boyas. BDs **AR** (RT c/6 hrs), **BR** (RT Diaria), **COADS**, **NARR** (RT c/3 hrs) y **SCOW**.

Componente Zonal												
Meses Posic.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
42001	▼ 0.03	0.07	0.11	0.02	0.04	0.06	0.20	0.06	0.02	0.11	0.05	0.25
	▲ 0.49	1.41	0.36	0.37	0.52	0.58	1.07	0.65	1.10	0.55	0.69	0.70
42002	▼ 0.09	0.11	0.30	0.06	0.13	0.18	0.04	0.02	0.09	0.14	0.12	0.07
	▲ 0.61	1.13	0.91	0.57	0.70	0.83	0.63	0.54	1.02	1.17	0.35	0.59
42020	▼ 0.04	0.14	0.12	0.02	0.02	0.03	0.19	0.04	0.04	0.01	0.16	0.02
	▲ 0.54	1.32	0.61	0.59	0.27	0.49	0.57	0.86	0.59	0.58	0.79	1.06

Componente Meridional												
Meses Posic.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
42001	▼ 0.00	0.46	0.01	0.08	0.03	0.04	0.02	0.09	0.03	0.22	0.09	0.03
	▲ 0.79	0.65	0.94	0.47	0.47	1.09	0.29	0.64	0.91	0.87	1.12	0.75
42002	▼ 0.02	0.18	0.07	0.05	0.10	0.14	0.01	0.14	0.10	0.07	0.11	0.06
	▲ 0.59	1.53	0.84	0.28	0.73	0.52	0.53	0.93	2.34	0.78	0.78	0.70
42020	▼ 0.02	0.34	0.07	0.01	0.05	0.35	0.01	0.10	0.64	0.02	0.06	0.05
	▲ 0.57	1.04	1.59	0.45	0.81	1.22	0.49	0.79	2.74	0.65	0.70	0.47

Las gráficas de medias mensuales en las componentes meridional y zonal (Figura 23) coinciden cuando presentan un incremento–decremento, entre Mayo y Octubre; este periodo coincide con la temporada de huracanes en el GdM que abarca del 1 de Junio al 30 de Noviembre. También cabe mencionar que los valores en la componente meridional aumentan pero en la componente zonal disminuyen (Figura 28) debido a la posición de la Boya cada vez más cercana a la costa (Figura 24).

### 5.5.2.Desviación Estándar.

La Figura 25 muestra la desviación estándar con respecto a las medias estadísticas de la Figura 23. Tanto las BDs y las boyas NDBC tienen una desviación estándar mensual similar; con rango de valores entre los 2 m/s y 5 m/s para la componente zonal y entre 2 m/s y 7 m/s para la componente meridional. Las gráficas de la componente meridional aumenta su rango de valores al pasar de una posición de Boya a otra, en el siguiente orden: No. 42001, No. 42002 y No. 42020, teniendo un rango de valores (Tabla 21) entre los 2.17 m/s a 6.14 m/s para la primera, 2.24 m/s a 6.84 m/s en la segunda y en la última de 1.94 m/s a 7.32 m/s.

En general las tres gráficas de la componente zonal son bastante similares, pero se puede observar que entre Septiembre y Noviembre la BD RT c/6 hrs tiene valores distantes de las demás desviaciones estándar mensuales (Figura 25). Para la posición No. 42001 y No. 42002, las series más cercanas son las correspondientes a la Boya y la BD RT c/3 hrs, con valores entre 2.84 m/s a 4.61 m/s en la No. 42001 y de 2.61 m/s a 4.50 m/s en la No. 42002. En la No. 42020 son las mediciones de la Boya y la BD RT Diaria, con valores entre 1.94 m/s y 3.91 m/s las más cercanas (Tabla 20).

Dos de los meses del año tienen los máximos valores de desviación estándar en la mayoría de las series de medición, son Enero y Diciembre. El primer mes para la posición No. 42001 en las series de la Boya y la BD RT c/6 hrs, la BD RT Diaria, con valores 4.33 m/s, 4.73 m/s y 4.78 m/s respectivamente; y Diciembre, para las otras posiciones, en la BD RT c/3 hrs y los valores en ambas boyas (Tabla 20). Estos dos meses están dentro de la estación climática de Invierno, dentro de la cual se presentan los llamados Frentes Fríos o Nortes (Ver Apéndice B – Frentes Fríos).

Las gráficas de la componente zonal reduce su rango de valores al pasar de una posición de Boya a otra, en el siguiente orden: No. 42001, No. 42002 y No. 42020, teniendo un rango de valores (Tabla 20) entre los 2.44 m/s a 7.32 m/s para la primera, 2.17 m/s a 6.89 m/s en la segunda y en la última de 1.94 m/s a 6.89 m/s.

En las gráficas de la componente meridional puede observarse dos periodos antes y después de Julio, en el primero la BD RT c/6 hrs es la más alejada de la mediciones de las Boyas, en el segundo las desviaciones estándar reducen su rango de valores, incluida la BD RT c/6 hrs, y con ello las series graficadas están más cercas unas de otras. Tienen mayor coincidencia en el mes de Febrero y las desviaciones estándar mensuales parecen más dispersas entre los meses de Marzo y Junio (Figura 25).

Los meses de Enero y Diciembre tienen la máxima desviación, como en la componente zonal. En la No. 42001 las cuatro series tienen su máximo valor en el primer mes del año, en la No. 42002 ambos meses tienen los máximos valores en dos de las series cada uno, BD RT c/6 hrs y BD RT Diaria para Enero y en Diciembre la BD RT c/3 hrs y la serie de la Boya; y solo Diciembre en la No. 42020 en la BD RT c/6 hrs (Tabla 21).

En cada posición algunas de las series tienen valores más cercanos entre sí, para la No. 42001 la BD RT c/3 hrs y las mediciones de la Boya, con valores entre 2.66 m/s a 5.98 m/s. En la No. 42002 BD RT c/6 hrs y la BD RT Diaria son las series con las desviaciones estándar más cercanas de esa posición, con un valores entre 2.77 m/s y 6.54 m/s; se repiten las mismas BDs en la siguiente posición con los valores de 3.03 m/s a 6.89 m/s. Es en la No. 42001 donde las desviaciones estándar mensuales de la componente zonal del viento, tienen mayor concordancia y en la componente meridional en la posición No. 42020 (Figura 25).

Tabla 20. Desviaciones Estándar Mensuales del Componente Zonal de Viento (m/s) en las posiciones de las Boyas NDBC entre las BDs y las Boyas. BDs **AR** (RT c/6 hrs), **BR** (RT Diaria), **COADS**, **NARR** (RT c/3 hrs) y Boya.

Meses Posic.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
42001	4.73	3.80	3.74	3.59	3.44	2.94	2.79	3.50	3.10	4.27	3.75	4.35
	4.78	3.74	3.80	3.45	3.03	2.83	2.83	3.49	3.37	3.68	3.61	3.71
	4.33	3.91	4.18	3.81	2.91	2.84	3.18	3.39	3.77	3.73	3.73	4.67
42002	4.39	4.07	4.25	3.83	3.23	2.86	3.13	3.52	3.28	3.70	3.93	4.61
	3.89	3.59	3.43	3.21	2.69	2.38	2.48	2.74	2.26	4.18	3.06	3.60
	4.09	3.27	3.38	3.13	2.30	2.70	2.51	2.92	3.03	3.35	3.45	3.31
42020	4.16	4.07	3.77	3.44	2.84	2.61	2.88	2.83	3.33	3.33	3.82	4.50
	3.61	3.35	3.66	3.04	2.57	2.24	2.82	2.57	3.26	3.26	3.45	4.00
	3.39	3.18	3.07	3.14	2.54	2.24	2.45	2.64	2.56	3.62	3.02	3.39
	3.75	3.34	2.97	3.03	2.21	2.67	2.60	2.67	3.15	3.44	3.51	3.53
	3.79	3.48	3.49	2.68	2.36	2.34	2.32	2.42	2.75	3.14	3.77	3.91
	3.12	2.83	3.25	2.59	2.33	1.94	2.36	2.20	2.61	2.90	3.03	3.28

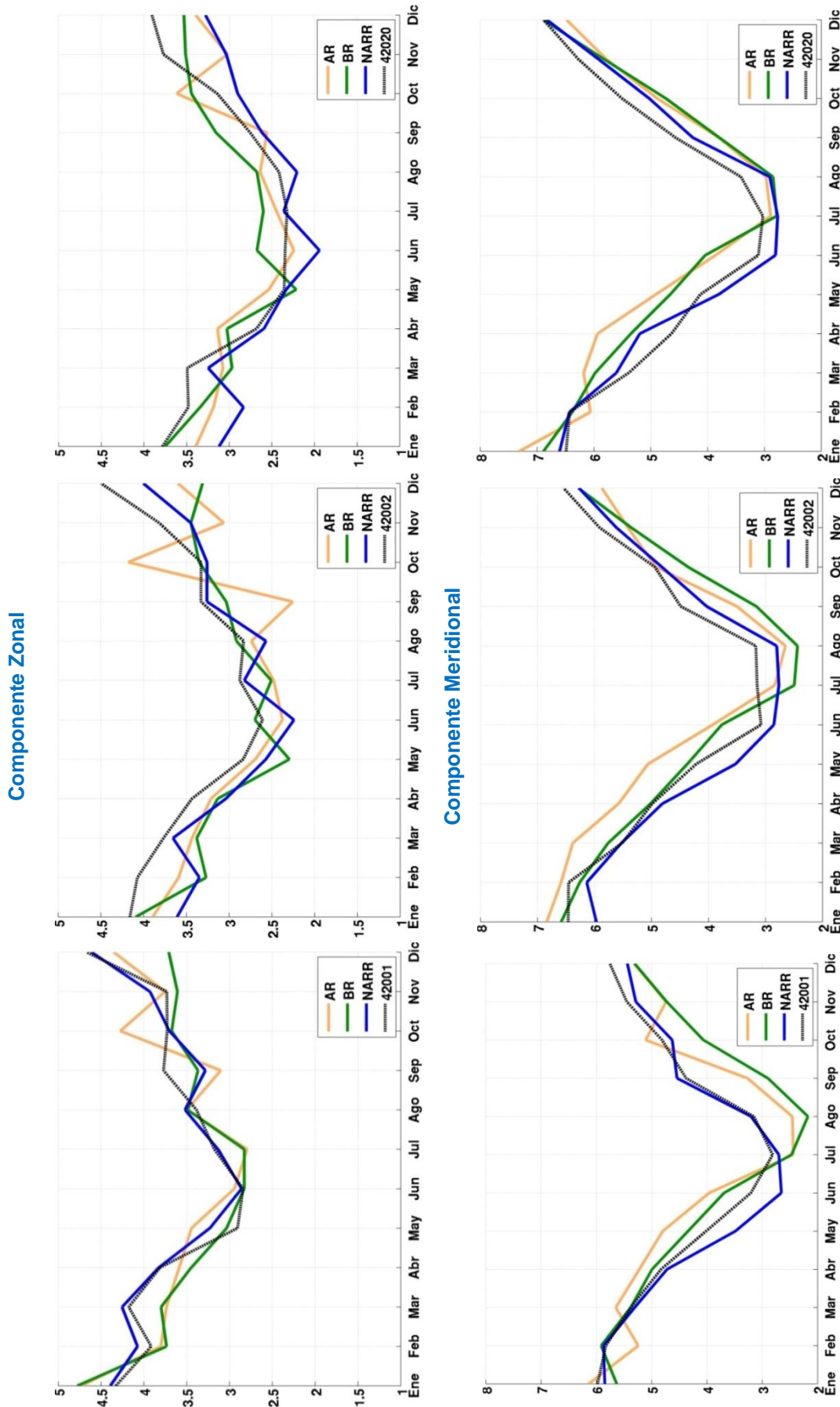


Figura 25 Desviaciones Estándar Mensuales de Componentes de viento (m/s) entre las BDs y las Boyas NDBC. BDs AR (RT c/6 hrs), BR (RT c/3 hrs), COADS, NARR (RT c/3 hrs) y Boya.

Tabla 21. Desviaciones Estandar Mensuales del Componente Meridional de Viento (m/s) en las posiciones de las Boyas NDBC entre las BDs y las Boyas. BDs **AR** (RT c/6 hrs), **BR** (RT Diaria), **COADS**, **NARR** (RT c/3 hrs) y **Boya**.

Meses Posic.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
42001	6.14	5.24	5.65	5.22	4.80	3.96	2.44	2.46	3.27	5.11	4.74	5.32
	5.63	5.91	5.38	4.99	4.34	3.69	2.47	2.17	2.90	4.06	4.73	5.31
42002	5.98	5.83	5.38	4.83	4.02	3.21	2.81	3.15	4.38	4.81	5.45	5.76
	5.85	5.87	5.31	4.72	3.48	2.66	2.70	3.20	4.54	4.63	5.29	5.44
42002	6.84	6.59	6.38	5.58	5.06	3.93	2.84	2.65	3.50	4.93	5.41	5.87
	6.59	6.26	5.76	5.02	4.37	3.77	2.50	2.44	3.16	4.36	5.36	6.28
42020	6.46	6.46	5.52	4.99	4.22	3.08	3.15	3.17	4.49	4.94	5.91	6.54
	5.97	6.14	5.53	4.81	3.53	2.85	2.77	2.80	4.03	4.82	5.62	6.27
42020	7.32	6.06	6.18	5.94	4.91	3.86	2.89	2.97	3.80	4.89	5.78	6.48
	6.89	6.38	5.98	5.35	4.66	4.04	2.78	2.85	3.80	4.74	5.82	6.89
42020	6.49	6.43	5.39	4.64	4.13	3.11	3.03	3.41	4.57	5.51	6.27	6.89
	6.60	6.43	5.61	5.19	3.81	2.81	2.77	2.91	4.26	5.03	5.92	6.83



5.5.3. Correlación y Fase.

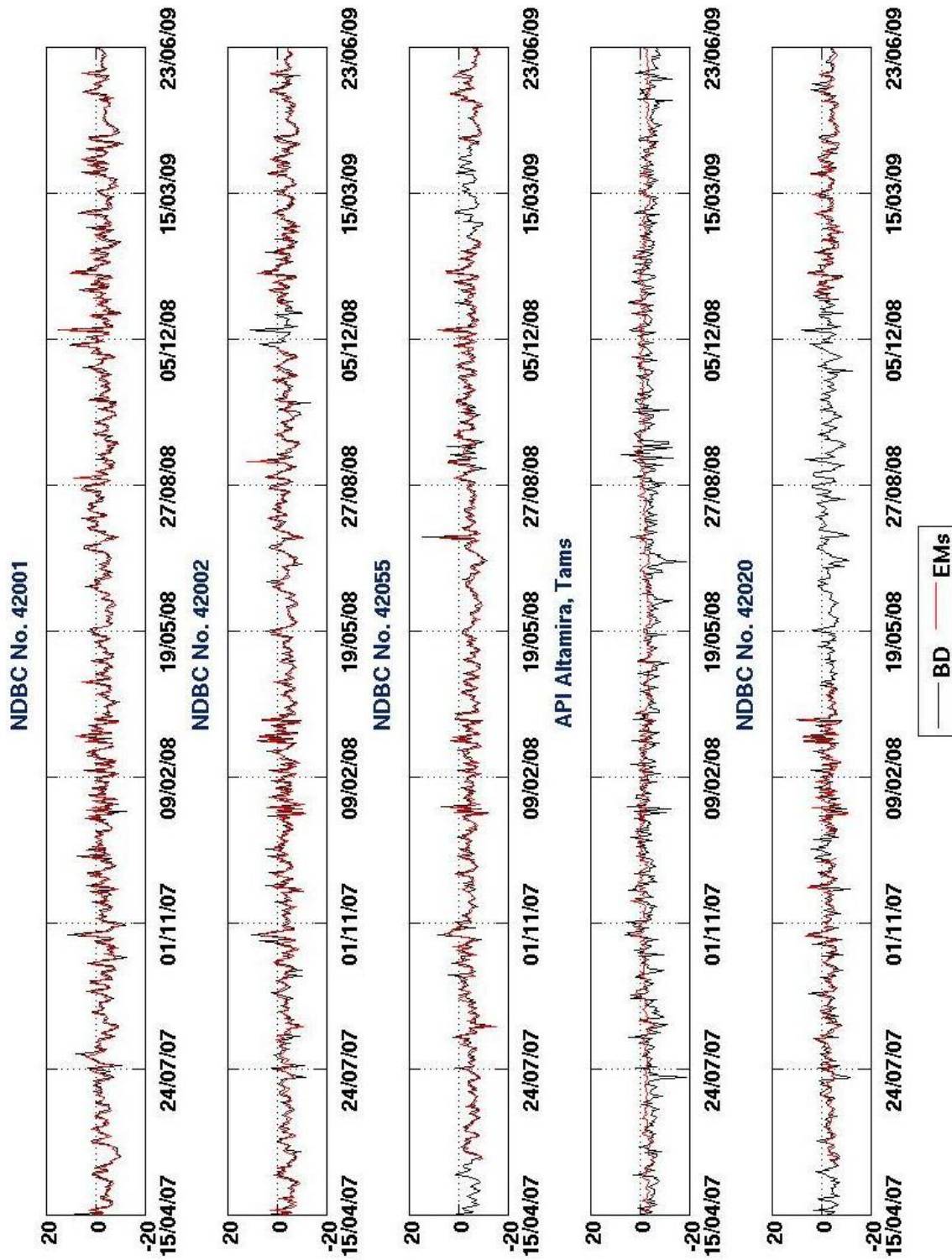


Figura 26 Series de Tiempo por Componente Zonal entre EMs y BD RT Diaria. (m/s). La línea roja corresponde a los datos observados, la línea negra corresponde a los datos de la BD interpolados en las posiciones de las EMs.



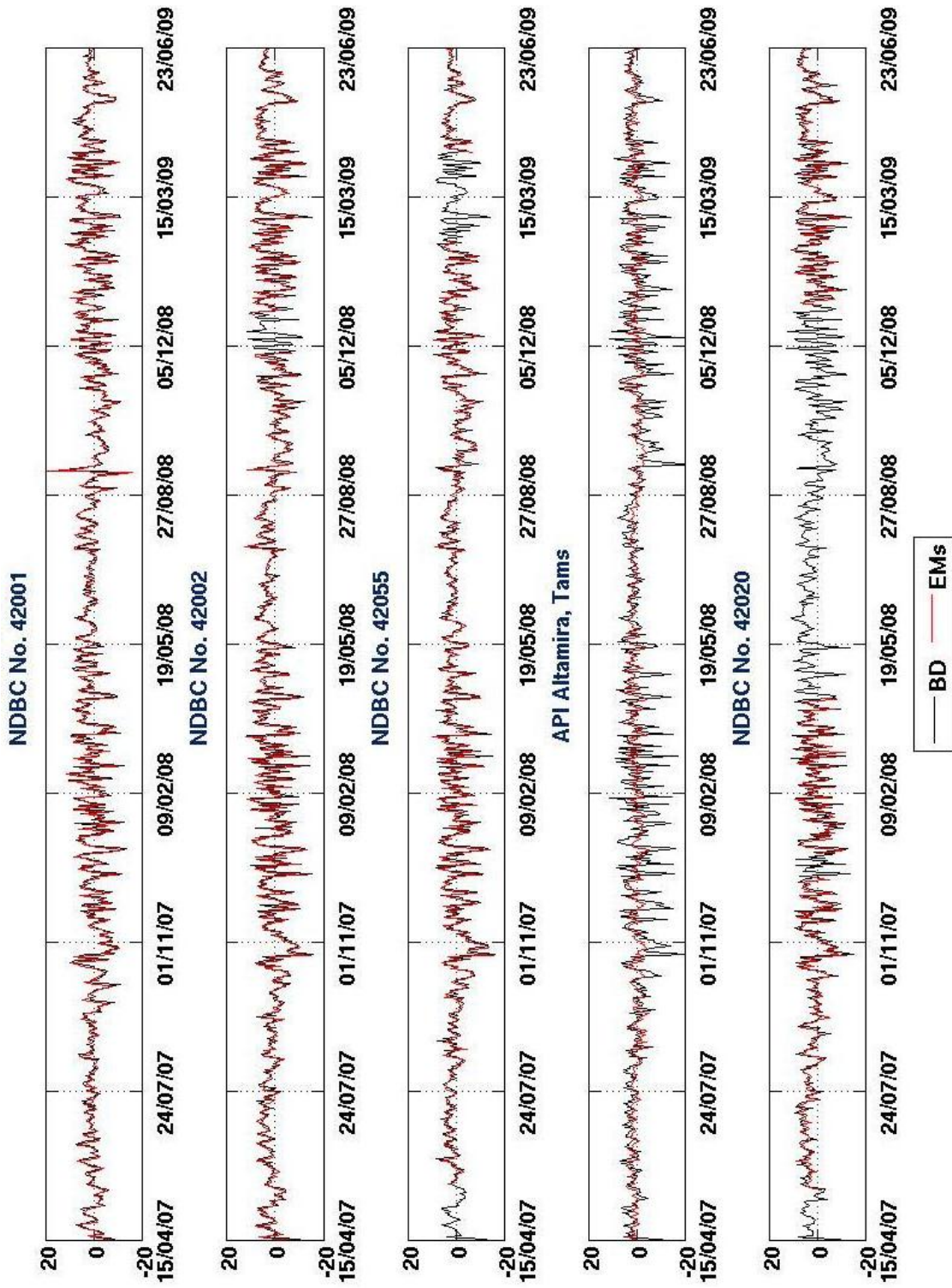


Figura 27 Series de Tiempo por Componente Meridional entre EMs y BD RT Diaria. (m/s). La línea roja corresponde a los datos observados, la línea negra corresponde a los datos de la BD interpolados en las posiciones de las EMs.

Se eligió un periodo en el cual existieran datos en la mayoría de las series observadas de las estaciones meteorológicas (NDBC No. 42001, 42002, 412020 y 42055, y API–Altamira) coincidieran mayormente, el periodo seleccionado es de 15 de Abril de 2007 al 23 de Junio de 2009, aunque existen aún numerosos huecos, especialmente en la serie de NDBC No. 42020 y No. 42055 (Figura 26 y 27). Se calcularon las correlaciones con los datos disponibles para cada estación durante este periodo (Tabla 23). Para una comparación más congruente de las correlaciones en cada estación, se eligieron otros dos periodos de comparación: 25 de Diciembre del 2008 a 23 de Febrero del 2009 y 24 de Abril al 23 de Junio del 2009; estos periodos son bastante cortos (dos meses), pero es en éstos cuando existen datos simultáneos para las cinco estaciones meteorológicas (EMs).

La mayor correlación entre las BDs y las EMs se observa en la BD RT c/6 hrs y la EM No. 42002 con un valor de 0.96 (Tabla 23). También se puede observar que la mayoría de los valores máximos por EMs o BDs se relaciona con la BD RT c/6 hrs Así también los valores máximos por componente coinciden en algunos casos con los máximos de la correlación compleja e igual coincide que son dentro de la BD RT c/6 hrs (Tabla 24).

Cada BD tiene su mayor valor de correlación compleja, para la BD RT c/3 hrs su valor máximo es de 0.94; para la BD RT c/6 hrs su valor máximo es de 0.96; ubicados en el segundo periodo pero para la primer BD en la EM No. 42020 y para la segunda en la EM No. 42002 y 0.91 para la BD RT Diaria ubicada en el tercer periodo en la EM No. 42001.

Tabla 22. Error Estándar de Estimación (m/s) entre EMs y BDs.

Boya BDs RT	42001	42002	42055	Altamira	42020
c/3 hrs	138.65	179.40	5025.96	8.01	0.21
	488.79	567.08	1269.75	491.81	1244.54
c/6 hrs	15.10	87.85	77.71	1624.08	677.92
	261.04	1281.06	310.42	1219.21	36.20
Diaria	1.41	3.96	9.39	1839.47	10.93
	61.71	113.08	19.52	179.13	3.19

(Componente Zonal, Componente Meridional)

Tabla 23. Datos utilizados (%) y Correlación Compleja entre EMs y BDs.

BD RT EMs	Correlación Compleja			Porcentaje		
	c/3 hrs	c/6 hrs	Diaria	c/3 hrs	c/6 hrs	Diaria
42001	0.90	0.94	0.91	89	89	100
42002	0.91	0.95	0.91	89	89	98
42055	0.86	0.83	0.87	89	89	96
Altamira	0.42	0.42	0.45	89	89	97
42020	0.93	0.93	0.94	89	89	89

Tabla 24. Correlación por Componentes de viento entre EMs y BDs.

BD RT EMs	Correlación por Componente Zonal			Correlación por Componente Meridional		
	c/3 hrs	c/6 hrs	Diaria	c/3 hrs	c/6 hrs	Diaria
42001	0.90	0.93	0.90	0.90	0.95	0.83
42002	0.88	0.91	0.87	0.93	0.96	0.81
42055	0.84	0.82	0.80	0.88	0.84	0.82
Altamira	0.21	0.04	0.25	0.65	0.72	0.51
42020	0.84	0.82	0.87	0.94	0.95	0.74

Tabla 25. Fase (°) entre EMs y BDs.

BD RT EMs	Fase			Fase		
	c/3 hrs	c/6 hrs	Diaria	c/3 hrs	c/6 hrs	Diaria
42001	5.7	2.6	2.1	0.9	-0.3	8.1
42002	2.1	-0.3	-0.9	-1.2	-1.0	1.8
42055	3.7	0.0	-0.7	-4.2	-4.3	-1.4
Altamira	3.4	6.4	-1.6	-14.5	-4.8	-15.9
42020	-11.1	-10.4	-7.0	-4.7	-6.2	-5.5

Periodos:  
 15/04/07 a 23/06/09  
 25/12/08 a 23/02/09  
 24/04/09 a 23/06/09

Valor Máximo:  
 Correlación / Fase  
 Boya NDBC  
 Base de Datos

Cada EM tiene su valor máximo de correlación, 0.94 para la EM No. 42020 en el segundo periodo ubicado en la BD RT c/3 hrs; después para la EM API–Altamira es 0.51 presente en el primer periodo ubicado en la BD RT Diaria; en la EM No. 42055 su máximo valor es de 0.95 en el segundo periodo; la EM No. 42002 concuerda con la BD RT c/6 hrs en su valor máximo; y para la EM No. 42001 es de 0.94 en el tercer periodo (Tabla 24).

Se puede observar que la mayoría de los valores máximos por EM se pueden ubicar en la BD RT c/6 hrs. Esto que indica que la BD RT c/6 hrs es la BD con mayor concordancia de acuerdo a la correlación compleja (Tabla 23).

En la componente zonal la máxima correlación la tiene la EM No. 42055 con la BD RT c/6 hrs con un valor de 0.94 presente en el periodo del 25/12/02 al 23/02/09 (Tabla 24). Para las BDs su valor máximo fue de 0.90 en la BD RT c/3 hrs, 0.94 en la BD RT c/6 hrs y 0.89 para la BD RT Diaria. La primera y la última presentes en la EM No. 42001; la segunda en la EM No. 42055. Las EMs NDBC tienen sus máximos valores ubicados en la BD RT c/6 hrs y API–Altamira en la BD RT Diaria. Estos son: 0.93, 0.93, 0.88 y 0.94, en orden numérico de la No. 42001 a la No. 42055 y en API–Altamira 0.44 (Tabla 24).

En la componente meridional la máxima correlación es 0.97 entre la BD RT c/6 hrs y la EM No. 42002, durante el periodo del 25/12/08 al 23/02/09. La BD RT c/3 hrs tiene un máximo de 0.96, con la EM No. 42020; la BD RT c/6 hrs y BD RT Diaria tiene sus máximos en la EM No. 42002, a la primera le corresponde el valor 0.97 a la segunda 0.94 (Tabla 24). En cuanto a las EMs No. 42001, No. 42002, No. 42055 y API–Altamira, sus máximos valores están dentro de la columna de la BD RT c/6 hrs, 0.95 para las EMs No. 42001 y No. 42055, 0.97 para la No. 42002 y 0.72 para la API–Altamira, la EM No. 42020 ubica su mayor valor 0.96 con la BD RT c/3 hrs.

Cuando las series coincidan bien entre sí tendrán una fase de cero. Si presentan fases positivas o negativas, corresponden a desfases hacia un sentido o hacia el otro. Durante la Fase entre EMs y BDs existe un valor de  $15.5^\circ$  entre la BD RT Diaria y la EM No. 42001 y un valor de  $-17.1^\circ$  entre la BD RT Diaria y API–Altamira. En cuanto a las BDs existen desfases positivos de:  $5.7^\circ$ ,  $6.4^\circ$  y  $15.5^\circ$  por orden de su resolución según Tabla 24; ubicando en la EM API–Altamira la BD RT Diaria y en la EM No. 42001 la BD RT c/3 hrs y la BD RT c/6 hrs; sus desfases negativos correspondientes son:  $-11.1^\circ$ ,  $-10.4^\circ$  y  $-17.1^\circ$ , los dos primeros en la EM No. 42020 y la tercera en la EM API–Altamira (Tabla 25).

La mayoría de las EMs tienen un desfase positivo dentro de la BD RT Diaria, tres de ellas, las EMs No. 42001, No. 42002 y No. 42020, y las restantes dentro de la BD RT c/3 hrs; con valores  $8.1^\circ$ ,  $11.5^\circ$ ,  $3.7^\circ$ ,  $3.4^\circ$  y  $3.2^\circ$ , en orden de aparición conforme a la [Tabla 25](#), sus mínimos  $-0.7^\circ$ ,  $-2.4^\circ$ ,  $-4.3^\circ$ ,  $-17.1^\circ$  y  $-11.1^\circ$  en el mismo orden de la tabla. Comparando los valores de la componente meridional con la zonal se puede ver que la segunda tiene valores más altos que nos indica una mejor representación en esta componente.

Cabe mencionar el caso de la EM API-Altamira; para la componente zonal los valores son bastante diferentes de las otras EMs. Como se observa en la [Figura 28](#) se puede entender un poco por qué, esta EM se localiza sobre tierra y su componente zonal ([Tabla 24](#)) es afectada por esta condición. Su componente meridional ([Tabla 25](#)) también resulta afectada pero no tanto como la zonal; los valores no tienen tanta diferencia con los demás valores como en el caso de su componente zonal.

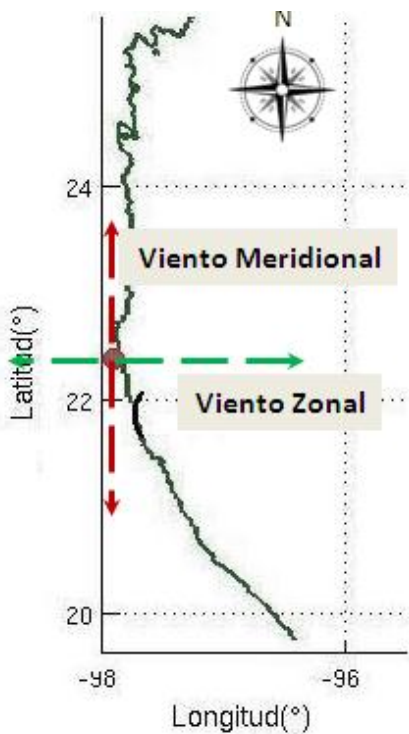


Figura 28 Viento en la EM de Altamira

## 6. CASOS ESPECIALES.

La Sierra Madre Oriental recibe directamente los vientos húmedos procedentes del mar, llegan básicamente dos tipos de masas de aire (a veces en forma de tormentas): el aire tropical en el semestre centrado en el verano, y las masas polares en los meses centrados en el invierno (Ruiz Barradas et al., 2010). El primero tipo ocurre en forma de tormentas tropicales durante los meses de verano y el segundo tipo ocurren como frentes fríos durante la época fría (finales del otoño e invierno).

A veces, aún en mayo, se desprende algún Norte poco profundo y poco severo, pero por lo regular para junio ya se estableció el aire tropical. Su forma de manifestarse son los vientos alisios. Puesto que soplan del Golfo hacia el continente, la Sierra Madre Oriental fuerza el ascenso de aire húmedo provocando las lluvias orográficas (Ruiz Barradas et al., 2010).

### 6.1. HURACANES EN EL GOLFO.

Tabla 26. Huracanes en GdM durante el 2007.

Nombre	Periodo en el Golfo	Categoría	Trayectoria
Dean	20/08–23/08	5	
Humberto	12/09–14/09	1	
Lorenzo	25/09–28/09	1	

En ocasiones en los alisios viajan las “ondas del este” en cuyo eje el viento cambia de dirección e intensidad ocasionando la inestabilidad atmosférica, con nubes de desarrollo vertical considerable. Las depresiones, tormentas y ciclones tropicales (huracanes) pueden ser graduales acentuaciones de estas ondulaciones en la circulación tropical.



Cuando las ondas del este (primer nivel de inestabilidad convectiva de los vientos alisios) alcanzan el nivel de depresión o tormenta tropical y llegan a chocar o a pasar cerca del territorio mexicano, dejan tras de sí cantidades considerables de lluvia en la vertiente del Golfo mientras que en el Valle de México el tiempo es despejado. Su máxima ocurrencia es en septiembre, aunque pueden presentarse desde mayo hasta noviembre (Ruiz Barradas et al., 2010).

Tabla 27. Categoría máxima y ubicación por día de los Huracanes del 2007 en el GdM.

Huracán	Mes	Día	Ubicación
Dean	Agosto	20	Categoría 5, 22 hrs Puerto Bravo, QR.
		21	Primer Impacto: 03 hrs Chetumal, QR. Regreso al mar: 16 hrs Sonda de Campeche, Cam.
		22	Segundo Impacto: 12:45 hrs Barra de Tecolutla, Veracruz
		23	Lluvias fuertes en diferentes estados del país.
Humberto	Septiembre	12	Poco después del mediodía se desarrolló como tormenta tropical Humberto. Galveston, Texas.
		13	Categoría 1, poco después de la medianoche y toca tierra cerca de High Island, Texas.
Lorenzo	Septiembre	25	Depresión tropical. Tuxpan, Veracruz
		26	Tormenta Tropical. Bahía de Campeche
		27	Categoría 1, 13 hrs Zona de alerta parte de Veracruz y Tamaulipas
		28	Impactó cerca de Barra de Tecolutla, Ver., 01 hrs Por la tarde se localizó sobre Hidalgo.

(Ver Apéndice B–Categoría de Huracanes.)

La temporada de huracanes para el Golfo se considera entre Junio y Noviembre. Estos huracanes pueden apreciarse en las tres BDs RT c/3 hrs, RT c/6 hrs y RT Diaria, del presente estudio, como caso especial se presenta el año 2007. En este año existieron tres huracanes: dos de baja intensidad, categoría 1 y un tercero de categoría 5 (Tabla 26). Se eligió este año por tener un huracán de mayor categoría, con una trayectoria más cercana a tierra y que afectara más estados al mismo tiempo. Otra limitante fue la BD RT c/6 hrs, pues su rango de datos es del 31 de Octubre del 2004 al 1 de Noviembre del 2009,



reduciendo el rango de tiempo a ese periodo.

Los huracanes descritos en ésta sección son los Huracanes Dean, Humberto y Lorenzo. En las figuras 29–31 se utilizaron las BDs RT c/3 hrs, RT c/6 hrs y RT Diaria para mostrar el día de mayor categoría a las 00:00 hrs, que es el tiempo que coincide las tres BDs; también se muestra el desplazamiento de estos fenómenos climáticos en el Golfo. Los Huracanes Lorenzo y Humberto desarrollaron toda su trayectoria dentro del GdM a comparación del Huracán Dean, el cual comenzó en el Océano Atlántico a través del Caribe y llegó a México.

Los Huracanes Humberto y Lorenzo fueron categoría 1 y el Huracán Dean de categoría 5. Para este último se redujo el periodo de tiempo del 13 al 23 de Agosto a 20 al 23 del mismo mes, que es cuando afecta territorio mexicano ([Tabla 27](#)), siendo el 22 y 23 cuando afecta la parte oeste del Golfo ya siendo categoría 2 ([Figura 29](#)).

El Huracán Dean afectó dos veces el territorio mexicano. En el primer impacto, 20 al 21 de Agosto afectó Quintana Roo, Yucatán y Campeche, como categoría 5 (vientos máximos de 260 km/hr, con rachas de 315 km/hr); atravesando para regresar al mar, en el suroeste de la Sonda de Campeche como categoría 1 (vientos máximos de 130 km/hr, con rachas de 165 km/hr). En el segundo impacto (22 al 23 de Agosto) llegó a afectar la parte noreste de México, a los estados de Nuevo León y Tamaulipas; en la parte centro a San Luis Potosí, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala, Querétaro y México, y en el Golfo a Veracruz, al entrar por la Barra de Tecolutla, Veracruz ([CONAGUA–Reseña Huracán Dean](#)).

En la [Figura 29](#) durante la presencia del Huracán Dean (22/08/07; 00:00) el viento del Golfo tiene una orientación nor-noroeste hacia la costa en la mayoría del Golfo, esto en la figura elaborada con mediciones de la BD RT c/3 hrs; cerca del huracán la orientación dependerá de su movimiento ciclónico, su desplazamiento y diámetro. En la BD RT c/6 hrs los vientos trazados son hacia la costa en dirección noroeste, cerca del huracán la orientación depende de éste, las máximas velocidades son registradas alrededor del centro del huracán, sus vientos sostenidos. En esta BD se aprecia más su velocidad que su forma, ésta es mas notoria en la BD RT c/3 hrs. En la BD RT Diaria el viento se muestra también hacia el nor-noroeste en parte del Golfo pero no es tan notorio como en la BD RT c/3 hrs, comparando los vectores es en ésta BD donde se nota más su efecto en el Golfo.

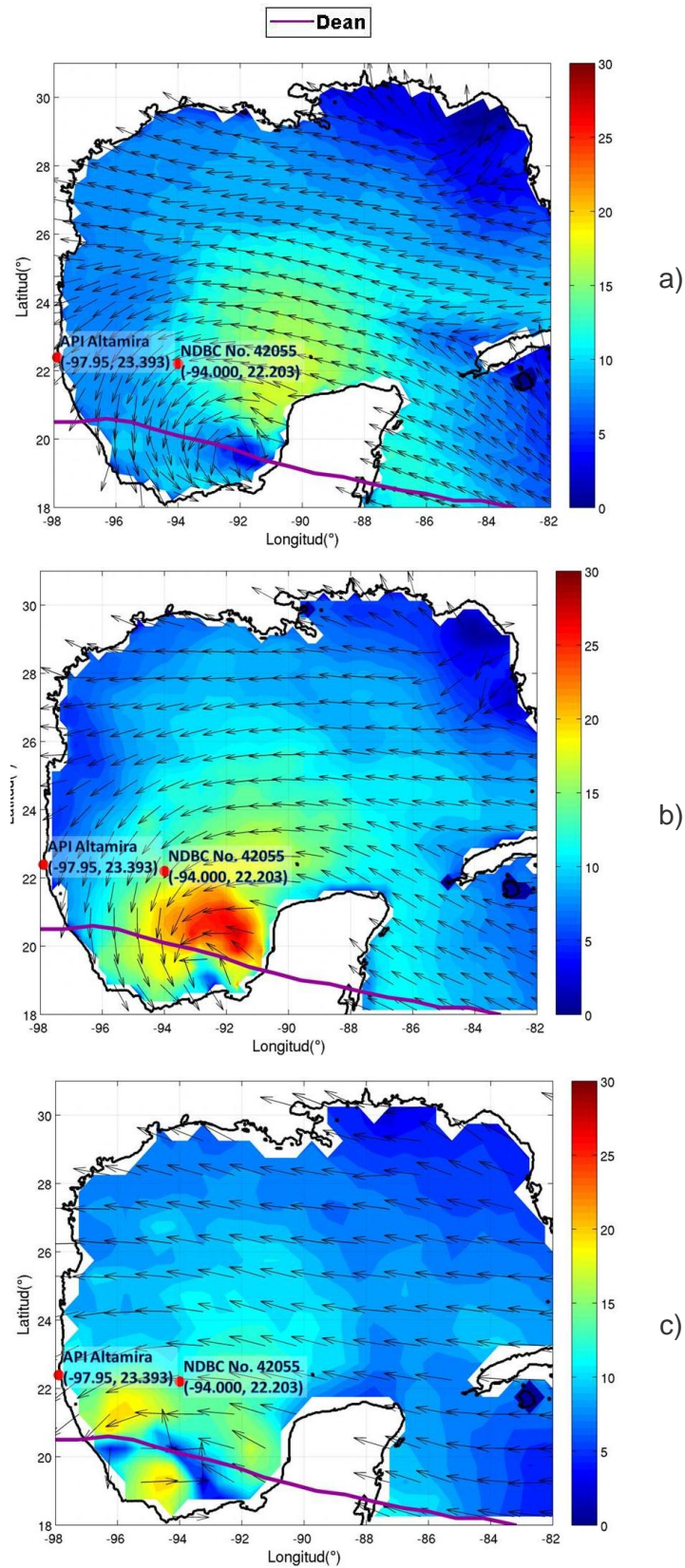


Figura 29 Huracán Dean (22/08/07; 00:00), en las BDs a)RT c/3 hrs, b)RT c/6 hrs y c)RT Diaria.

Con movimiento hacia el nor-noreste el 13 de Septiembre, la tormenta tropical “Humberto” se intensificó a huracán a punto de tocar tierra en las cercanías al este de High Island (vientos máximos de 135 km/hr, con rachas de 160 km/hr). El huracán Humberto fue un ciclón de corta duración cuya trayectoria se desarrolló en el noroeste del GdM y SE de EUA sin afectar costas de México; la distancia más cercana a las costas nacionales fue cerca de Matamoros en su etapa de depresión tropical, el día 12 de Septiembre en la mañana ([CONAGUA–Reseña Huracán Humberto](#)).

En la BD RT c/3 hrs de la [Figura 30](#) no se muestra claramente el huracán Humberto, en parte se pierde por la resolución de los datos. La dirección del viento es hacia el Norte o nor-noroeste en algunas zonas del Golfo, hacia la ubicación del huracán. En la BD RT c/6 hrs la presencia del huracán es más notoria al indicarse la velocidad de sus vientos, éstos tienen una dirección hacia el oeste que al encontrar los vientos del huracán cambian hacia el Norte o hacia el sur, rumbo a EUA o México según el cambio de dirección. En la BD RT Diaria los vientos tienen una orientación hacia el norte, muestran que los vientos no fueron afectados tanto como en el caso de un huracán dentro del Golfo, es decir, que el huracán Humberto no alcanzó una mayor categoría por su ubicación y corto tiempo de desarrollo, y con ello no afectó tanto la zona como en huracanes mayores.

El 25 de Septiembre los vientos y la circulación en los niveles altos comenzaron a ser favorables desarrollándose la depresión tropical #13 al este–sureste de Tuxpan, Veracruz, su trayectoria fue lenta, el 27 de Septiembre durante la tarde–noche, Lorenzo alcanzó la intensidad de huracán, posteriormente impacto en las inmediaciones de la Barra de Tecolutla, Veracruz el 28 de Septiembre (vientos máximos de 130 km/hr y rachas de 155 km/hr) como categoría 1, afectando los estados de Veracruz, Puebla, Hidalgo, Tamaulipas, San Luis Potosí y Oaxaca ([CONAGUA–Reseña Huracán Lorenzo](#)).

El viento tiene una dirección hacia el suroeste en gran parte del Golfo, [Figura 31](#) BD RT c/3 hrs, excepto en la zona cerca del huracán Lorenzo. En la BD RT c/6 hrs los vientos también tienen orientación hacia el suroeste pero en esta se aprecia más su circulación ciclónica. En la BD RT Diaria es más notorio el efecto provocado en el viento por este huracán, al mostrar el cambio completo en la dirección del viento; con la dirección hacia el Golfo desde EUA y cambiar su dirección hacia la costa oeste, es decir, en dirección hacia el nor-noroeste.

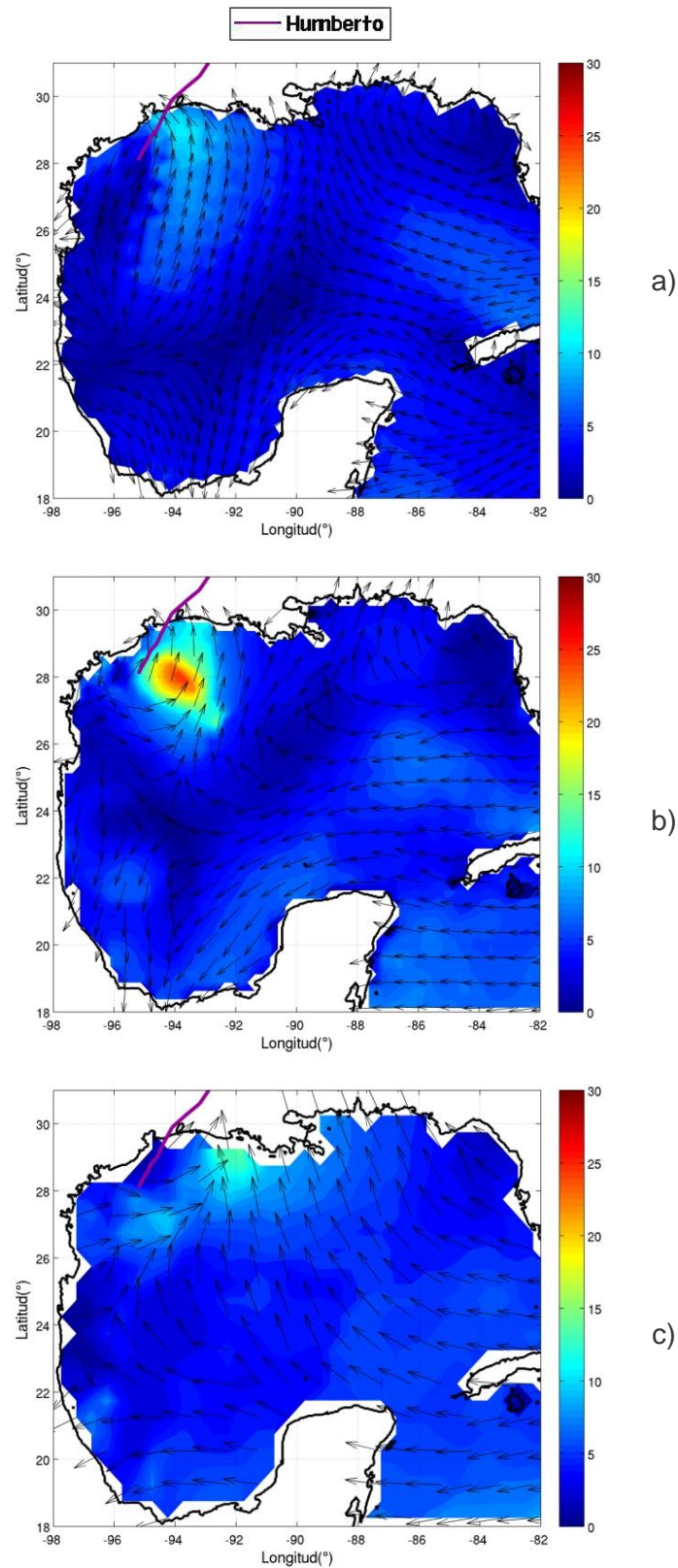


Figura 30 Huracán Humberto (13/09/07, 00:00) en las BDs a)RT c/3 hrs, b)RT c/6 hrs y c)RT Diaria.



En las Figuras 19–21 pueden apreciarse los huracanes en las tres BDs mostrando la dirección de sus vientos así como su intensidad para el día de máxima categoría, según la resolución espacial de cada una. La BD RT c/3 hrs grafica con mayor resolución los vectores de dirección y en la BD RT c/6 hrs se observa mejor la intensidad de sus vientos. Comparando las mediciones en las posiciones de las EMs, mostradas en estas figuras, se generan las gráficas de las Figuras 32 y 33; y parte de estas mediciones en las Tablas 25 y 26, que corresponden a la primera medición de cada día (00:00) aportada por cada BDs y la Boya NDBC de esa posición.

En la Figura 32 la componente zonal de las mediciones del Huracán Dean en la posición de la EM No. 42055, las mediciones de la Boya y las BDs RT c/3 hrs y RT c/6 hrs son las de mayor concordancia en los días de trayectoria del huracán. Los valores en la Tabla 28 para estas tres mediciones muestran que son bastante cercanas con rango valores similares. Entre el día 22 y 23 de Agosto la BD RT Diaria es la que se observa desfasada con respecto a las demás. En la componente meridional sucede algo similar a la BD con menos concordancia, que es la BD RT Diaria, las mediciones de la EM y las otras BDs tienen una forma similar, pero puede observarse que en parte sigue la forma de las demás líneas. Las mediciones más cercanas a las obtenidas *in situ* es la BD RT c/6 hrs, ver Tabla 28, componente meridional.

Para la posición de la EM API–Altamira, en la componente zonal Figura 32, las mediciones de la EM y las BDs tienen forma parecida pero desfasada es decir los valores son parecidos pero no están en el mismo día en las diferentes mediciones (Tabla 28), por ejemplo EM, BD RT c/3 hrs, y BD RT c/6 hrs tiene valores entre -2.60 m/s y -3.53 m/s, pero para los días 20, 21 y 22, respectivamente e igual en las BDs RT c/3 hrs, RT c/6 hrs y RT Diaria con valores -5.05 m/s, -4.69 m/s y -6.41 m/s para los días 20, 21 y 22, respectivamente. En la componente meridional de las mediciones existe una distribución parecida entre la EM y las BDs excepto la BD RT Diaria, siendo más notorio entre el 22 y 23 de Septiembre.

El Huracán Lorenzo, en la posición de la EM No. 42055 (Figura 33), su componente zonal tiene una distribución de mediciones entre la EM y las BDs bastante parecidas siendo la más desfasada la BD RT Diaria. Observando la Tabla 29 en los correspondientes a esta componente son la EM y la BD RT c/6 hrs, así como la BD RT c/3 hrs y BD RT Diaria, quienes tienen los valores más parecidos entre sí. En la componente meridional las cuatro

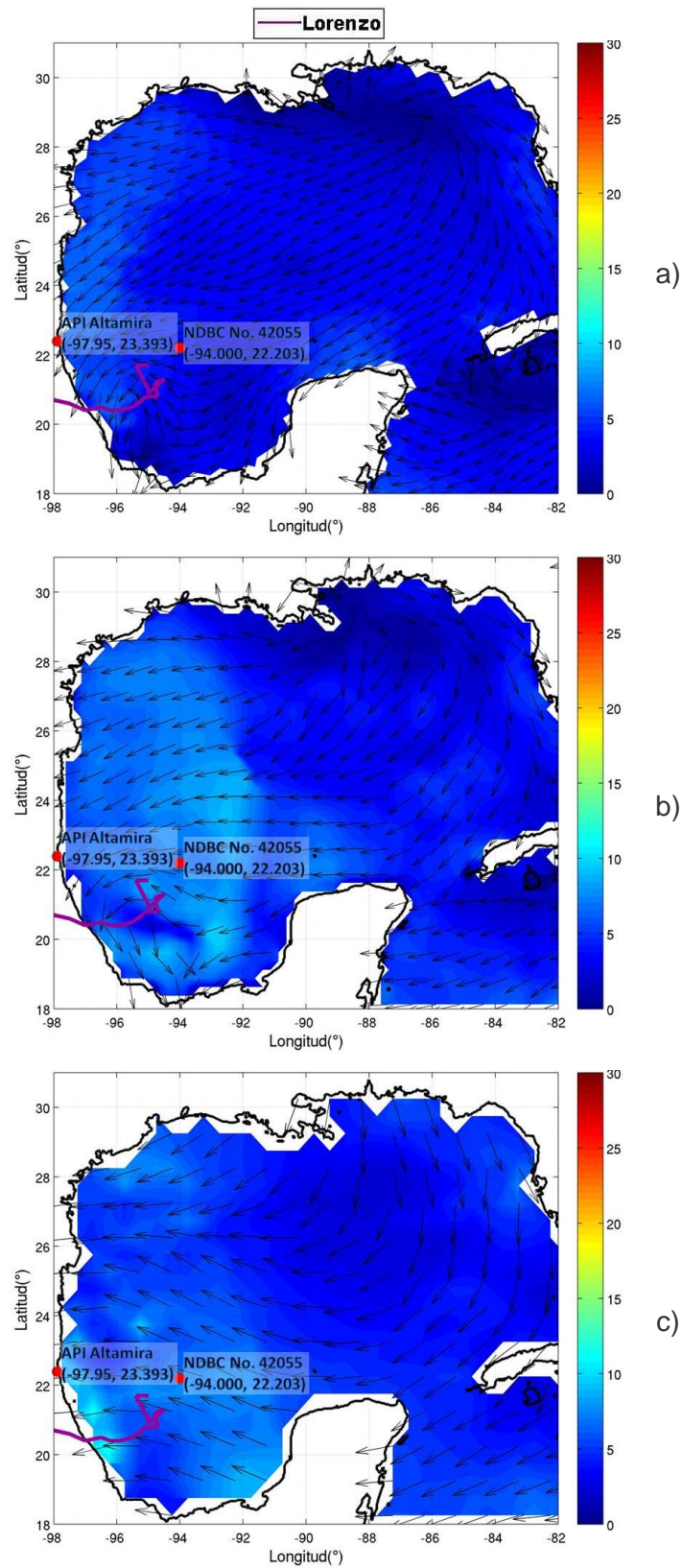


Figura 31 Huracán Lorenzo (28/09/07, 00:00) en las BDs a)RT c/3 hrs, b)RT c/6 hrs y c)RT Diaria.



mediciones presentan valores similares, en igual que en las gráficas, sus valores están alrededor de los -4 m/s y 3 m/s (Tabla 29).

En la componente zonal para la posición de la EM API–Altamira (Figura 33) la BD RT c/6 hrs y la BD RT Diaria tienen valores entre -5 m/s y -1 m/s aproximadamente; la componente meridional muestra sus gráficas en forma parecida, aunque sus valores demuestran que tienen distancia entre ellas.

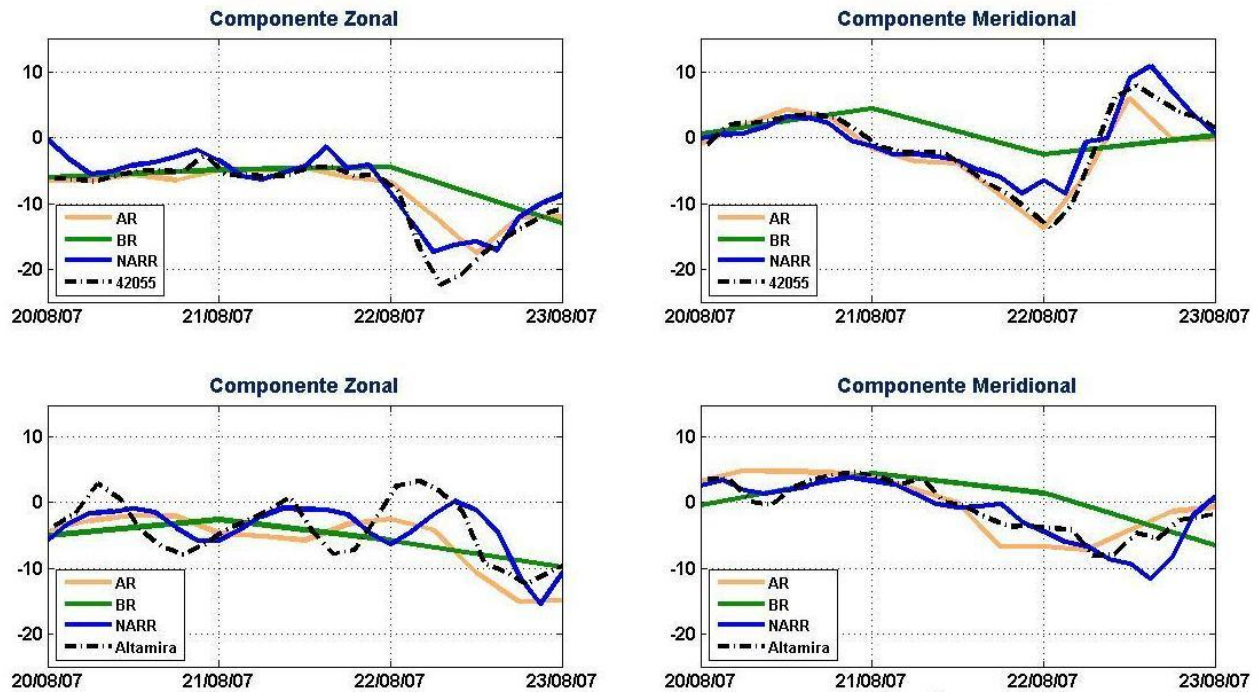


Figura 32 Huracán Dean (20 al 23 de Agosto del 2007) en las Componentes de viento entre las EMs: No. 42055 y API Altamira, y las BDs: AR (RT c/6 hrs), BR (RT Diaria) y NARR (RT c/3 hrs) y Boya.

Tabla 28. Huracán Dean (20 al 23 de Agosto del 2007, 00:00) Mediciones en las Posiciones de las EMs No. 42055 y API Altamira.

Posición Días Medics.	No. 42055				API Altamira			
	20	21	22	23	20	21	22	23
EMs	-6.16	-5.64	-7.97	-10.57	-3.53	-4.13	2.63	-9.10
	-0.92	-1.31	-13.78	0.82	3.60	3.85	-3.94	-1.50
BD RT	-6.00	-4.90	-4.46	-12.99	-5.05	-2.60	-5.77	-9.80
c/3 hrs	0.74	4.51	-2.53	0.36	-0.33	4.46	1.41	-6.53
BD RT	-6.43	-4.92	-6.70	-12.00	-4.38	-4.69	-2.54	-14.93
c/6 hrs	-0.84	-1.73	-13.72	-0.24	3.15	3.99	-6.68	-0.64
BD RT	-0.21	-3.44	-5.80	-5.87	-8.28	-8.72	-6.41	-10.75
Diaria	-0.14	-1.27	2.43	3.30	-6.47	0.63	-4.37	0.78

(Componente Zonal, Componente Meridional)

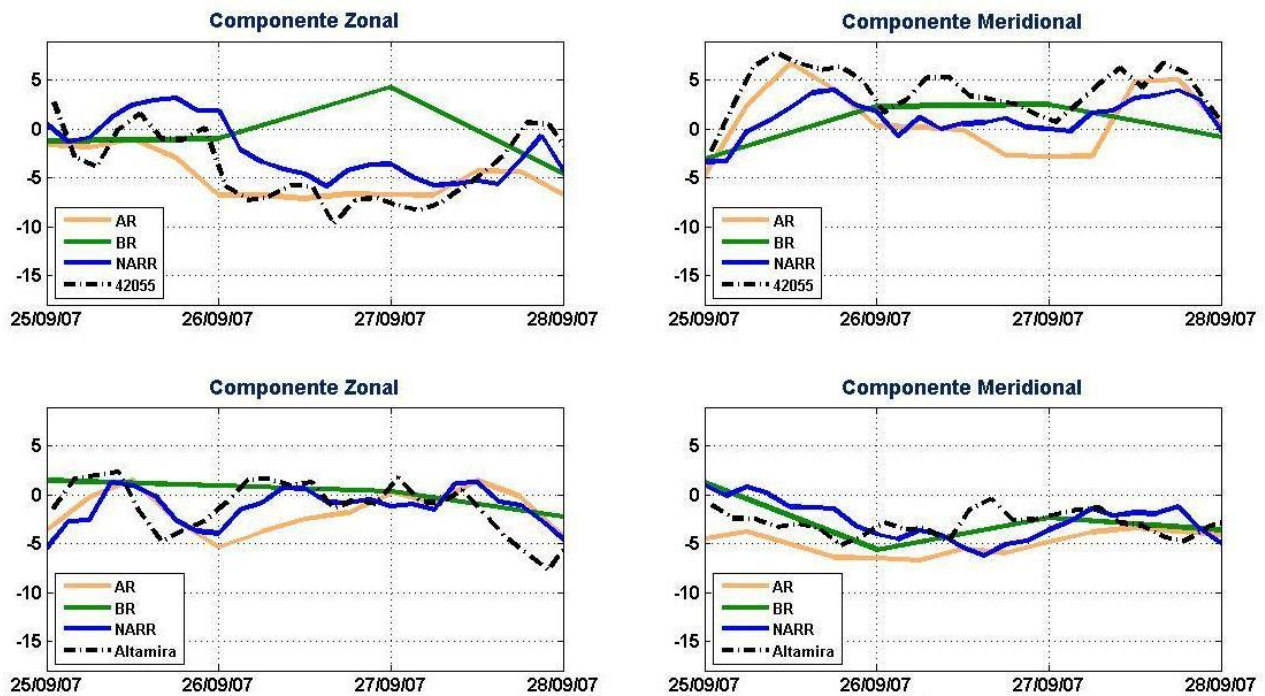


Figura 33 Huracán Lorenzo (25 al 28 de Septiembre del 2007) en las Componentes de viento entre las EMs: No. 42055 y API Altamira, y las BDs: AR (RT c/6 hrs), BR (RT Diaria) y NARR (RT c/3 hrs) y Boya.

Tabla 29. Huracán Lorenzo (25 al 28 de Septiembre del 2007, 00:00) Mediciones en las Posiciones de las EMs No. 42055 y API Altamira.

Posición Días Medics.	No. 42055				API Altamira			
	25	26	27	28	25	26	27	28
EMs	2.71	-5.90	-7.85	-2.69	-1.39	-0.83	1.78	-4.60
	-2.24	1.69	0.74	-0.23	-1.04	-2.86	-2.01	-2.69
BD RT c/3 hrs	-1.23	-0.97	4.29	-4.55	1.50	0.98	0.39	-2.15
	-3.09	2.31	2.53	-0.79	1.25	-5.58	-2.35	-3.56
BD RT c/6 hrs	-1.59	-6.77	-6.72	-6.76	3.69	-5.38	0.16	-4.27
	-4.71	0.29	-2.82	0.39	-3.32	-4.43	-5.60	-5.54
BD RT Diaria	0.48	1.89	-5.40	-3.94	3.58	-4.30	-1.18	-4.57
	-3.35	1.77	0.99	-4.03	0.01	-0.26	-3.59	-4.91

(Componente Zonal, Componente Meridional)

## 6.2. NORTES EN EL GOLFO.

En una situación típica de Norte los vientos más intensos se observan en la costa suroeste del Golfo. Un Norte puede avanzar en un solo día desde Matamoros hasta Coatzacoalcos (Jáuregui, 1975).

En general, cuando los Nortes ingresan al Golfo de México, se desplazan desde el litoral de Tamaulipas, avanzan hacia Veracruz, incursionan sobre la Sonda de Campeche y atraviesan buena parte de la península de Yucatán hasta salir al mar Caribe. Sin embargo, no todos siguen esta trayectoria, ya que algunos pueden desviarse al este del GdM en cualquier punto que se encuentren del litoral en relación con las condiciones meteorológicas prevalecientes. Por lo regular, la duración de los Nortes es de dos a tres días y en algunas ocasiones existe la posibilidad de extenderse un poco más. En el desplazamiento de las masas de aire frío que entran ocasionalmente por el noroeste de México, avanzan por el Norte del país y cruzan hasta el GdM. Se ha observado que pueden producir Nortes más intensos, en comparación con aquellas que descienden por la parte central, sur y sursureste de los EUA (Gómez, 2000).

El Norte descrito en esta sección es el Frente Frio no. 24, con fecha 23 de Enero del 2008. En la Figura 34 se utilizaron las BDs RT c/3 hrs, RT c/6 hrs y RT Diaria para mostrar su desplazamiento por el Golfo.

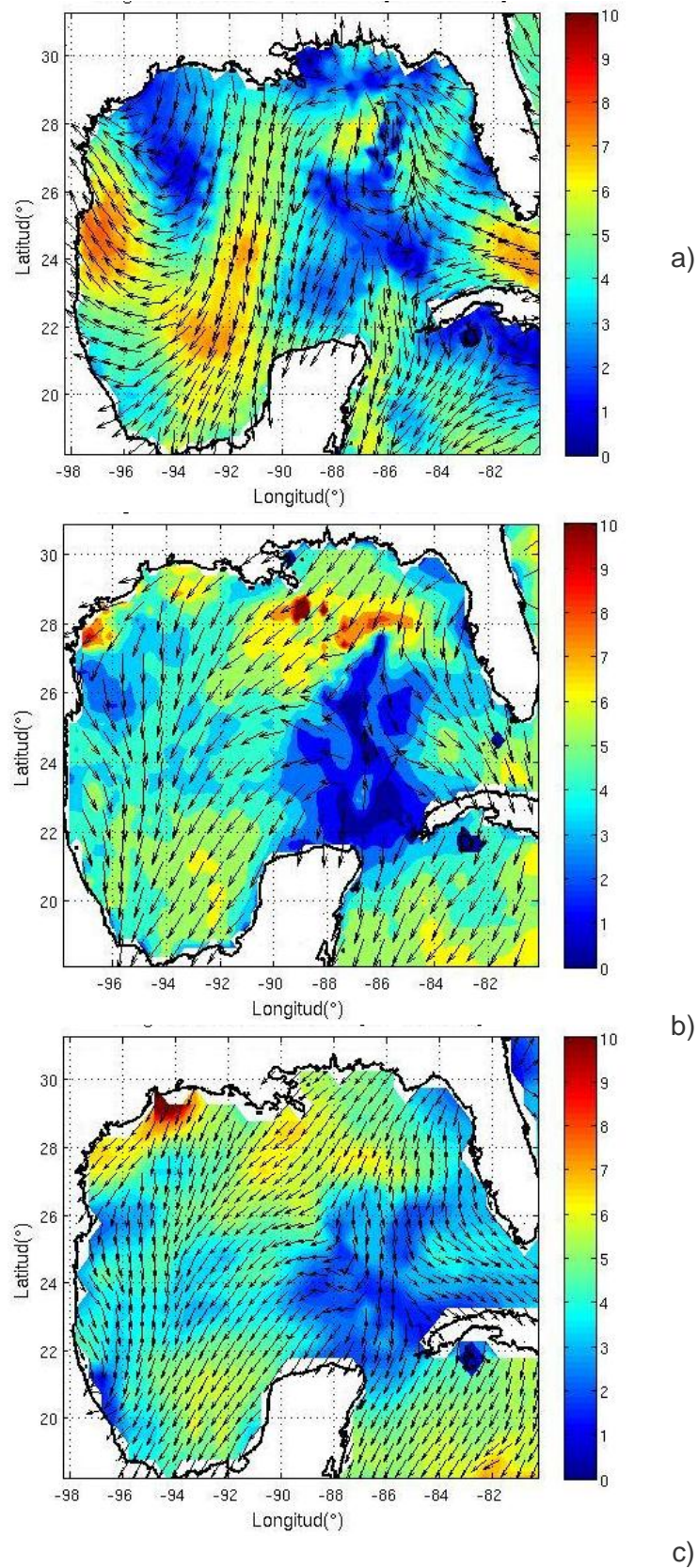


Figura 34 Frente Frio No. 24 (23/01/08), en las BDs a)RT c/3 hrs, b)RT c/6 hrs y c)RT Diaria.



La presencia de este frente frío y la afluencia de humedad del Golfo originaron un cielo medio nublado con lluvia en los estados del litoral del GdM, propiciando un descenso de la temperatura y viento moderado en el Norte del territorio en Baja California, Sonora y Chihuahua, debido a un sistema invernal. Los estados del Occidente, Centro y Sur del país reportaron cielo despejado a medio nublado y registraron temperaturas de cálidas a calurosas. En el GdM provocó cielo medio nublado a nublado, lluvia ligera, temperaturas frescas a cálidas, bancos de niebla y viento de 20 a 35 km/h. En la península de Yucatán el cielo permaneció medio nublado, con alguna llovizna, temperaturas cálidas a calurosas y con viento del este y noreste de 20 a 35 km/h (Notimex, 23/01/08 y 27/01/08).

En la Figura 34 durante la presencia del frente frío no. 24 el desplazamiento del viento en el Golfo fue hacia el sur, atravesando el Istmo de Tehuantepec, la mayor intensidad del viento es en la zona de desplazamiento con valores cercanos a los 7 m/s en las tres BDs; en la BD RT c/3 hrs se puede apreciar un movimiento anti cónico frente a las costas de Tamaulipas y Norte de Veracruz, con dirección hacia el noroeste.

Tabla 30. Frente Frío No. 24 (23/01/08) Magnitud de Viento en las BDs.

BDs RT	▲	▼
c/3 hrs	44.63	0.17
c/6 hrs	13.25	0.84
Diaria	9.14	0.20

En la Figura 35 la componente zonal de las mediciones del frente frío en la posición de la EM No. 42055, las mediciones de la Boya y las BD RT c/3 hrs y la BD RT Diaria son las de mayor concordancia durante la presencia del Norte. Los valores en la Tabla 29 para estas tres mediciones muestran rangos de valores similares. En la componente meridional de las mediciones existe una distribución parecida entre la EM y las BDs excepto la BD RT c/6 hrs. Para la posición API–Altamira, en su componente zonal, las mediciones mantienen un rango de valores entre -5 m/s y 1 m/s, la BD RT c/3 hrs es la más defasada. Para la componente meridional la BD RT c/6 hrs y la BD RT c/3 hrs son las mayor desfase.

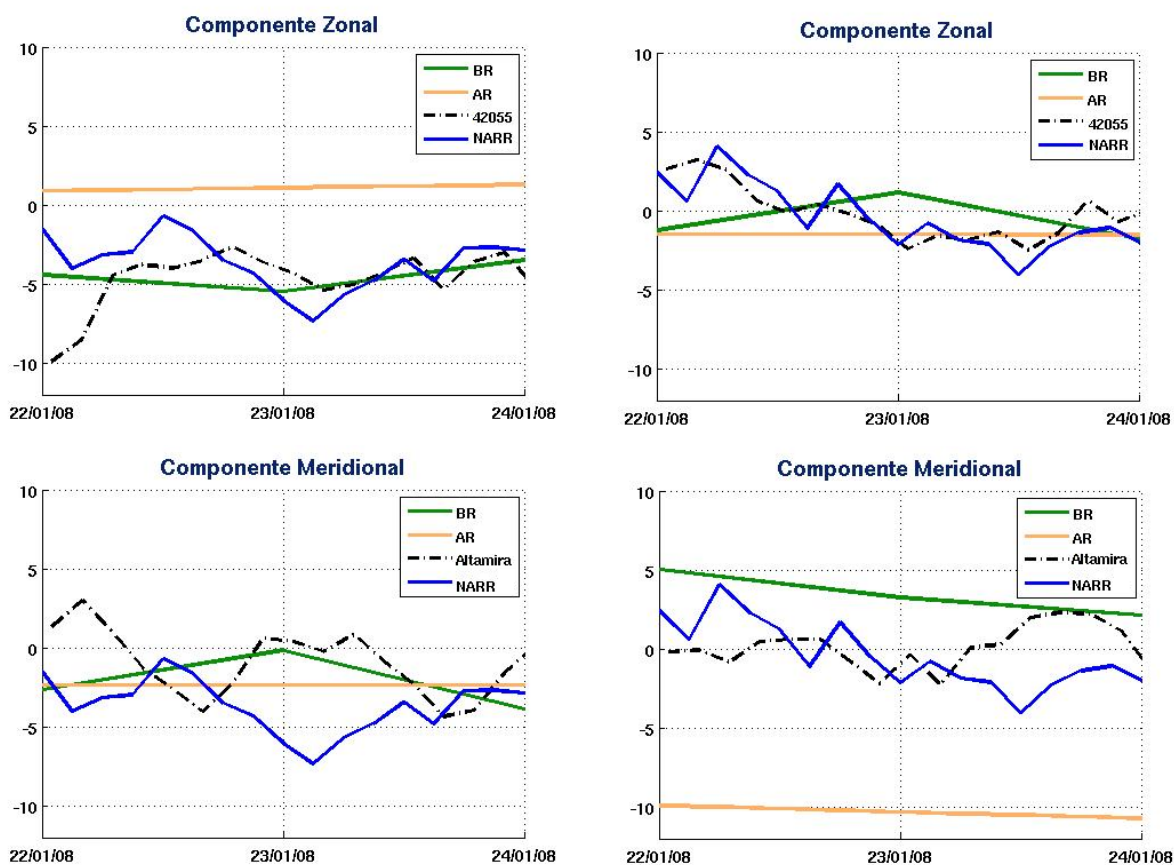


Figura 35 Frente Frío No. 24 (22 al 24 de Enero del 2008) en las Componentes de viento entre las EMs: NDBC No. 42055 y API Altamira, con las BDs. **AR** (RT c/6 hrs), **BR** (RT Diaria) y **NARR** (RT c/3 hrs) y Boya,

Tabla 31. Frente Frío (22 al 24 de Enero del 2008, 00:00) Mediciones en las Posiciones de las EMs No. 42055 y API Altamira.

Posición Días Medics.	No. 42055			API Altamira		
	22	23	24	22	23	24
EMs	-9.89	-4.32	-5.16	1.36	0.40	0.13
	2.66	-2.41	0.01	-0.17	-0.36	-1.40
BD RT c/3 hrs	-11.04	-0.85	-2.47	-5.69	-1.66	0.11
	-0.94	-3.85	-2.27	7.35	0.27	-2.11
BD RT c/6 hrs	1.29	1.42	1.55	2.67	2.93	3.18
	4.37	4.59	4.82	-9.90	-10.29	-10.68
BD RT Diaria	-9.43	-4.80	-1.58	-7.70	-5.66	-4.37
	-4.51	0.66	-4.86	-1.48	4.20	-2.10

(Componente Zonal, Componente Meridional)



## 7. CONCLUSIONES.

Aunque el análisis comparativo entre las bases de datos de los cinco productos de viento analizados sugiere que podría usarse cualquiera de ellos, existen diferencias significativas particularmente cerca de la costa occidental del Golfo, relacionadas con el cambio de medio de mar a tierra y viceversa, que afecta en la calidad de los datos de estas zonas.

En México las diferencias más notorias son frente a la parte Norte de Veracruz, Tabasco y Campeche, pero la distribución de estas diferencias es desde Florida hasta Campeche. Entre las comparaciones de las BDs su mayor desfase es donde está incluida la BD RT c/3 hrs y el mínimo cuando está presente la BD RT Diaria.

De acuerdo a la comparación entre las BDs y las EMs, la BD que más representa la parte costera del GdM sería la BD RT c/3 hrs por tener la mayor cantidad de diferencias mínimas entre las medias mensuales de las BDs y las EMs. En el caso contrario es la BD RT c/6 hrs por tener la mayor diferencia en la misma comparación, prácticamente en las tres Boyas. El viento en el Golfo tiene una mejor representación en su componente zonal que meridional.

En el caso de eventos extremos, como son los huracanes y los Nortes que afectan al Golfo de México, la BD RT c/3 hrs obtiene una mayor representación en la dirección del viento en estos fenómenos, al tener una mayor representación. No obstante, este tipo de eventos se muestran un tanto suavizados en esta BD, y es la BD RT c/6 hrs la que mejor representa la intensidad de sus vientos.

## 8. APÉNDICES.

### A. ACRÓNIMOS.

Tabla 32 Acrónimos del Documento.

Siglas.	En idioma Español.	En su idioma original
BMWF	Medias de campos mezclados de viento.	Blended Mean Wind Field.
CERSAT	Centro de archivo y procesamiento de ERS.	Centre ersd'archivage et de traitement - frenchers processing and archiving facility.
CICATA	Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada.	---
COADS	Base Exhaustiva de 2 años Océano–Atmosfera.	Comprehensive ocean-atmosphere data set.
ERS	Satélite Europeo de Teleobservación.	European remote sensing satellite.
ESA	Agencia Espacial Europea.	European Space Agency.
GdM	Golfo de México.	---
IFREMER	Instituto Francés de Investigación para la Exploración del Mar.	L'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer
IPN	Instituto Politécnico Nacional.	---
NARR	Reanálisis Regional de Norteamérica.	North American Regional Reanalysis.
NCAR	El Centro Nacional para la Investigación Atmosférica.	The National Center for Atmospheric Research
NASA	Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio.	National Aeronautics and Space Administration.
NCEP	Centros Nacionales de Predicción Ambiental	National Centers for Environmental Prediction
NOAA	Administración Nacional Oceánica y Atmosférica.	National Oceanic and Atmospheric Administration.
SCOW	Climatología Vientos Oceánicos del dispersómetro.	Scatterometer Climatology of Ocean Winds.

## B. GLOSARIO

**Alisios:** Son los vientos que soplan a lo largo del paralelo ecuatorial, estos vientos gracias a su ubicación en el globo, solo se movilizan del este al oeste. Soplan a lo largo de todo el año, son permanentes.

**Base de datos:** Una base de datos o banco de datos (en ocasiones abreviada con la sigla BD o con la abreviatura b. d.) es un conjunto de datos pertenecientes a un mismo contexto y almacenados sistemáticamente para su posterior uso.

**Clima:** Es el estado medio de los elementos meteorológicos de una localidad considerando un periodo largo de tiempo. El clima de una localidad viene determinado por los factores climatológicos: latitud, longitud, altitud, orografía y continentalidad.

**Climatología:** Ciencia dedicada al estudio de los climas en relación a sus características, variaciones, distribución, tipos y posibles causas determinantes.

**Cuenca:** Depresión del fondo marino de extensión variable y de forma más o menos equidimensional en un plano horizontal, la cual es relativamente profunda y está aislada de otras depresiones por rasgos topográficos como cordilleras o planicies menos profundas.

**Dispersómetro:** Sensor (radar) de microondas que explora la superficie de la Tierra desde una aeronave o un satélite y mide el coeficiente de dispersión o reflexión de los impulsos de retorno para determinar la rugosidad de la superficie y deducir la velocidad y dirección del viento.

**Fitoplancton:** compuesto de vegetales, cuyos componentes son todos microscópicos. Tanto de mar como de agua dulce comprende bacterias, organismos a fines a ellas y plantas verdes (algas) en forma de células aisladas o pequeñas colonias. La densidad del fitoplancton marino es determinable gracias a su pigmentación.

**Forzamiento:** Cualquier fuerza que aplica sobre el fluido provoca alguna reacción. Por ejemplo, el viento que sopla sobre la superficie del mar es un forzamiento que induce algún tipo de movimiento en el fluido.

**Frente Frío:** Se desplaza cerca del suelo y cuando choca con una masa de aire cálido, actúa como una cuña elevándolo rápidamente. Esto favorece la formación de nubes que devienen en tormentas de intensas lluvias (Figura 36). La presión barométrica tiende a subir después del paso del frente y la visibilidad mejora por la inestabilidad del aire que limpia la bruma, contaminación y niebla. En el hemisferio norte, estos frentes se orientan a lo largo de una línea noreste a suroeste, con una longitud de cientos de kilómetros, y su movimiento generalmente hacia el este. Son rápidos pudiendo avanzar más de 800 km por día, porque son empujados por sistemas de alta presión situado detrás del frente.

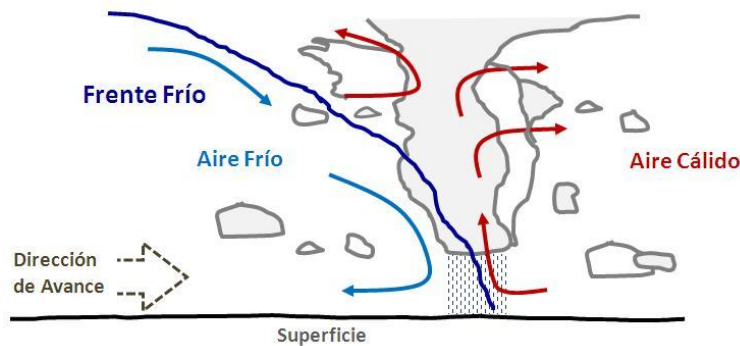


Figura 36 Avance de un frente frío que a su paso va levantando y condensando el aire cálido en nubes verticales.

**Gran escala:** Movimientos oceanográficos que abarcan extensiones desde varios cientos de kilómetros, hasta todo el océano.

**Huracán:** Sistema atmosférico con una extensión entre 300 km y 500 km de radio con velocidades mayores a 120 km/hr (Tabla 33). El centro (el ojo de la tormenta) tiene un diámetro entre 20 km y 30 km con forma circular o elíptica. El huracán puede alcanzar 16 km de altura. Su desplazamiento es horizontal y puede alcanzar velocidades de 15 km/hr a 20 km/hr. En el hemisferio Norte los vientos huracanados giran en contra de las manecillas del reloj (Figura 37). Los huracanes se originan entre los 8° y los 15° al Norte y al sur del Ecuador.

El movimiento del viento en un huracán es de la periferia, donde el viento es más húmedo y cálido (Figura 37b), se eleva hacia el centro donde se enfría (Figura 37b), provocando una baja de presión, tendiendo a jalar más aire que proviene de la periferia y difunde en la parte superior del remolino (Figura 37c) donde se enfría aún más, creando fuertes lluvias por la condensación de la humedad del aire.

Tabla 33. Categorías de Huracanes.

Categoría	Vientos (km/h)	Color
Depresión	< 63	Green
Tormenta Tropical	63 - 120	Yellow
1	120 a 153	Red
2	154 a 178	Light Red
3	179 a 210	Magenta
4	111 a 249	Light Magenta
5	Mayor a 250	White

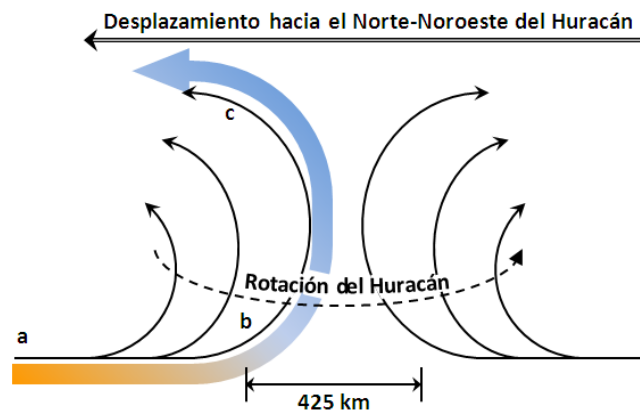


Figura 37 Movimiento del viento en un huracán, vista lateral.

Adaptada de Chávez (1986).

**Latitud:** Distancia angular entre un punto determinado del planeta y el Ecuador; varía desde  $90^\circ$  (cuando el punto está en la dirección del polo Norte) por encima del paralelo del Ecuador, hasta  $-90^\circ$  (en la dirección al polo Sur) si está por debajo de este paralelo. Otra notación es agregar una N a las latitudes del hemisferio Norte o una S para latitudes en el hemisferio sur (Figura 38).

**Longitud:** Distancia entre un punto determinado del planeta y el Meridiano de Greenwich; varía desde  $180^\circ$  (cuando el punto está en dirección al Este) a la derecha del meridiano  $0^\circ$ , hasta  $-180^\circ$  (en la dirección al Oeste) si está a la izquierda de este meridiano. Otra notación es agregar una W a las longitudes del hemisferio occidental o una E para latitudes en el hemisferio oriental (Figura 38).

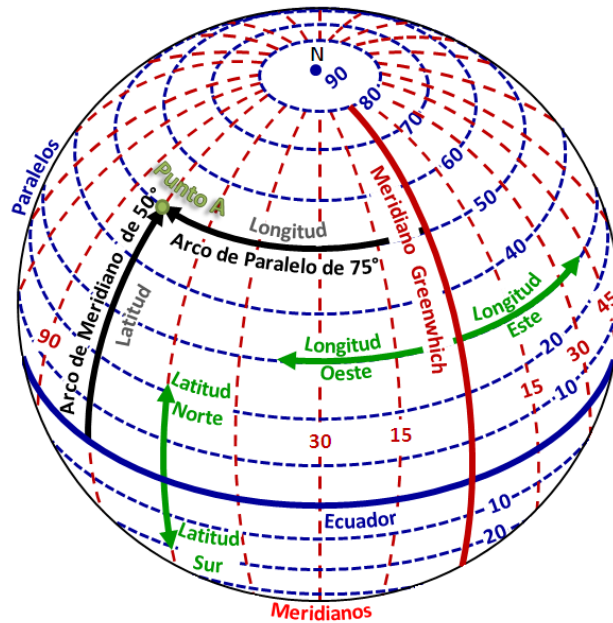


Figura 38 Latitud, Longitud, Meridianos y Paralelos en la Tierra.

**Meridional:** Se refiere a la dirección norte–sur, es decir a lo largo de un meridiano.

**Mesoescala:** Son los sistemas con una escala horizontal del orden de varios cientos de metros a kilómetros y con duración de unas cuantas horas.

**Números Complejos:** Matemáticamente se expresa como  $a + bi$ , donde  $i$ , es la unidad imaginaria y su valor es  $i = \sqrt{-1}$ . El complejo  $a + bi$  es un número real si el valor de  $b$  es nulo ( $b = 0$ ), y se considera un numero imaginario si el valor de  $a$  es nulo ( $a = 0$ )

**Presión Atmosférica:** La presión hace referencia a la acción y efecto de apretar o comprimir. La presión atmosférica es la presión ejercida por la atmósfera sobre todo los objetos que se encuentran inmersos en ella. El aire fluye de las zonas de altas presiones a las bajas presiones, como puede verse en la Figura 39

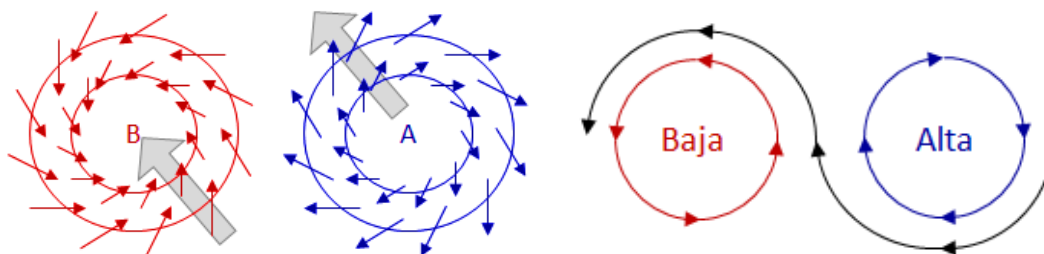


Figura 39 Desplazamiento entre Alta y Baja Presión González (2009).



La diferencia entre dos zonas vecinas puede describirse como una pendiente entre presiones, y el aire cae por esta presión. La fuerza que empuja al aire es llamado *gradiente de presión* y cuanto mayor diferencia exista entre las zonas, el gradiente será más fuerte, consecuentemente la velocidad del viento será mayor. Los vientos no viajan directamente de un área de alta a una de baja, sino por la fuerza de coriolis van paralelos a las líneas isobáricas girando en espiral. Las masas de aire toman las características ambientales del lugar donde se forman y, cuando estas masas empiezan a desplazarse, transportan *su* tiempo con ellas

**Resolución Temporal:** Periodo de tiempo entre imágenes consecutivas detectadas por un sensor, normalmente desde un satélite, de una determinada área.

**Resolución Espacial:** Define la resolución en distancia que puede detectar un sensor de imágenes digitales como los satélites o los radares meteorológicos. Es la distancia que cubre el pixel central de la imagen.

**Satélite Meteorológico:** Están diseñados para observar la tierra desde una determinada órbita con el objetivo de monitorizar el medio ambiente y estudiar fenómenos meteorológicos y climatológicos a nivel global y local.

Tipos:

- **Geostacionarios:** orbitan alrededor de la tierra sobre el ecuador a altitudes de 35,880 km de rotación terrestre, grabando y transmitiendo imágenes del hemisferio que tiene debajo. Da una vuelta a la tierra cada 24 hrs.
- **Órbita polar:** se encuentran solo a 800 km de altura, recorren en círculo todo el globo pasando cada vez por los polos, de forma que cada día pasan dos veces más o menos por el mismo punto con las mismas condiciones generales de luz debido al tiempo solar casi constante. Están en orbitas heliosincronicas, que realizan en unos 100 minutos. Ofrecen una mayor resolución

**Surgencia:** Son causadas por el efecto del viento persistente sobre la superficie oceánica a lo largo de la costa. Las surgencias más importantes que se presentan en el océano son las surgencias costeras, las cuales son provocadas por vientos hacia el ecuador en los océanos con frontera oriental. De esta manera un viento que sople sobre la costa puede provocar un desplazamiento de aguas superficiales hacia mar adentro, compensado por

un lento movimiento ascendente de aguas profundas en dirección a la costa, llamado surgencia o afloramiento de aguas. Estas aguas de surgencia son de baja temperatura y sumamente ricas en nutrientes, resultantes de la remineralización por bacterias de los restos orgánicos que se van acumulando en las capas más profundas de la columna de agua.

**Zonal:** Se refiere a la dirección este–oeste a lo largo de un paralelo.

### C. FUERZAS GENERADORAS Y REGULADORAS DEL MOVIMIENTO DEL VIENTO.

Los vientos en la Tierra son de varias clases, estos vientos se forman gracias a factores terrestres que se ven influenciados por la temperatura, la geografía y su ubicación frente al océano. El entendimiento del movimiento de los vientos es especialmente cuando el hombre pudo ver por primera vez el globo terrestre desde el espacio. Gracias a las ayudas dadas por los satélites meteorológicos, el hombre puede predecir muchos fenómenos relacionados con los vientos, además, puede predecir catástrofes que la fuerza de la naturaleza puede ocasionar (Reyes Coca, 2001).

El viento es el resultado de la acción de varias fuerzas sobre la atmosfera, el origen de estas fuerzas es la energía radiante recibida del sol, la cual se transforma en calor y posteriormente en energía cinética, generando el movimiento de la atmosfera y los océanos. En la Figura 40 las flechas indican la dirección en que apunta la fuerza. La fuerza del gradiente de presión genera el movimiento horizontal, mientras que la fuerza de fricción se opone al movimiento; en particular, la fuerza de Coriolis es hacia la derecha del movimiento en el hemisferio Norte y hacia la izquierda en el hemisferio sur.

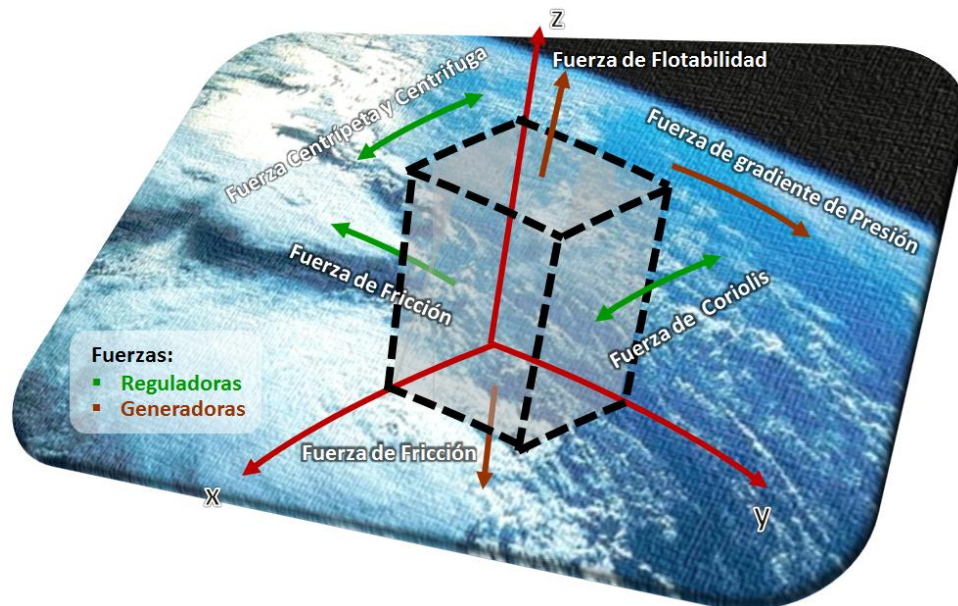


Figura 40 Fuerzas del Viento.

### **C.1. Fuerzas Generadoras.**

Las fuerzas generadoras existen independientemente de si el aire está en movimiento o en reposo y solo dependen de las propiedades físicas de los cuerpos que las originan; estas son:

- Gradiente de Presión: Se origina por las variaciones horizontales en el campo de presión; estas variaciones horizontales de la presión resultan de los gradientes en la temperatura, los cuales son a su vez originados por el calentamiento diferencial del sol sobre la superficie terrestre
- Fuerza de Gravedad: que actúa 'hacia abajo'.
- Fuerza de Flotabilidad: que actúa 'hacia arriba', oponiéndose a la gravedad. En promedio global existe un equilibrio entre las dos; de tal manera, que a primera aproximación la atmósfera está en balance hidrostático.

### **C.2. Fuerzas Reguladoras.**

Las fuerzas reguladoras (o fuerzas desviadoras): resultan del movimiento del aire y dependen de su velocidad, así como del sistema de referencia; de tal manera que las fuerzas reguladoras serán nulas si la velocidad del aire es cero; estas son:

- Fuerza centrípeta (centrífuga): depende de la trayectoria curva del movimiento horizontal ( $z=\text{cte.}$  ó  $P=\text{cte.}$ , según el sistema de coordenadas); si el viento fluye alrededor de isobaras curvas, entonces se producirá una fuerza que desviará el viento hacia dentro (fuera) del centro de rotación, para balancear el flujo giratorio.
- Fuerza de Coriolis: generada por la rotación de la tierra sobre su eje polar, la que desvía todos los cuerpos en movimiento sobre la superficie (incluidos los fluidos geofísicos, como el aire y el agua), hacia la derecha en el hemisferio Norte y hacia la izquierda en el hemisferio sur

## D. SATÉLITES

En las últimas décadas se ha dedicado gran cantidad de recursos a la observación y medición de la atmósfera, con diversos métodos instrumentos mecánicos en la superficie, sensores en globos de sondeo, etc; los satélites han tenido un rápido progreso en el campo de la investigación científica.

La Figura 41 muestra el recorrido del satélite *QuikSCAT*, contiene un dispersómetro diseñado específicamente para medir la velocidad y la dirección del viento próximas a la superficie del océano.

En los últimos años, los productos satelitales han demostrado ser una herramienta de gran utilidad en el análisis de las condiciones oceánicas a lo largo de todo el planeta.

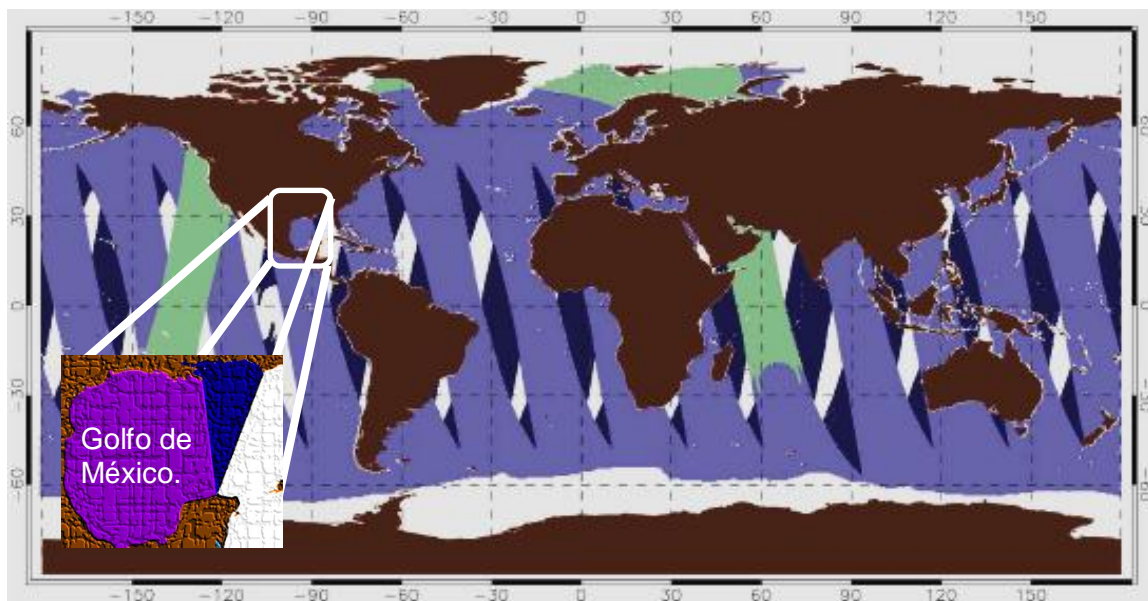


Figura 41 Cobertura mundial *QuikSCAT* el 1 de noviembre de 2000.

En este proyecto se describe la evolución del campo de viento sobre la superficie del mar en la región occidental del Golfo de México a partir de diversos datos satelitales y así conocer su variabilidad espacial y temporal.

## E. OBTENCIÓN DE BASES DE DATOS.

Las mediciones de cada BDs está disponible gratuitamente en Internet, la información está organizada por componentes de viento, en las mediciones satelitales. El proceso para descargar los datos fue el siguiente:

### Climatología Mensual COADS (BD COADS).

Tomados de Penven et al. (2008).

### Climatología Mensual SCOW (BD SCOW).

1. Entrar al sitio de Internet [www.coas.oregonstate.edu](http://www.coas.oregonstate.edu)
2. En el cuadro *Find people* buscar: *Craig Risein*
3. En los resultados de la búsqueda seleccionar *RISIEN, Craig M. en Research Associates, Postdocs, and Faculty Research Assistants*
4. Ubicar el enlace *Scatterometer Climatology of Ocean Winds (SCOW)*
5. En la siguiente página clic en el enlace [ftp://numbat.coas.oregonstate.edu/pub/scow/](http://numbat.coas.oregonstate.edu/pub/scow/)
6. Descargar los archivos *wind\_zonal\_monthly\_maps.nc* y *wind\_meridional\_monthly\_maps.nc*.  
o entrar directamente a <http://cioss.coas.oregonstate.edu/scow/> y seguir los pasos 5 y 6.

### Con resolución Temporal Diaria, c/24 hrs (BD RT Diaria).

*Estos datos fueron obtenido del Centre de Recherche et d'Exploitation Satellitaire (CERSAT), en IFREMER, Plouzané (France).*

1. Abrir la página de *CERSAT* en la dirección: <http://cersat.ifremer.fr/About-us/Activities>.
2. Entrar al enlace *Data*, mostrando los servicios de la página de *CERSAT*.
3. Clic en *Product Access*, que es el directorio de extracción de datos.
4. Desplazarse a la sección *Gridded Products*, buscar el producto *MWF-QuikSCAT*.
5. Clic en el enlace *FTP* en la opción *Access*.
6. En la siguiente página aparecen dos enlaces *data* y *documentation*; el primero es para descargar los datos Diarias, mensuales o semanales. Entrar en *data* y después a *daily*.
  - Los enlaces para cada medición Diaria están agrupados por año desde 1999 a 2009.
7. Entrar a cada año para acceder a los archivos de ese año.
8. Presionar sobre cada archivo e ir guardando.

### Con resolución Temporal cada 6 horas (BD RT c/6 hrs).

1. Abrir la página de *CERSAT* en la dirección: <http://cersat.ifremer.fr/About-us/Activities>.
2. Entrar al enlace *Data*, mostrando los datos distribuidos por la página de *CERSAT*.



3. Clic en *Product Access*, que es el directorio de extracción de datos.
4. Desplazarse a la sección *Gridded Products*, buscar el producto *MWF Blended*.
5. Clic en el enlace *FTP* en la opción *Access*.
6. En la siguiente página aparecen varios enlaces entrar en *data* y después a *6-hourly*.
  - Los enlaces para cada medición Diaria están agrupados por año desde 2004 a 2009.
7. Entrar a cada año para acceder a los archivos de ese año que están agrupados por meses.
8. Después de entrar al año, seleccionar el mes y después el día.
9. Aparecerá la lista de mediciones, cuatro en total, del día seleccionado.
10. Presionar sobre cada archivo e ir guardando.

Con resolución Temporal cada 3 horas (BD RT c/3 hrs).

1. Abrir la página [http://nomads.ncdc.noaa.gov/data.php?name=access#narr\\_datasets](http://nomads.ncdc.noaa.gov/data.php?name=access#narr_datasets)
2. Asegurarse de estar en *NCEP North American Regional Reanalysis (32km, 25 years)*
3. Situarse en la *Tabla* de *North American Regional Reanalysis*
4. En el renglón de *NARR-A: Plot|FTP4u*
5. En la siguiente página, en *Select a date range*, especificar el periodo de 10 años que se usó en el *QuikSCAT*
6. En *Cycle*: Seleccionar *All*.
7. En *Order Build Options*, ambas opciones **desactivadas**: *Generate control file for analysis fields over all cycles* y *Generate QuickPlots for supported datasets*,
8. Clic en *Build Order*.
9. En la siguiente página, click en *Select Files for FTP*.
10. En la siguiente página, en *Filename Filte*: usar **\*.grb**, después click en *Select files*.
11. En *Select the levels desired*, seleccionar *10 m above surface*.
12. En *Select the variables desired*, seleccionar *UGRD* y *VGRD*
13. En *Extract Subregion*:  
Seleccionar *Make Subregion*.  
*Usar West Longitude: 262,*  
*East Longitude: 280,*  
*North Latitude: 31,*  
*South Latitude: 18.*
14. En *FTP Information*: Poner email. Clic en *Start FTP*
15. Siguiendo página, en *Data Request Status Monitoring*: Clic en *FTP : ...*
16. Bajar los datos en la nueva ventana.

### Estaciones Meteorológicas.

Para la comparación con los datos *in situ* se utilizaron las mediciones de las boyas NDBC No. 42001, 42002, 42020 y 42055; así como de la estación meteorológica en tierra a cargo de API–Altamira.

- NDBC.

1. Entrar al sitio web <http://www.ndbc.noaa.gov/>
2. Ubicar en el mapa las boyas del área del Golfo de México, utilizar el aumento para ubicarlas mejor.
3. Dar clic sobre el rombo que señala la boya y entrar a *View Details*, para conocer la descripción de la boya (latitud, longitud, sensores, etc.) o a *View History* para acceder a las mediciones ordenadas por año.
4. En la sección *Historical data*, descargar los años de mediciones de *Standard meteorological data*.

O en la página de inicio en el cuadro de *Station ID Search*, escribir el número de boya que se esta buscando, aparece la página *View Details* de esa boya, clic en *Historical Data & Climatic Summaries*, al final de la página. En la siguiente página descargar los años de mediciones de *Standard meteorological data*.

Las variables utilizadas son:

- Las variables correspondiente a la fecha: YY(año), MM(mes), DD(Día), hh(Hora) y min(minuto).
  - *WSPD*: Velocidad del viento (m/s) promediado durante un período de ocho minutos para las boyas y un período de dos minutos para las estaciones terrestres. Reportando por hora.
  - *WDIR*: La dirección del viento (la dirección del viento es de donde viene en grados en el sentido del reloj del Norte verdadero) durante el mismo período utilizado para *WSPD*.
- API ALTAMIRA.  
Quiroga-Goode et al. (2011), Comunicación personal

**F. DIAGRAMAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS.**

Sección 5.1 y 5.2

Extracción de las mediciones de los componentes de Viento (BD RT Diaria).

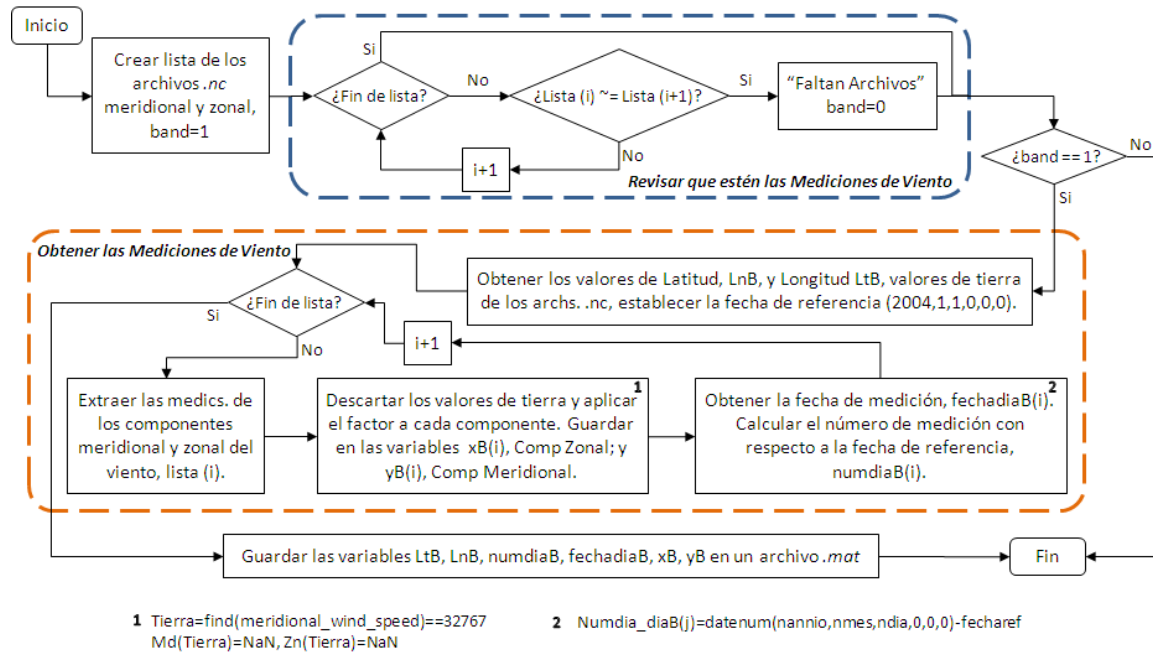


Figura 42

Cálculo de la Media y Desviación Estándar Mensual (BD RT Diaria).

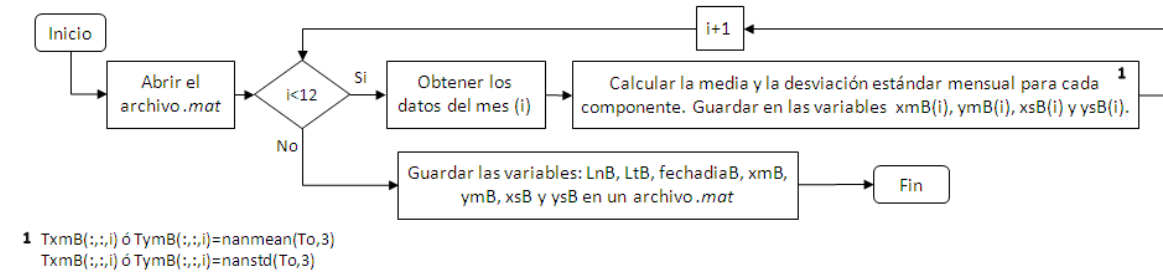


Figura 43

Gráficas de la Media y Desviación Estándar Mensual (BD RT Diaria).

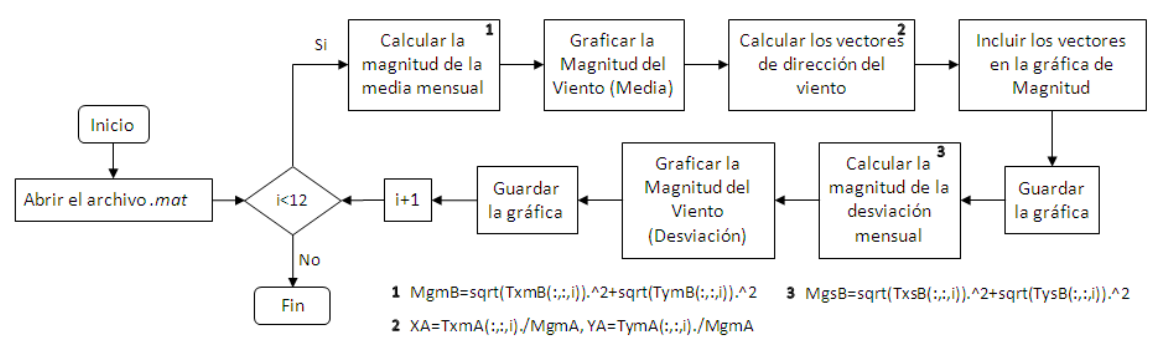


Figura 44

Cálculo de la Correlación y Fase entre Bases de Datos (BD RT c/6 hrs y BD RT Diaria)<sub>1</sub>.

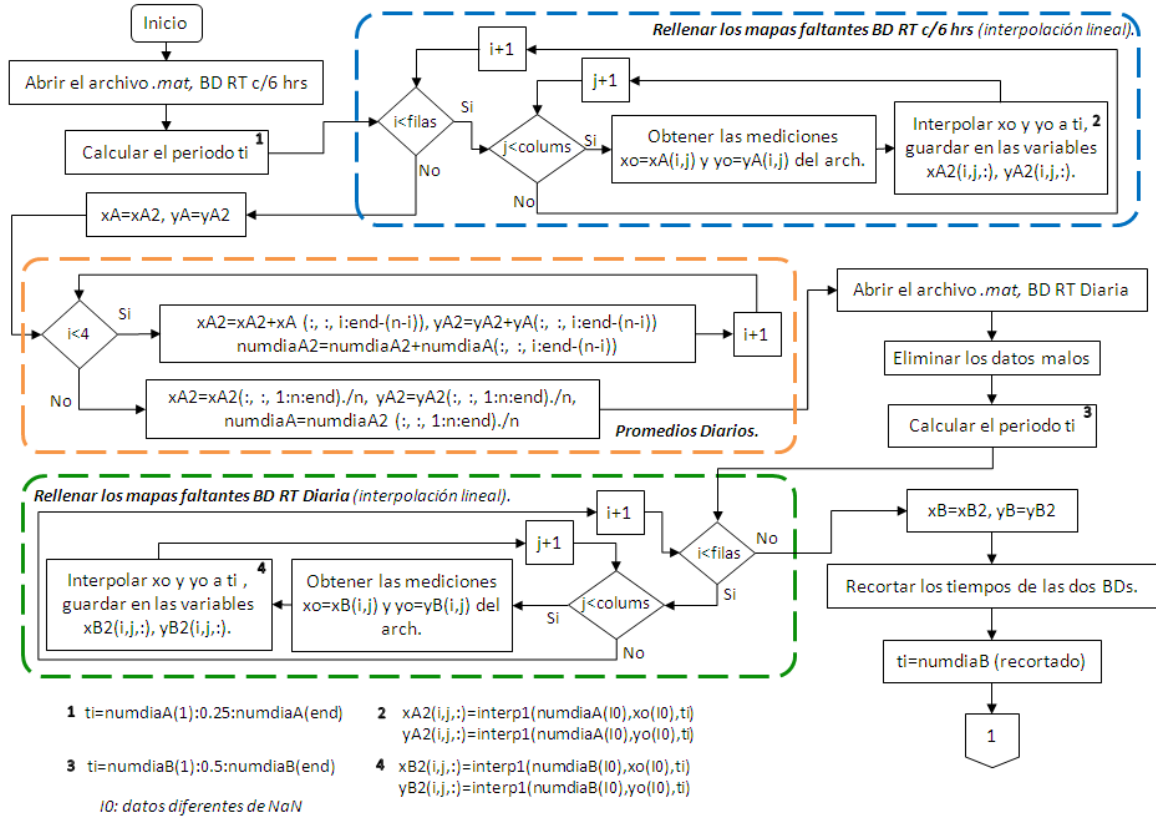


Figura 45

Sección 5.3

Cálculo de la Correlación y Fase entre Bases de Datos (BD RT c/6 hrs y BD RT Diaria)<sub>2</sub>.

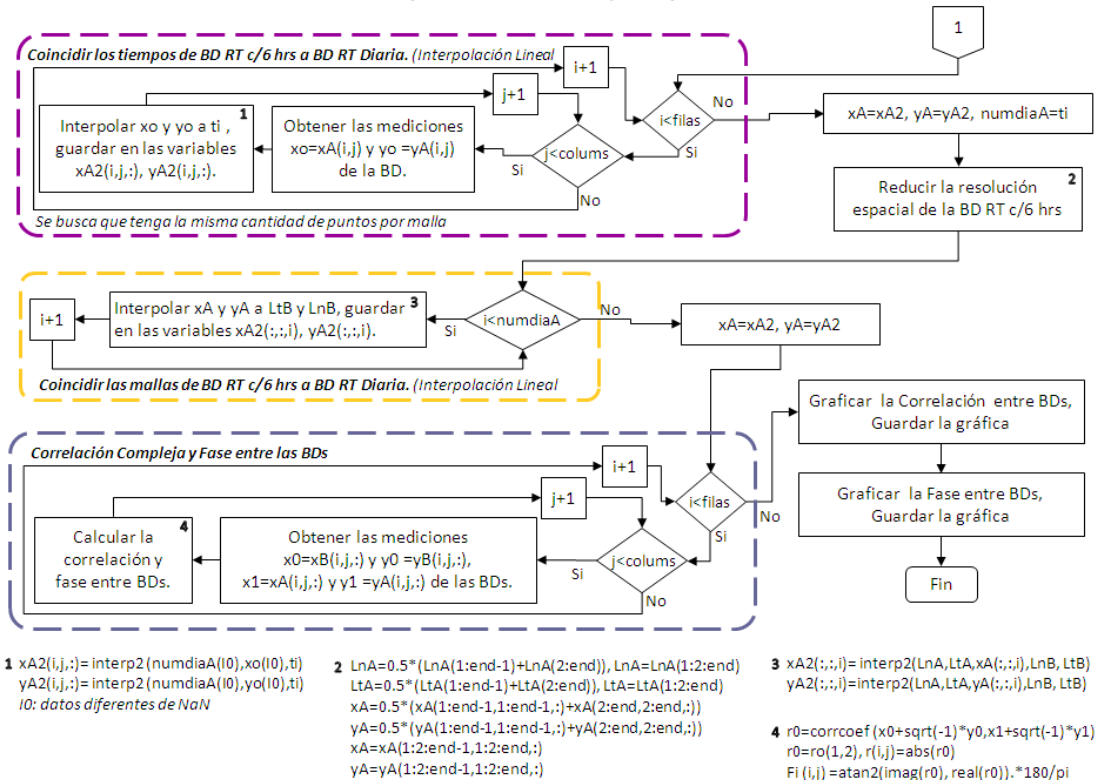


Figura 46

Medias entre Bases de Datos y las EMs.

Sección 5.4.1 y 5.4.2

- Extracción de Media y Desviación Estándar en BDs de las posiciones de Boyas NDBC.

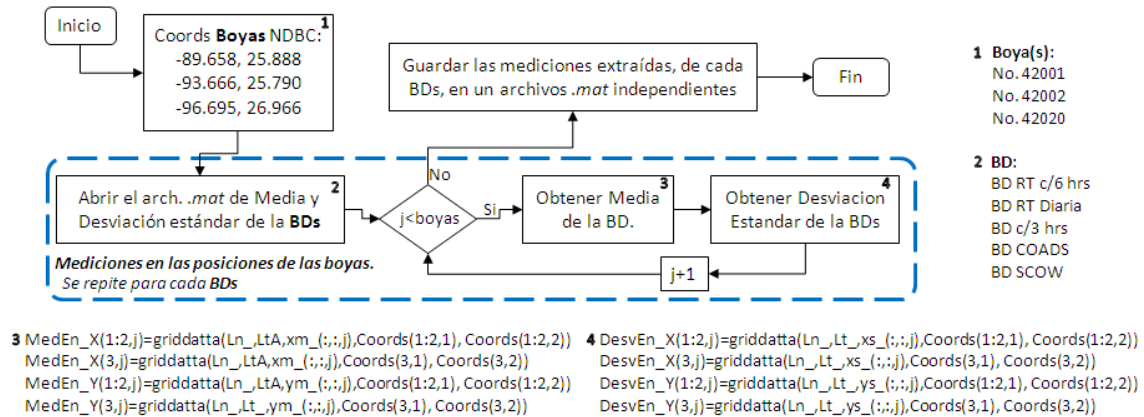


Figura 47

- Extraer las mediciones de Viento (Boyas NDBC)

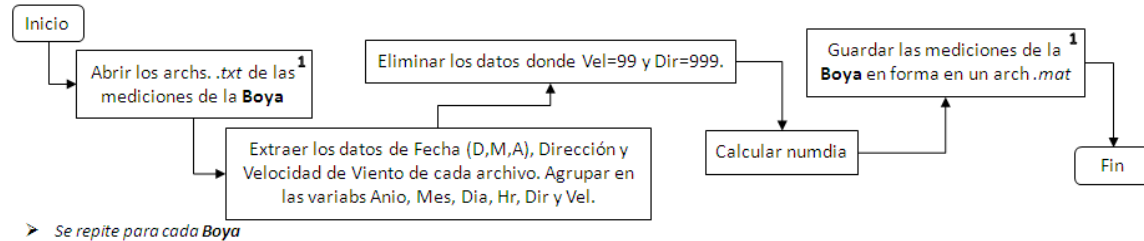


Figura 48

- Cálculo de los Componentes de Viento (Boyas NDBC)

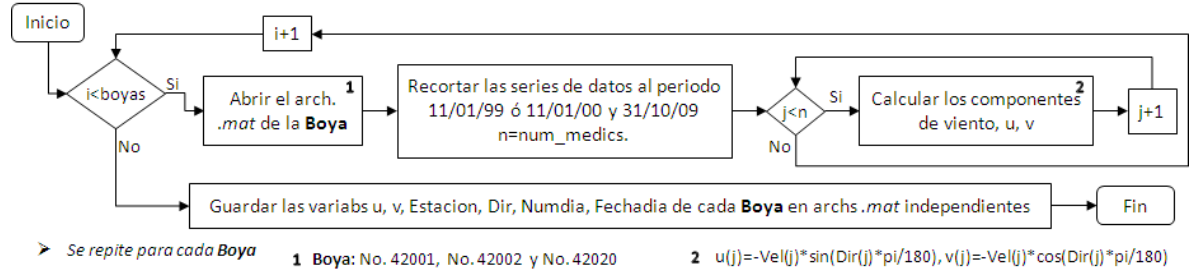


Figura 49

- Cálculo de la Media y Desviación Estándar Mensual (Boyas NDBC)

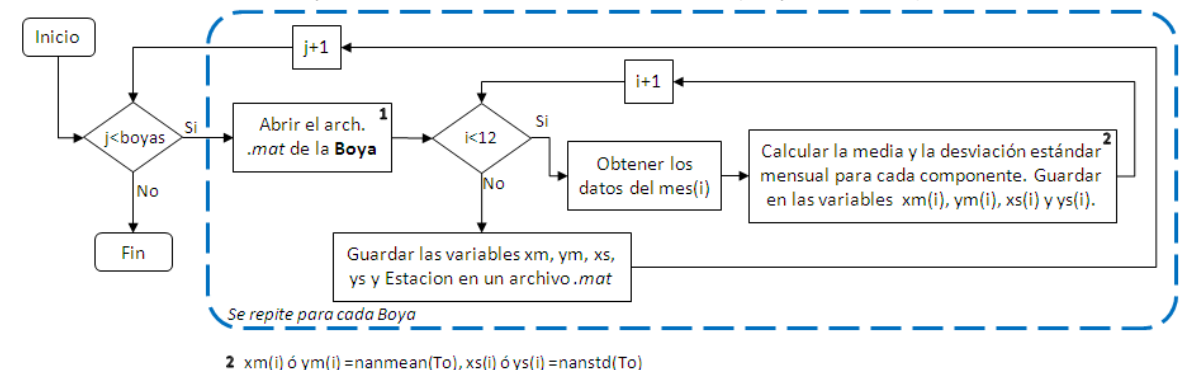


Figura 50

• Gráficas de la Media y Desviación Estándar Mensual (Boyas NDBC)

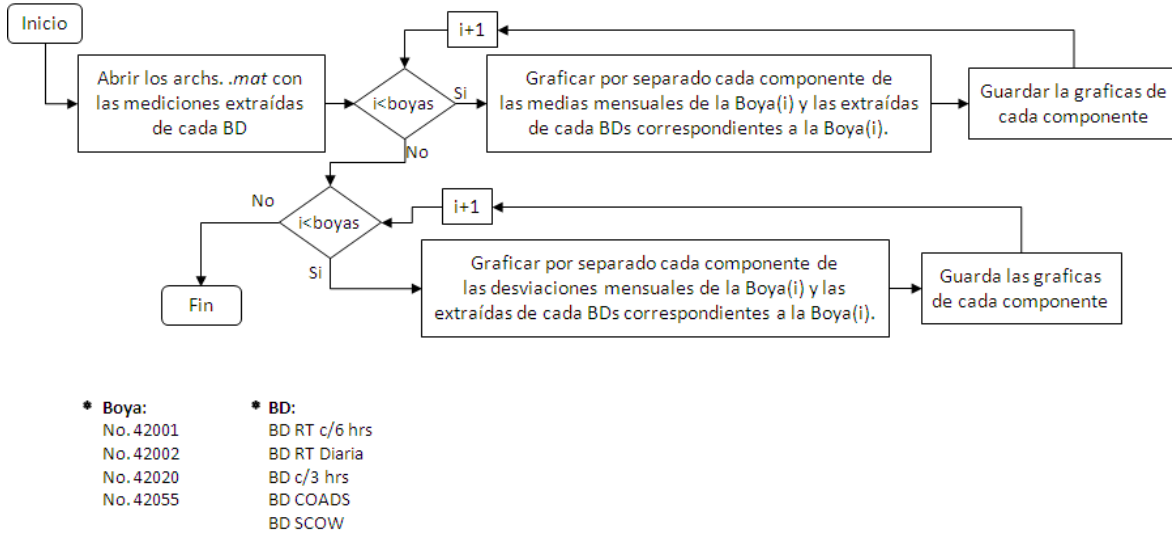


Figura 51

Sección 5.4.3

Correlación y Fase entre las BDs y las Boyas NDBC.

• Extracción de las mediciones en BDs de las posiciones de EMs.

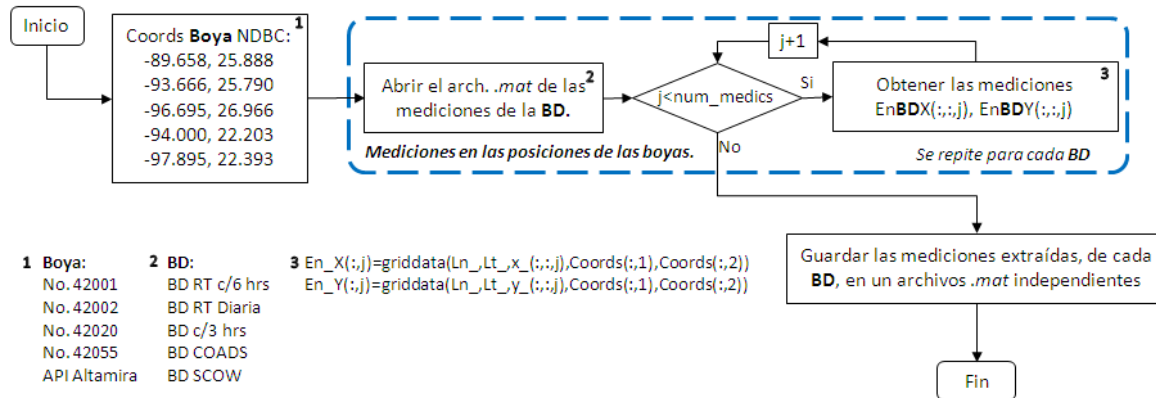


Figura 52

• Rellenado de huecos (EMs).

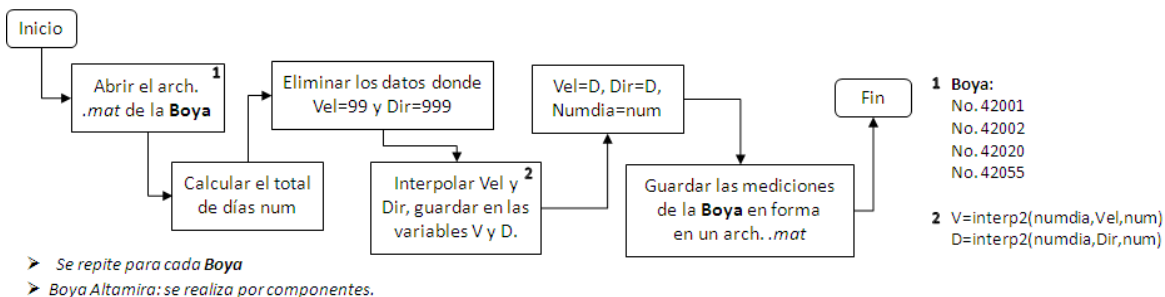
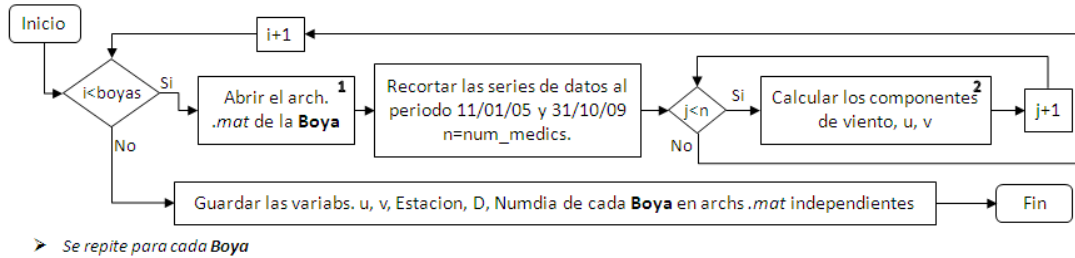


Figura 53



• Calculo de los Componentes de Viento (EMs)



**1** Boya:  
 No. 42001  
 No. 42002  
 No. 42020  
 No. 42055

**2**  $u(j) = -Vel(j) * \sin(Dir(j) * \pi / 180)$   
 $v(j) = -Vel(j) * \cos(Dir(j) * \pi / 180)$

Figura 54

• Convertir mediciones a RT c/3 hrs, c/6 hrs y Diaria (EMs).

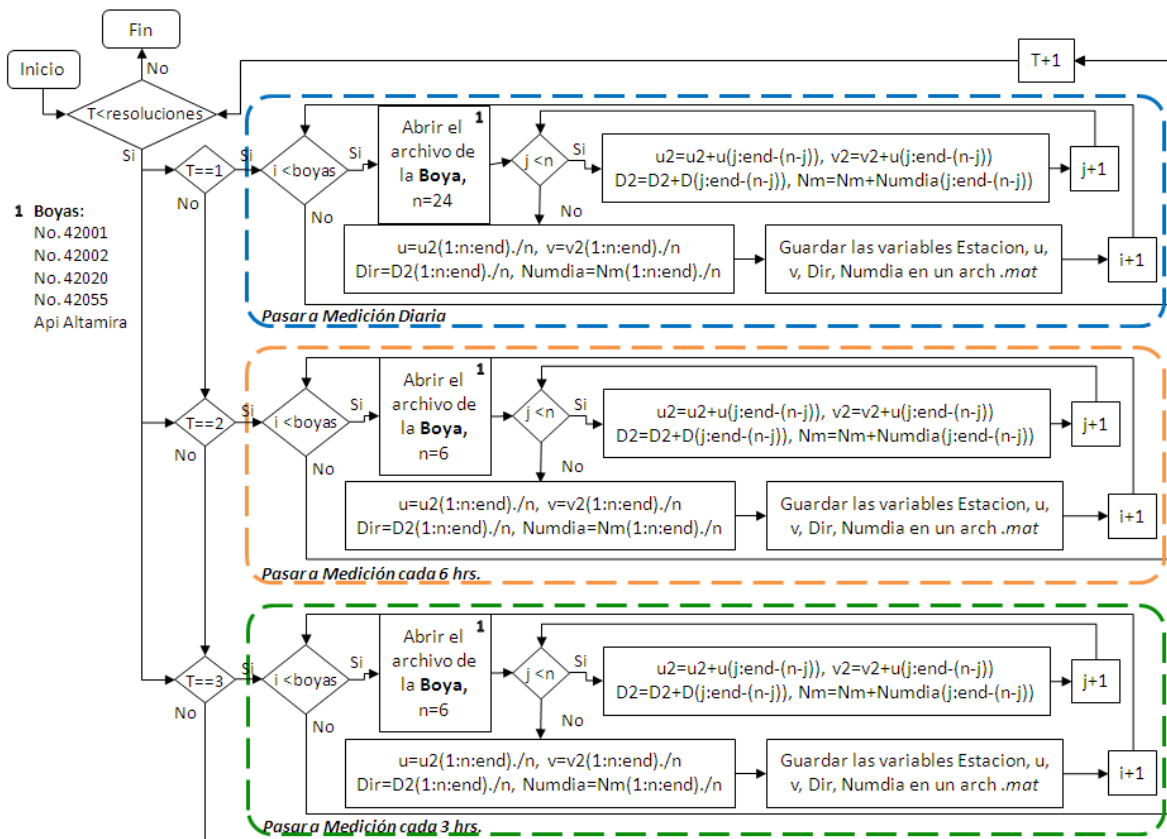


Figura 55

- Cálculo de la Correlación y Fase entre BDs y EMS<sub>1</sub>.

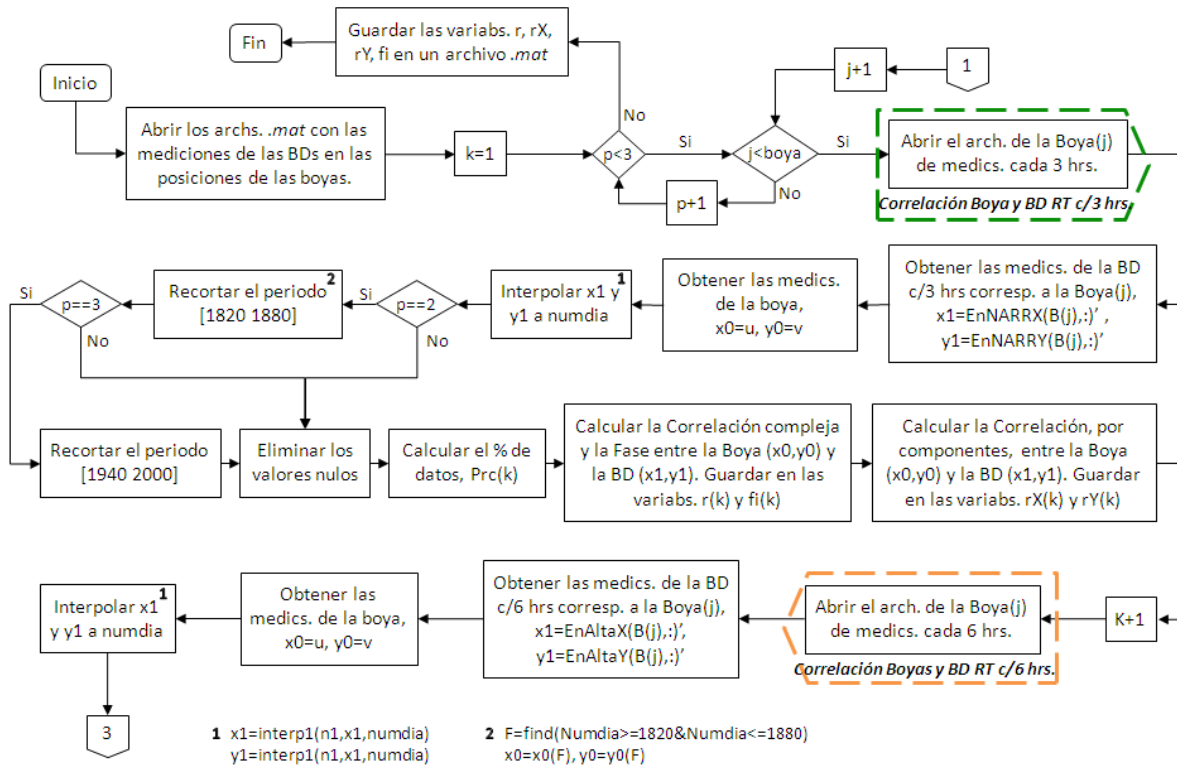


Figura 56

- Cálculo de la Correlación y Fase entre BDs y EMS<sub>2</sub>.

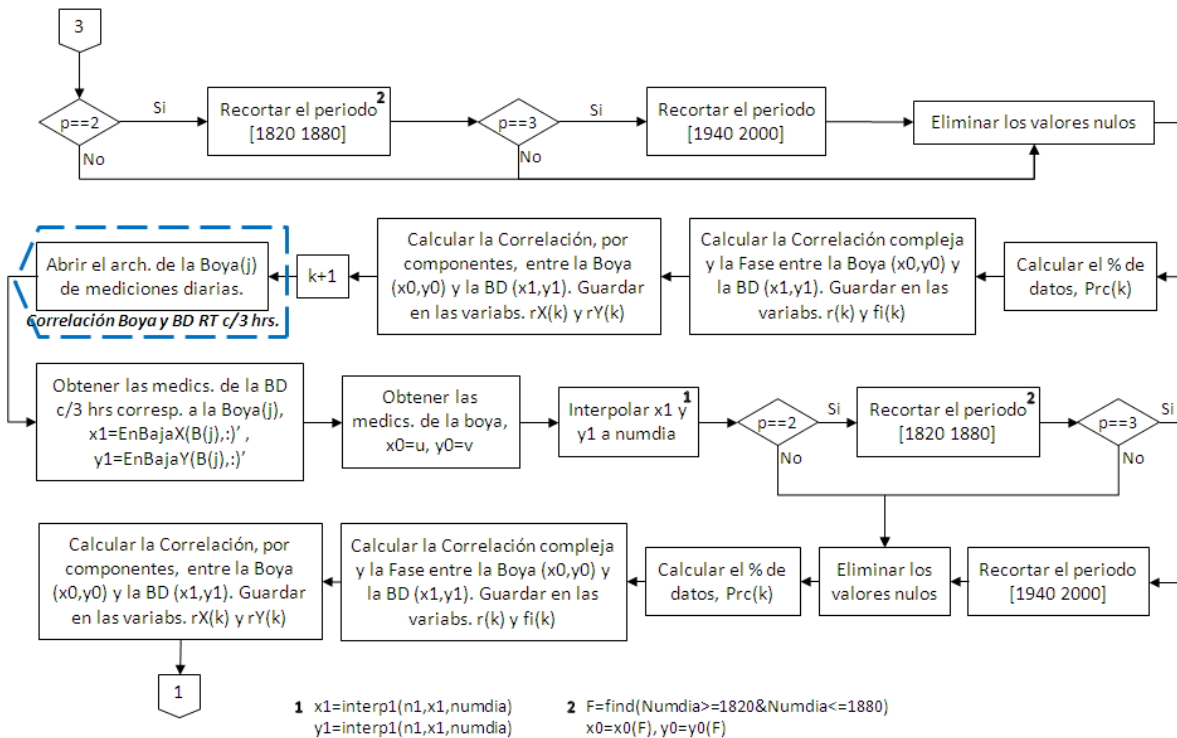


Figura 57

## **BIBLIOGRAFÍA.**

Burk, S. D., y W. T. Thompson, 1996: The summertime low-level jet and marine boundary layer structure along the California coast. *Mon. Wea. Rev.*, 124, 668–686.

Chávez, S. G., 1986: *Elementos de Oceanografía*. CECSA, México. 256 pp.

Da Silva, A., A. C. Young, y S. Levitus, 1994: *Atlas of Surface Marine Data 1994, Volumen 1: Algorithms and Procedures*. NOAA Atlas NESDIS 6. U.S. Gov. Printing Office, Wash., D.C., 83 pp.

Gómez, R.M., y coautores, 2002: Seguimiento de nortes en el litoral del Golfo de México en la temporada 1999-2000. *Revista Geográfica*, 131, 5-20.

González, D.C, 2009: *Navegando en la Atmósfera, Meteorología Aeronáutica*. Instituto Politécnico Nacional, México, D. F. 214 pp.

Gutierrez de Velasco, G., y C. D. Winant, 1996: Seasonal patterns of wind stress and winds stress curl over the Gulf of Mexico. *J. Geophys. Res.*, 101 (C8), 18127–18140.

Jáuregui, E., 1975: Los sistemas de tiempo en el Golfo de México y su vecindad. *Bol. Inst. Geogr. UNAM*, 6, 7-36.

Kite- Powel, H., 2008: Benefits to Maritime Commerce from Ocean Surface Vector Wind Observations and Forecasts. *Ocean Surface Vector Winds & Maritime Commerce*, 15 pp.

Kalnay, E., y coautores, 1996: The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-471.

Kistler, R., y coautores, 2001: The NCEP-NCAR 50-Year Reanalysis: Monthly means CD-ROM and documentation. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 82, 247-267.

Kanamitsu, M., y coautores, 2002: NCEP/DOE AMIPII Reanalysis (R-2). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 83, 1631-1643.

Kundu, P. K., 1976: Ekman Veering Observed near Ocean Bottom. *J. Phys. Oceanogr.*, 6, 238-242.

Lopez, M. J., 2009: Análisis del evento meteorológico del 2007 relacionado con la inundación de Tabasco. Tesis de Maestría, Centro de Ciencias de la Atmosfera-UNAM. 117 pp.

Martinez-López, B., y J. Zavala-Hidalgo, 2009: Seasonal and interannual variability of cross-shelf transports of chlorophyll in the Gulf of Mexico. *J. Mar. Sys.*, 77, 1-20.

Mesinger, F., G. DiMego, E. Kalnay, K. Mitchell, P. C. Shafran, W. Ebisuzaki, D. Jović, J. Woollen, E. Rogers, E. H. Berbery, M. B. Ek, Y. Fan, R. Grumbine, W. Higgins, H. Li, Y. Lin, G. Manikin, D. Parrish, y W. Shi, 2006: North American Regional Reanalysis. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 87, 343-360.

Monreal, M. A. y D. A. Salas, 1997: Circulación y estructura termohalina del Golfo de México. En: *Contribuciones a la Oceanografía Física en México*. M. F. Lavín-Peregrina (Ed.), Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana. pp 183–199.

Morey, S. L., J. O'Brien, J. y J. Zavala-Hidalgo, 2005: The seasonal variability of continental shelf circulation in the northern and western Gulf of Mexico From a high-resolution numerical model. En: *Circulation in the Gulf of Mexico, Observations and Models*. W. Sturges y A. Lugo-Fernandez (Eds), Geophysical Monograph 161, Amer. Geophys. Union, EUA. pp 203–218.

Perlin, N., R. M. Samelson, y D. B. Chelton, 2004: Scatterometer and model wind and wind stress in the Oregon-northern California coastal zone. *Mon. Wea. Rev.*, 132, 2110-2129.

Penven, P., Marchesiello P., Debreu L., y J. Lefèvre, 2007: Software tools for pre- and post- processing of oceanic regional simulations. *Environm. Model. Softw.*, 22, 117-122.

Quiroga-Goode, G., Montante S., Rodríguez J., y T. Lambert, 2011: Marginal Winds Leading to Competitive Rates: a Case Study in Southern Tamaulipas. *Wind Engineering*, 35 (2), 111-126.

Ramírez, E. A., 2007: Climatología y eventos extremos del oleaje en la costa Tamaulipeca. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería-Universidad Autónoma de Tamaulipas.

Reyes Coca, S., 2001: Introducción a la Meteorología. UABC. Mexicali, B.C., México. 428 pp.

Reynolds, R. W., T. M. Smith, C. Liu, D. B. Chelton, K. S. Casey y M. G. Schlax, 2007: Daily high-resolution blended analyses for sea surface temperature. *J. Climate*, 20, 5473-5496.

Risien, C. M., y D. B. Chelton, 2008: A global climatology of surface wind and wind stress fields from eight years of QuikSCATscatterometer data. *J. Phys. Oceanogr.*, 38, 2379-2413.

Rivas, D., R. Mancilla-Rojas, E. García-Mendoza, y A. Almazán-Becerril, 2010: Lagrangian circulation in Todos Santos Bay and Baja California during Spring 2007: Exploratory experiments. En: *The Ocean, the Wine and the Valley: The Lives of Antoine Badan*. E. Pavía, Sheinbaum, y J. Candela (Eds.), CICESE. México. pp 173–201.

Rivas, D., y R.M. Samelson, 2011: A numerical modeling study of the upwelling source waters along the Oregon coast during 2005. *J. Phys. Oceanogr.*, 41, 88-112.

Ruiz Barradas, A., A. Tejeda Martínez, S. Miranda A., y R. Flores Z., 2010: Climatología. En: *Atlas del Patrimonio Natural, Histórico y Cultural de Veracruz*, Vol. 1, Recursos Naturales. G. Benítez Badillo y C. Welsh Rodríguez (Eds.), Gobierno del Estado de Veracruz y Universidad Veracruzana. pp 65–84.

Sheinbaum, J., J. Zavala y J. Candela, 1997: Modelación numérica del Golfo de México y Mar Caribe. En: *Contribuciones a la Oceanografía Física en México*. M. F. Lavín-Peregrina (Ed.), Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana. pp 243-264.

Sturges, W., y J.P. Blaha, 1976: A western boundary current in the Gulf of Mexico. *Science*, 192 (4237), 367-369.

Tapanes, J. J., y F. González Goya, 1980: Hidrometeorología del Golfo de México y Banco de Campeche. *Geofis. Int.*, 19 (4), 335-354.

Venegas, R. M., P. T. Strub, E. Beier, R. Letelier, A. C. Thomas, T. Cowles, C. James, L. Soto-Mardones, y C. Cabrera, 2008: Satellite-derived variability in chlorophyll, wind stress, sea surface height, and temperature in the northern California Current System. *J. Geophys. Res.*, 113, C03015, doi:10.1029/2007/2007JC004481.

Vogelzang, J., A. Stoffelen, A. Verhoef, y J. Figa-Saldaña, 2011: On the quality of high-resolution scatterometer winds. *J. Geophys. Res.*, 116, C10033, doi: 10.1029/2010JC006640.

Woodruff, S. D., R. J. Slutz, R. L. Jenne, y P. M. Steurer, 1987: A comprehensive ocean-atmosphere data set. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 68, 1239-1250.