

**MONITOREO SATELITAL DE LA SUPERFICIE DEL
OCÉANO Y SU APLICACIÓN EN CRUCEROS
OCEANOGRÁFICOS**

por

Carlos Eduardo Cabrera Ramos

TESIS
que para cubrir los
requisitos necesarios para obtener el grado de

Maestría en Ingeniería

con especialidad en

Computación

en la

Facultad de Ingeniería

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
campus
Ensenada



Comité de Tesis

Dr. Emilio Beier, Director de tesis

Dr. Miguel F. Lavín

M.I. Luz Evelia López Chico

Ensenada, B.C. a 16 de diciembre del 2005

La presentación de Carlos Eduardo Cabrera Ramos es aprobada por:

Dr. Emilio Beier

Director



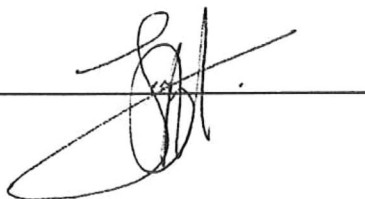
Dr. Miguel F. Lavín

Sinodal



M.I. Luz Evelia López Chico

Sinodal



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Diciembre 16 del 2005

**MONITOREO SATELITAL DE LA SUPERFICIE DEL
OCÉANO Y SU APLICACIÓN EN CRUCEROS
OCEANOGRÁFICOS**

Copyright ©2005

por

Carlos Eduardo Cabrera Ramos

Resumen

MONITOREO SATELITAL DE LA SUPERFICIE DEL OCÉANO Y SU APLICACIÓN EN CRUCEROS OCEANOGRÁFICOS

por

Carlos Eduardo Cabrera Ramos

Maestría en Ingeniería con especialidad en Computación

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Se presenta una aplicación computacional de adquisición automática de observaciones satelitales en tiempo real. El conjunto de datos se utiliza durante la realización de cruceros oceanográficos para determinar los lugares del área muestreada donde se encuentra la mayor variabilidad. De esta manera se puede modificar durante el curso del crucero la posición de las estaciones oceanográficas o el lugar de lanzamiento de los derivadores previamente elegidos y de esta manera mejorar la calidad de las observaciones. La aplicación se ejecuta desde una computadora personal estándar sin más requerimiento que disponer de acceso a Internet. Las variables satelitales colectadas son: esfuerzo del viento, anomalías del nivel del mar a lo largo de la trayectoria del satélite, temperatura superficial del mar, concentración de clorofila, coeficiente de atenuación difusa, y posición de boyas de deriva seguidas por satélite. La aplicación también permite el procesado de los campos adquiridos para su almacenamiento en un banco de datos o para mejorar la interpretación de las condiciones oceanográficas durante el desarrollo del crucero. Este procesado incluye el análisis estadístico estándar (análisis armónico y funciones empíricas ortogonales). La aplicación ya ha sido utilizada en cuatro cruceros oceanográficos en el Pacífico adyacente a México y en el Golfo de California.

Resumen

MONITOREO SATELITAL DE LA SUPERFICIE DEL OCÉANO Y SU APLICACIÓN EN CRUCEROS OCEANOGRÁFICOS

por

Carlos Eduardo Cabrera Ramos

Maestría en Ingeniería con especialidad en Computación

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



Dr. Emilio Beier
Resumen aprobado por el
Director del Comité de Tesis

Dedicatoria

IN MEMORIAM

David Cabrera Buelna

(1932-2003)

a mi familia,

mi mamá

Juanita,

mis hermanas

Lorena, Denisse y Zulman

mis sobrinos

Elizabeth, Karla, Elías, Nehemías, Natalia, Abraham, Jacqueline

y al angelito que Dios envió a mi vida,
mi hija Nataly Alondra que siempre me hace feliz.

Y al ser más importante en la vida de todo ser humano, a Dios quien da la vida,
el Rey de los Siglos, inmortal e invisible, el único y sabio Dios,
que pone en nosotros el querer, así como el hacer y nos regala inteligencia y ciencia.

El hombre encuentra a Dios, detrás de cada puerta que la ciencia logra abrir. A. Einstein.

Contenido

Lista de Figuras	vii
Lista de Tablas	ix
I INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES	1
1 Introducción	2
1.1 Introducción y Antecedentes	2
1.1.1 Introducción	2
1.1.2 Antecedentes	3
1.1.2.1 ORBIMAGE	3
1.1.2.2 CATSAT	4
1.2 Planteamiento del Problema	5
1.3 Objetivos	5
1.4 Importancia del Estudio	6
1.5 Limitaciones del estudio	6
2 Metodología	7
2.1 Introducción	7
2.2 Sujetos	7
2.3 Materiales y Métodos	8
2.4 Procedimientos	8
II PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES	10
3 Datos de Satélite	11
3.1 Introducción	11
3.2 Variables Oceanográficas	11
3.2.1 GOES: Temperatura superficial del mar (SST)	11
3.2.1.1 Adquisición de los datos	12
3.2.1.2 Cobertura y formato	12
3.2.1.3 Convenciones en el nombre del archivo	12
3.2.1.4 Algoritmo	13
3.2.2 Jason-1: Anomalías de la altura del nivel del mar	14
3.2.2.1 Introducción	14
3.2.2.2 Anomalías del nivel del mar	14

3.2.2.3	Formato de los datos	15
3.2.3	QuikSCAT: Esfuerzo superficial del viento	16
3.2.3.1	Introducción	16
3.2.3.2	Resumen de parámetros	17
3.2.3.3	Teoría de medición del viento	17
3.2.3.4	Geometría de la medición del instrumento	17
3.2.3.5	Características de los datos	18
3.2.3.6	Algoritmos utilizados	18
3.2.3.7	Pasos en el procesamiento	19
3.2.3.8	Fuentes de error	19
3.2.3.9	Limitaciones de los datos	20
3.2.3.10	Convención en la dirección del viento	20
3.2.3.11	Disponibilidad de los productos	20
3.2.4	Aqua-MODIS: Temperatura superficial del mar, clorofila, coeficiente de atenuación difusa	21
3.2.5	Datos de derivadores ARGOS	22
4	Sistema de Monitoreo del Océano en Tiempo Real	24
4.1	Introducción	24
4.2	Lenguaje de desarrollo	24
4.2.1	Toolbox M_map	25
4.3	Calendarización	25
4.4	Diagramas de flujo de procesos de adquisición de datos de satélite	26
4.4.1	Adquisición de los Datos ARGOS (derivadores)	26
4.4.2	Adquisición de la Temperatura Superficial del Mar de GOES-NOAA	28
4.4.3	Adquisición de la Temperatura Superficial del Mar de MODISA-NASA	28
4.4.4	Adquisición de la Concentración de Clorofila de MODISA-NASA	28
4.4.5	Adquisición del Coeficiente de Atenuación Difusa de MODISA-NASA	28
4.4.6	Adquisición del Esfuerzo Superficial del Viento de QuikScat-NASA	32
4.5	Diagramación del flujo de procesos	32
4.5.1	Análisis de derivadores	32
4.5.2	Visualización de la temperatura superficial GOES	37
4.5.3	Visualización de la temperatura superficial (MODIS)	37
4.5.4	Visualización de la concentración de clorofila (MODIS)	40
4.5.5	Visualización del coeficiente de atenuación difusa (MODIS)	40
4.5.6	Adquisición y visualización de los datos de altimetría de Jason-1	40
4.6	Programas utilitarios en la programación	48
III	RESULTADOS Y CONCLUSIONES	50
5	Resultados	51
5.1	Introducción	51
5.2	NAME II	51
5.2.1	Objetivos	57
5.2.2	Resultados	57
5.3	PROCOMEX II	57
5.3.1	Objetivos	59
5.3.2	Resultados	59
6	Conclusiones	60
6.1	Futuro	60

Referencias	62
IV APÉNDICES	64
A Oceanografía Física: una perspectiva histórica	65
A.1 Introducción	65
A.2 Expediciones oceanográficas históricas	66
A.2.1 Edmund Halley (1657-1742)	66
A.2.2 James Cook (1728-1779)	66
A.2.3 Francois Peron (1775-1810)	66
A.2.4 Ivan F. Kruzenstein (1770-1846)	66
A.2.5 William Scoresby (1789-1857)	66
A.2.6 H. M. S. Challenger (1872-1876)	67
A.3 Análisis y Visualización: Antecedentes Históricos	68
A.3.1 Introducción	68
A.3.2 Perspectiva histórica: Cronología de Técnicas	69
B Buque Oceanográfico Francisco de Ulloa	71
B.1 Características principales	71
B.2 Equipo de navegación y comunicación	72
B.3 Winches oceanográficos y marco 'A' de popa	73
B.4 Equipo científico	73
B.5 Facilidades en laboratorios	74
C NASA	75
C.1 Jet Propulsion Laboratory	75
C.2 PO.DAAC	76
C.2.1 Costo de los datos	77
D ARGOS "CLS" (Colección-Localización-Servicios)	78
D.1 Introducción	78
D.2 Localización y colección de datos	78
D.2.0.1 Productos y servicios	79
D.2.0.2 Nuevos servicios de CLS	79
E Definición de términos	81
F MatLab	88

Lista de Figuras

4.1	Diagrama cronológico de eventos calendarizados durante el día, para el proceso de la adquisición de imágenes de satélite y el análisis y visualización de las mismas.	26
4.2	Diagrama de flujo para el proceso de adquisición de los datos de los derivadores Argos.	27
4.3	Diagrama de flujo del proceso de adquisición de los datos de la temperatura superficial del mar de NOAA de los satélites GOES.	29
4.4	Diagrama de flujo para la adquisición de la temperatura superficial del mar del sensor MODIS a bordo del satélite Aqua.	30
4.5	Diagrama de flujo para la adquisición de la concentración de clorofila del sensor MODIS a bordo del satélite Aqua.	31
4.6	Diagrama de flujo para la adquisición del coeficiente de atenuación difusa K ₄₉₀ del sensor MODIS a bordo del satélite Aqua.	33
4.7	Diagrama de flujo para la adquisición de los datos del esfuerzo superficial del viento de QuikSCAT.	34
4.8	Diagrama de flujo para el proceso de análisis de los derivadores Argos.	36
4.9	Diagrama de flujo para la visualización de los datos de satélite de la temperatura superficial del mar de GOES, esfuerzo superficial del viento de QuikSCAT, y derivadores Argos.	38
4.10	Diagrama de flujo para visualización de los datos de satélite de la temperatura superficial del mar de MODIS, esfuerzo superficial del viento de QuikSCAT, y derivadores Argos.	39
4.11	Diagrama de flujo para visualización de los datos de satélite de clorofila de MODIS, esfuerzo superficial del viento de QuikSCAT, y derivadores Argos.	41
4.12	Diagrama de flujo para visualización de los datos de satélite de coeficiente de atenuación difusa de MODIS, esfuerzo superficial del viento de QuikSCAT, y derivadores Argos.	42
4.13	Diagrama de flujo para la adquisición de los datos producidos por el satélite Jason-1 y adquiridos cercano al tiempo real a través del sitio de PO.DAAC.	44
4.14	Diagrama de flujo para la lectura de los datos de los archivos "JA1_NRTSSHA_CCC.PPP" que crea el satélite Jason-1.	45
4.15	Diagrama de flujo para el proceso de visualización de los datos de anomalía del nivel del mar.	47
5.1	Plan de crucero original, programado desde tierra para el período del muestreo en el B/O Francisco de Ulloa.	52
5.2	Derivador que mostraba un giro ciclónico en la Bahía de La Paz durante el desarrollo del crucero NAME II.	53
5.3	Así quedó el plan de crucero del proyecto NAME II al final del experimento, usando el sistema de monitoreo del océano.	54
5.4	Esta imagen muestra los giros en la clorofila en la región central del Golfo de California.	55
5.5	Esta imagen muestra la persistencia de los giros mostrados en la clorofila en la región central del Golfo de California y por el cual se trazo una nueva línea de muestreo de sur a norte para medir el giro.	56

5.6	Imagen de satélite obtenida el día 17 de junio del 2005, para localizar el punto en donde lanzar los derivadores durante el crucero PROCOMEX.	58
E.1	Diagrama que muestra formas de circulación ciclónica y anticiclónica.	81
E.2	Algunos de los diferentes tipos de boyas de deriva.	82
E.3	Registros de marea que muestra una señal prácticamente semidiurna en San Felipe B.C. (SNF). Señal diurna en Santa Rosalía B.C.S. (STR). Marea mixta con dominancia diurna, Loreto B.C.S. (LTO) y marea mixta con dominancia semidiurna, La Paz B.C.S. (LPZ).	85
E.4	Perfil del fondo marino con sus rasgos más característicos.	86

Lista de Tablas

3.1	Detalles por zonas de la imagen de temperatura superficial del mar adquirida por NOAA-GOES.	12
3.2	Descripción de las variables por registro para las pasadas para Jason-1 y Topex/Poseidon NRT-SSHA	16
3.3	Descripción de los campos de los datos de QuikSCAT en el formato HDF.	18
3.4	Resumen de los parametros de escalamiento para los datos de Nivel 3 de Aqua-MODIS.	21
4.1	Programas auxiliares utilizados en la automatizacion.	48

Agradecimientos

Al Dr Emilio Beier por la dirección de este trabajo. Gracias a su dominio de la programación en MatLab, su amplia visión en cómputo y conocimientos en altimetría y oceanografía fortalecieron lo innovador y genuino de este trabajo.

Al Dr Miguel Lavín por el apoyo brindado, por su ingenio y conocimiento este desarrollo fue creciendo y sin pensarlo se transformó en mi tema de tesis.

A la M.C. Luz Evelia López Chico por ser miembro del comité y por las aportaciones hechas al escrito.

A los maestros que nos impartieron cursos durante la maestría.

A los coordinadores MC Juan de Dios y Dr Horacio Martínez que dedicaron su tiempo a mantenernos informados y estar al pendiente de las inscripciones cada semestre.

A los compañeros de la generación que nos miramos un par de años: Fabian, Colorado, Toño, Roberto.

Al grupo de Circulación y Dispersión Costera (CIRCOS) del Depto de Oceanografía Física que colaboran en el lanzamiento y rescate de los derivadores: A. Amador, V. Godinez, A. Ocampo, R. Ramírez.

A las agencias espaciales NASA y NOAA que gracias a las inversiones millonarias en desarrollo tecnológico, hacen posible el tener a disposición del dominio público la información que es la espina dorsal de este trabajo.

Créditos:

Imágenes MODIS: Facilitadas por el Proyecto SeaWiFS, NASA/Goddard Space Flight Center y ORBIMAGE

Las imágenes de esfuerzo del viento y datos de nivel del mar fueron obtenidos del sitio FTP en internet po-daac.jpl.nasa.gov administrado por NASA Physical Oceanography Distributed Active Archive Center (PO.DAAC), en NASA Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA.

Las imágenes GOES del programa NOAA CoastWatch son facilitadas por el National Environmental Satellite Data Information Service (NESDIS) a través del sitio sgiot2.ssd.nesdis.noaa.gov.

Este trabajo es un producto de los siguientes proyectos: (a) Patrones de circulación superficial en el Golfo de California (CONACYT D41881 F), (b) The Role of Oceanic Processes on the Gulf of California SST evolution during the NAME (NOAA), y (c) Dinámica termodinámica y producción primaria de la Corriente Costera Mexicana (SEP-2003-C02-42941/A-1).

Parte I

**INTRODUCCIÓN Y
ANTECEDENTES**

Capítulo 1

Introducción

1.1 Introducción y Antecedentes

1.1.1 Introducción

Esta disertación está inspirada en el trabajo científico, técnico y experimental que se desarrolla en el Grupo de Circulación y Dispersión Costera, del Departamento de Oceanografía Física¹ del Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, CICESE².

El uso de las herramientas computacionales tienen un papel muy importante en el ámbito científico y tecnológico actual. El procesamiento y la presentación numérica de datos ayuda a la tarea científica de la interpretación de fenómenos físicos que ocurren en la naturaleza, así como también en la predicción o pronóstico de eventos naturales por ocurrir.

Sin embargo, con el “boom” o la explosión en la adquisición de datos globales a través de modernos satélites, se incrementó la cantidad de datos adquiridos, y también la rapidez en la evaluación de escenarios y la toma de decisiones. De esta manera, con la asimilación de datos globales cercanos al tiempo real podemos obtener información acerca del clima oceánico a partir de variables como la temperatura superficial del mar, el esfuerzo del viento superficial, concentración de clorofila, el color del océano, el coeficiente de atenuación difusa, la altura del nivel del mar, y la radiación solar. En un futuro próximo se tendrán las primeras distribuciones globales de salinidad. Esto permite hacer evaluaciones de las condiciones del océano al momento y tomar decisiones en áreas específicas e importantes, como cambiar rutas de embarcaciones, ayuda en la protección civil, guardia costera, evacuaciones, etc.

Esta nueva forma de obtener información y de observar el océano, está revolucionando en específico las formas tradicionales del arte de pesca comercial, pesca deportiva, y el desarrollo de cruceros científicos

¹<http://oceanografia.cicese.mx>

²<http://www.cicese.mx>

para obtener datos *in situ*.

Este trabajo se desarrolla en el área de los cruceros oceanográficos, logrando una unión entre datos de satélite, cómputo científico, la tecnología de la información, recursos limitados de comunicación tierra-barco, personal científico y técnico para llevar a cabo la tarea de obtener el mayor beneficio en la calidad de los datos obtenidos durante el desarrollo de un crucero de investigación oceanográfica a un bajo costo.

1.1.2 Antecedentes

El uso de las imágenes de satélite para guiar una embarcación tiene cerca de una década en operación. A finales del siglo pasado ya se había brindado bastante importancia a este innovador servicio, aplicándose principalmente a embarcaciones pesqueras, con precios altos de acceso a esta información y además con requerimientos de comunicación también costosos.

Existen dos grandes compañías que ofrecen servicios de monitoreo del clima ORBIMAGE y CAT-SAT. Estas compañías ofrecen sus servicios principalmente a embarcaciones pesqueras. Daremos una breve descripción en las siguientes secciones.

1.1.2.1 ORBIMAGE

Desde 1997 ORBIMAGE, tiene un servicio llamado *SeaStar Fisheries Information Service*³ el cual brinda información al sector pesquero. Estos datos contienen información acerca del plancton combinado con otras variables ambientales, pueden mejorar significativamente la eficiencia del proceso de búsqueda de áreas de pesca. Este servicio provee un complejo de más de 10 variables determinadas de diferentes satélites y modelos físicos del mar, todo en tiempo casi real. También, tienen un servicio llamado *Ocean Monitoring Service* (OMS) que provee escenas de imágenes o datos para el sector técnico/científico. Este servicio es para personas que cuentan con su propio software y quieren hacer un análisis detallado y tiene un costo de \$500.00 USD aproximadamente por cada escenario. La compañía cuenta con el apoyo técnico para producción, capacitación de usuarios, desarrollo de nuevos productos, desarrollo de nuevos servicios etc. Está integrado por un equipo de siete personas, además de un equipo de ventas. Tienen desarrollada una boya de deriva para trazar las corrientes o bien para marcar los objetos de pesca o artes de pesca. Esta boya cuenta con un sistema de comunicaciones satelitaria (Inmarsat D+) y envía reportes con su posición y la temperatura del agua. Para los barcos pesqueros el costo del servicio fluctúa de \$500 a \$2000 USD dependiendo de que clase de servicio se necesita, el tipo de barco, la región del mundo, el tamaño de su flota, la duración del contrato, etc. La compañía está en 40 países y prestan servicio a una gran cantidad de barcos. Los servicios que ofrecen a los barcos pesqueros los venden por contratos y no por escenarios [M.G. Hamman, comunicación personal].

³<http://www.orbimage.com/seastar/seastar.html>

Para los barcos pesqueros esta información es de mucha utilidad ya que les permite con todas las variables y los modelos numéricos, además de las artes de pesca, inferir los lugares donde se encuentra la concentración de la especie que están buscando. Esto repercute en el trazo de rutas óptimas, economía en el consumo de combustible, y tiempo de búsqueda de la mancha de peces, además de tener la mayor ganancia posible.

Aunque el servicio es ofrecido a embarcaciones comerciales, no es rentable para el uso de cruceros de carácter científico, por el costo de operación de dichos sistemas.

1.1.2.2 CATSAT

CATSAT se creó en 1999, al unirse Argos CLS⁴ y THALOS, para ofrecer un servicio de datos oceanográficos de a bordo que sea fácil de utilizar. CLS tiene alrededor de 40 participantes, y CATSAT 17. Para tener acceso al servicio se requiere la instalación de software a bordo del barco el cual tiene un Navegador GPS, genera animaciones, superpone distintas variables, y visualiza datos fácilmente. CATSAT envía imágenes al correo o bien al ftp. CLS puede enviar SMS (mensajes al celular) de sus servicios. El costo al día por seguir la trayectoria de un derivador es de ~\$15 dólares. También piden requerimientos de comunicación tierra-barco basados en una terminal Inmarsat B/M/EMSAT/IRIDIUM/FLEET 33,55,77 que soporta la transferencia de video, imágenes y datos.

Los satélites de observación de los océanos y la meteorología marina pueden ayudar a los pescadores a: encontrar zonas de pesca favorables, reducir los gastos de funcionamiento, mejorar la seguridad durante las operaciones de pesca, conseguir sus cuotas de manera más eficaz [<http://www.catsat.com>]. CATSAT es un servicio de distribución de datos oceanográficos de alta calidad, cuyo objetivo es ayudar a los pescadores en la localización de zonas de pesca favorables. Durante los últimos diez años, CLS ha adquirido una amplia experiencia en oceanografía espacial y su plantilla de 40 oceanógrafos ha logrado tener una fama mundial.

THALOS es una Sociedad de GEOLINK y es un líder europeo en cuanto a la ingeniería y la asesoría en comunicación satelitaria. Con una computadora y el software CATSAT instalado a bordo del buque, el pescador puede descargar datos y visualizar los mapas de los 5 tipos de datos oceanográficos disponibles (Altimetría, Temperatura, Temperatura sin cobertura nubosa, Color, Meteorología) y combinar los datos para definir las zonas favorables. Administraciones y organismos científicos también utilizan CATSAT para realizar estudios haliéuticos (comportamiento de los peces en su medio ambiente).

CATSAT proporciona datos oceanográficos adquiridos por satélite y datos de meteorología marina, entre los cuales están:

1. **Mapas de altimetría y corrientes de superficie:** Este nuevo tipo de observación, diseñado en este caso para la industria pesquera, indica la posición de los remolinos oceánicos, de los frentes y de sus

⁴Colección-Localización-Satélite <http://www.cls.fr>

corrientes asociadas, con los cuales se estima zonas de pesca.

2. **Temperatura superficial del mar:** Esta información es muy utilizada por los pescadores para localizar los frentes térmicos. Resulta muy útil para las pesquerías pelágicas.
3. **Color del océano:** El color del océano se relaciona con la concentración en fitoplancton. Los peces se alimentan en zonas ricas en fitoplancton.
4. **Temperaturas sub-superficiales:** Los mapas que proceden de los modelos de oceanografía operacional, proporcionan información sobre los niveles situados bajo la superficie hasta los 300 m de profundidad. Estos mapas se usan mucho por los barcos palangreros para sumergir las redes de pesca a una profundidad favorable al tipo de pez requerido.
5. **Previsiones meteorológicas:** Cada día se prevén la presión atmosférica, el viento, y la altura de las olas para los siete días siguientes. Estos datos permiten a los pescadores aumentar la seguridad y planificar mejor sus operaciones marítimas.

1.2 Planteamiento del Problema

Planear un crucero en tierra, desconociendo el clima oceánico por ocurrir ha llevado y llevará a errores propios del diseño del muestro, en general caros. Por un lado está el invertir mucho dinero en la logística y desarrollo del crucero y ser pobremente remunerado con datos de calidad. Hasta hace unos años, los cruceros se desarrollaban, y finalizado el crucero se procesaban los datos. Entonces se podían comparar con las imágenes de satélite disponibles, y evaluar la calidad del muestreo realizado; surgiendo reflexiones como “si hubiéramos pasado por este giro, si hubiéramos visto este frente, etc.”. Sin embargo, dado el avance tecnológico, ahora se pueden mejorar las observaciones oceanográficas en tiempo real, mediante la previa localización de áreas donde se concentra la variabilidad usando imágenes de satélite. De esta manera, el problema que se plantea es proveer de datos que brinden una estimación global de la condición climática del área oceánica, para tomar decisiones durante el desarrollo de un crucero.

1.3 Objetivos

El objetivo general es:

1. Utilizar la tecnología satelital y la programación científica para desarrollar un producto innovador que ofrezca elementos de decisión, previos y durante un crucero científico.

2. Apoyar cruceros oceanográficos para mejorar la calidad de las observaciones. Por calidad entendemos a un conjunto de observaciones que con un mínimo de muestras tenga la mayor información sobre la varianza del sistema.

1.4 Importancia del Estudio

Este trabajo hace una contribución en la innovación del seguimiento de un crucero científico. Genera un banco de datos de distintas variables para el análisis pos-crucero. Permite hacer el seguimiento de un crucero a muy bajo costo. Y también, debido a que se plantea dos grupos científicos uno en mar y el otro en tierra, brinda la facilidad de no tener un equipo costoso de comunicación barco ↔ tierra, es decir al barco llegan las decisiones tomadas en tierra por el equipo científico vía correo electrónico.

1.5 Limitaciones del estudio

Al momento tenemos tres áreas importantes en las que estará limitado el presente trabajo:

1. Por un lado, desde el punto de vista tecnológico se verá limitado por el funcionamiento correcto del internet, y el acceso a los servidores de datos de NASA, NOAA, CLS, los servidores de correo electrónico y la comunicación tierra ↔ barco. Una estimación hecha con las cinco aplicaciones realizadas permite evaluar que esta limitante es mínima.
2. Otra limitación importante, es la cobertura de los datos. Esto es, la cantidad de datos efectivos útiles para el análisis. Ésta es una parte muy importante del monitoreo, y es en la cual se estará trabajando continuamente para tener datos con una mejor cobertura, con un mínimo de huecos.
3. Como depende de la adquisición de datos recientes, entonces también depende de la rapidez del procesamiento que se haga a los datos en las agencias y al funcionamiento de los satélites en órbita, ya que esto provoca retrasos en la adquisición de datos. Es decir el monitoreo en tiempo real está sujeto a caídas internacionales de internet (como ataques masivos de virus, de hackers, atentados terroristas, etc.) que ocasionan el cierre de sitios de internet como medidas de seguridad.

Capítulo 2

Metodología

2.1 Introducción

Se necesita el desarrollo de una aplicación computacional para la adquisición de datos de satélite para el monitoreo del clima del océano. Este trabajo de tesis desarrolla esta aplicación implementando programas, que se sincronizan con servidores de agencias espaciales para adquirir las imágenes de satélite que tienen para el dominio público. Además de realizar la adquisición de las imágenes, la programación desarrolla actividades de análisis y visualización de la información, siendo estos usados por los expertos en el área de la oceanografía física, brindando como objetivo final apoyar un crucero oceanográfico.

El nombre de esta aplicación es:

CONTROL AUTOMÁTICO DE CRUCEROS OCEANOGRÁFICOS, VERSIÓN 1.0,

y se desarrolla de principio a fin en el lenguaje de propósito general MatLabTM versión 6.5 R13 que por tener capacidades de manipulación de vectores y matrices, análisis numérico y técnicas de visualización muy eficientes, lo hacen un candidato apto para este desarrollo.

2.2 Sujetos

Se usarán las variables más importantes en el área de la escenografía física para interpretar el clima oceánico:

1. Temperatura superficial del mar (SST por sus siglas en inglés) ($^{\circ}\text{C}$).
2. Anomalía del nivel del mar (SSHA por sus siglas en inglés) (cm).
3. Esfuerzo del viento superficial (SWS por sus siglas en inglés) ($\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$).

4. Clorofila ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$).
5. Coeficiente de atenuación difusa K_{490} (m^{-1}).

Con estas variables se va generando un banco de datos conforme se están adquiriendo. La aplicación trabaja sobre datos globales, lo cual permite la operación sobre cualquier región del mundo. Luego entonces, el banco de datos generado es global, sin embargo los resultados serán por zonas de estudio de acuerdo a las necesidades del cliente.

Debido a las limitaciones de comunicación tierra-barco, y su alto costo se necesitan dos grupos de trabajo comunicados entre si:

1. Un grupo técnico/científico en el mar tomando datos in situ.
2. Un grupo científico en tierra que trata de inferir con base en datos de sensores remotos, el clima oceánico y su variabilidad a corto plazo (el del crucero).

2.3 Materiales y Métodos

El desarrollo de la aplicación se programó sobre un equipo DeLL, con las siguientes características:

1. DeLL Optiplex GX270 Pentium IV @2.8 Ghz.
2. Memoria primaria de 512 Mb (RAM).
3. Memoria secundaria de 120 Gb (HDD).
4. Monitor plano de 19 pulgadas.
5. DVD-RW.
6. Disco duro externo de 250 Gb.

Principalmente, esta computadora esta dedicada a la adquisición de datos y también al monitoreo del mar mediante la selección de la información y la generación de figuras para analizarlas. Para detalles de procesos y actividades calendarizadas ver Capítulo 4.

2.4 Procedimientos

Esta tesis es una aplicación computacional dentro de lo que se denomina Oceanografía por medio de Sensores Remotos. No sólo se trata de construir un banco de datos satelitales y su posterior uso en investigación científica y técnica, sino que se usa la información de sensores remotos como una herramienta

complementaria a un crucero oceanográfico. Para lograr ésto se requiere tener la información necesaria para analizarla, y además que sea información fiel y precisa sobre el comportamiento físico del océano. Por lo tanto, el tener una fuente de información confiable es muy importante para el proyecto. Las agencias espaciales que brindan esta información son NASA y NOAA, por su experiencia y el continuo desarrollo de nuevo métodos y artefactos espaciales, tienen una enorme colección diaria de información global de los océanos. Para más detalles ver el Apéndice C.

Parte II

**PROCEDIMIENTOS
EXPERIMENTALES**

Capítulo 3

Datos de Satélite

3.1 Introducción

En el presente capítulo describimos cada uno de los proveedores de datos de satélite para el sistema, las variables oceanográficas que ofrecen, el acceso a estos datos y describiremos detalladamente las variables de satélite en sus formatos, unidades del parámetro, resolución espacial y temporal.

La parte más importante de este trabajo depende de los datos que se obtienen a través de los servidores de las agencias como la NASA y la NOAA que son gratuitos; o los datos de los derivadores ARGOS, de los cuales CLS provee el servicio de localización y colección, sin embargo este servicio tiene un costo asociado por derivador.

En el apéndice A presentamos una descripción de los inicios de la oceanografía y sus avances. Asimismo los avances en análisis y visualización de datos.

3.2 Variables Oceanográficas

3.2.1 GOES: Temperatura superficial del mar (SST)

NOAA ha producido datos de temperatura superficial del mar (SST) basados en los satélites desde 1972. A principios de 1982, los datos infrarrojos (IR) estuvieron disponibles para proporcionar la SST más exacta ya que permitía hacer correcciones atmosféricas.

CoastWatch proporciona datos cercanos al tiempo real de SST de los satélites GOES (Geostationary Operational Environmental Satellites) y POES (Polar Orbiting Environmental Satellites) de la NOAA, así como de los satélites EOS, Aqua y Terra de la NASA. Además, CoastWatch tiene un producto experimental de SST usando datos de microondas del satélite TRMM de la NASA. A excepción de los datos de microondas

Región	Límites Geográficos	Resolución	Columnas	Renglones
East	22.00 - 46.00 N/66.00 - 98.00 W	6km	640	480
West	22.00 - 51.00 N/105.00 - 145.00 W	6km	800	580
South	9.00 32.00 N/75.00 - 99.00 W	6km	480	460
Caribbean	7.00 - 30.00 N/58.00 - 80.00 W	6km	500	460
Great Lakes	38.00 - 51.00 N/75.00 - 95.00 W	6km	400	260
Alaska	48.00 - 60.00 N/115.00 - 150 W	6km	700	240
Hawaii	10.00 - 40.00 N/145.00 - 180.00 W	6km	700	600

Table 3.1: Detalles por zonas de la imagen de temperatura superficial del mar adquirida por NOAA-GOES.

de SST, los productos de CoastWatch se producen a alta resolución espacial para las aguas costeras de los Estados Unidos. Cada producto tiene características únicas dependientes del sensor y el algoritmo aplicado.

3.2.1.1 Adquisición de los datos

NOAA CoastWatch proporciona los productos de la temperatura superficial del mar (SST) derivados de los satélites GOES de la NOAA. Estos productos son creados combinando tres imágenes separadas, creadas cada hora y reteniendo el valor de SST más reciente. Por lo tanto, las imágenes cercanas al tiempo real se actualizan cada tres horas. Estas imágenes son las que se utilizan dentro de la automatización cuando está en proceso un crucero.

El siguiente encabezado es el que se encuentra en los datos de SST de GOES:

Product Type: Sea Surface Temperature

Satellite: GOES-8, GOES-10, or GOES-12

Resolution (Res:): 6 km – the geographic size of each pixel in the image

Date and Time: A 'Day of Year' and MM/DD/YY and time period over which images were composited.

Method of creation: 3-hour composite

3.2.1.2 Cobertura y formato

Los datos de GOES-SST están disponibles en varios formatos, y mapeados geográficamente en formatos Binario y GeoTiffs o proyección cilíndrica equidistante en formato GIF. La precisión espacial está dentro del margen de 1.5 km. Los productos son definidos por regiones geográficas como se muestra en la Tabla 3.1.

3.2.1.3 Convenciones en el nombre del archivo

Los nombres de los archivos contienen cierta información del producto. Un nombre típico es:

2000_286_32E.gif

YYYY_DDD_PTR.EXT

donde:

YYYY: Año en que los datos fueron adquiridos, DDD: Día juliano (286 en el año 2000 es octubre 12), P: Tipo de producto, T: Código de hora del producto más reciente, R: Región y EXT: Extensión (tipo de archivo o formato).

P	Compuesto de 3	imagenes horarias
Códigos de hora	0	00:00 - 03:00
	1	03:00 - 06:00
	2	06:00 - 09:00
	3	09:00 - 12:00
	4	12:00 - 15:00
	5	15:00 - 18:00
	6	18:00 - 21:00
	7	21:00 - 24:00 (imagen de 22, 23, y 24 horas)
Región	Costa Este	E
	Costa Oeste	W
	Alaska	A
	Caribe	C
	Sur de US	S
	Grandes Lagos	L
Ext	none:	Datos binarios (8-bit)
	TIF:	GeoTiff
	GIF:	Graphics Interchange Format

3.2.1.4 Algoritmo

SST de GOES se determina aplicando un algoritmo a los datos. La información multiespectral contenida en los canales 1, 2, 4 y 5 son usados para identificar nubes, efectos del viento y otros factores los cuales pueden alterar los valores y cada satélite GOES tiene su propia ecuación de regresión.

La validación de esos algoritmos fue desarrollada comparando datos GOES-SST contra conjuntos de datos con calidad controlada como los derivadores globales y mediciones de boyas ancladas. Las comparaciones fueron realizadas con espaciamientos de una hora y cinco kilometros. Los resultados demuestran que los datos de los derivadores GOES manejan un error de 0.5° C, con una desviación estándar menor a 1 grado centigrado. Los datos binarios contienen información de 8-bits (0-255), usando el siguiente criterio:

Valor	Uso
0	espacio
1,3,5	sin uso
2	tierra donde,
4	nubes
6	brillo solar
7 - 255	SST

La ecuación de regresión para convertir los datos binarios a escala de temperatura es:

$$SST(^{\circ}K) = 270.0^{\circ}K + (0.15 * SST_{scaled}).$$

3.2.2 Jason-1: Anomalías de la altura del nivel del mar

3.2.2.1 Introducción

El satélite Jason-1 es la siguiente generación de la misión de TOPEX/POSEIDON, el cual brinda una extensa y continua serie de tiempo de mucha precisión de la topografía de la superficie oceánica, con la cual los científicos pueden determinar la circulación superficial [0 a 500 m de profundidad] general del océano y entender su papel en el clima de la tierra. Jason-1 fue lanzado el 7 de diciembre del 2001. Su primer ciclo empezó el 15 de enero del 2002, coincidiendo con el ciclo 344 de TOPEX/POSEIDON. Jason recorre la trayectoria original de Topex/Poseidon.

El satélite Jason-1 lleva un radar altímetro de frecuencia dual (POSEIDON-2), el Jason Microwave Radiometer (JMR), un sistema receptor de la trayectoria DORIS, un arreglo retroreflector laser, y un receptor GPS. Los datos son generados en JPL y distribuidos por PO.DAAC, los cuales son generados cercanos al tiempo real (NRT, por sus siglas en inglés) con un retardo de 3-5 horas de la última medición recibida por el satélite. Son generados con una combinación de un altímetro y radiómetro del Operational Sensor Data Record (OSDR), un NRT GPS, y campos de presión atmosférica de National Center for Environmental Prediction (NCEP). Los datos de Topex/Poseidon son usualmente generados con un retardo de aproximadamente 18 horas. Se pueden ocasionar retardos para determinar la órbita precisa cuando Jason-1 y T/P tienen maniobras. Esos retardos pueden ocasionar un máximo de 12 horas en la disponibilidad de los productos de Jason-1. En el caso de T/P, los productos puede que no sean generados en días.

Los productos obtenidos de Jason-1 y Topex/Poseidon de anomalía de nivel del mar cercana al tiempo real (NRT SSHA por sus siglas en inglés) no son productos validados y se les realiza un mínimo de pruebas de control de calidad (e.g. el residual de la varianza del nivel del mar), y si una pasada falla la prueba no es liberada. Los datos están organizados en archivos de pasadas del satélite para evitar tener fronteras en medio del océano, como sucedería si los datos fueran organizados por órbita. Una pasada es la mitad de una revolución de la tierra dada por el satélite desde un extremo de la latitud al extremo opuesto de la latitud. Un paso ascendente inicia en -66.15 grados y termina en +66.15 grados. El paso descendente es lo opuesto. Cada pasada representa 56 minutos de datos aproximadamente. Las pasadas ascendentes son enumeradas como impares y las descendentes como pares. Un ciclo contiene un máximo de 254 pasadas y representa la colección de datos donde la trayectoria del satélite repite exactamente cada 9.9156 días.

3.2.2.2 Anomalías del nivel del mar

Los datos de NRT SSHA proveen explícitamente la medición de la anomalía del nivel del mar. Esta altura del nivel del mar es derivada de las mediciones del altímetro en la banda-Ku, tiene corrección atmosférica (ionósfera, tropósfera seca y húmeda y el estado del mar), y por efectos geofísicos (superficie

media del mar, marea de la tierra sólida, marea oceánica y de carga, efecto del barómetro invertido).

$$\text{ssh} = (\text{orbit} - (\text{range_Ku} + \text{iono} + \text{dry} + \text{wet} + \text{ssb})) - (\text{mss} + \text{setide} + \text{otide} + \text{pole} + \text{invbar}) + \text{bias}.$$

3.2.2.3 Formato de los datos

El formato de Jason-1 y Topex/Poseidon de los productos NRT SSHA es el mismo (i.e. encabezado y longitud del registro).

Estructura del archivo Cada archivo consiste de un encabezado en ASCII seguido de un cierto número de registros binarios no mayor a 3360 por archivo. La longitud del encabezado es igual a 7 registros. Cada registro tiene una longitud de 58 bytes. Los archivos Jason-1 son etiquetados como: JA1_NRTSSHA_CCC.PPP, y los T/P como: TP_NRTSSHA_CCC.PPP, donde CCC = número del ciclo y PPP = número de pasada.

Contenido del encabezado El encabezado contiene información como la hora del procesamiento, versión, fechas de inicio y fin de los datos, número de registros, hora de cruce del ecuador y longitud, entre otros. El siguiente es un ejemplo del encabezado de una pasada de Jason-1 NRT-SSHA:

```

Producer= NASA/JPL;
Source= Jason-1;
Create_Time=2003-04-09T14:40:24.000000;
Software_Name= rtjassh;
Software_Version= 1.0;
File=JA1_NRTSSHA_046.078;
Cycle_Number=046;
Pass_Number=078;
Data_Count= 1488;
Equ_Longitude=268.59<deg>;
Equ_Time=2003-04-09T10:41:08.954004;
First_Data_Point=2003-04-09T10:35:44.131479;
Last_Data_Point=2003-04-09T11:09:15.348605;
Epoch=1958-01-01T00:00:00.000000;

```

Contenido del registro de datos El archivo está compuesto de n -registros, donde $n \leq 3360$ (n depende del número de mediciones validas del océano adquiridas por el satélite). La tabla 3.2, describe el formato de los registros para ambos Jason-1 y Topex/Poseidon NRT SSHA.

Parámetro	Definición	Tipo	Long	Unidades
time_day	Días a partir de fecha de referencia	UI	4	días
time_sec	Segundos en un día	UI	4	segundos
time_microsec	Microsegundos	UI	4	microsegundos
latitude	Latitud	SI	4	microgrados
longitude	Longitud	UI	4	microgrados
swh_ku	Altura de onda significativa	SI	2	mm
sig0_ku	Sigma 0	UI	2	10^{-2} db
wind_speed_alt	Velocidad del viento	UI	2	$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$
altitude	Altitud del satélite	UI	4	mm
range_ku	Banda Ku	UI	4	mm
mss	Superficie media del mar	SI	4	mm
iono	Corrección ionósfera	SI	2	mm
wet	Corrección tropósfera húmeda	SI	2	mm
dry	Corrección tropósfera seca	SI	2	mm
ssb	Estado del mar	SI	2	mm
setide	Marea de tierra sólida	SI	2	mm
otide	Marea del océano	SI	2	mm
pole	Marea de los polos	SI	2	mm
invbar	Corrección por barómetro invertido	SI	2	mm
ssh	Anomalia del nivel del mar	SI	2	mm
orberrmodel	corrección	SI	2	mm

Table 3.2: Descripción de las variables por registro para las pasadas para Jason-1 y Topex/Poseidon NRT-SSHA

3.2.3 QuikSCAT: Esfuerzo superficial del viento

3.2.3.1 Introducción

El conjunto de datos de esfuerzo superficial del viento consiste de una malla de valores en las componentes zonal y meridional de esfuerzo del viento, coeficientes de arrastre y tiempo dado en fracción de un día. Los datos están disponibles en Hierarchical Data Format (HDF) y existen desde julio de 1999 a la fecha, basado el procesamiento de los dos conjuntos de datos en Tang y Liu (1996) y Large y Pond (1981).

Los datos son obtenidos de QuikSCAT Level 3 y brindan una malla global de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ aproximadamente, cada malla contiene 1440 pixeles de este a oeste y 720 pixeles de sur a norte. Existen mapas separados para el paso ascendente (6 AM LST cruce del ecuador) y paso descendente (6 PM LST cruce del ecuador). Durante el día es muy poco el traslape que ocurre en las pasadas del satélite, sin embargo cuando este traslape ocurre, los valores en QuikSCAT Level 3 son encimados, no promediados. De esta manera los datos de esfuerzo del viento de QuikSCAT Level 3 contienen sólo la última medición para cada día.

También fué necesario identificar y diferenciar entre los valores nulos y las mediciones de viento las cuales son $0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Para un valor nulo de viento (datos perdidos causados ya sea por máscaras de tierra o hielo, o huecos en la cobertura) el correspondiente coeficiente de arrastre se pone en -1.0. Para vientos con velocidades igual a $0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, el coeficiente de arrastre tiende al infinito al menos con el algoritmo de Large

y Pond (1981). Para identificarlo, el valor del correspondiente coeficiente de arrastre se pone en -2.0.

3.2.3.2 Resumen de parámetros

Los siguientes parámetros están disponibles en los datos de esfuerzo del viento:

- Paso ascendente y descendente de esfuerzo del viento (componentes U y V) calculados usando los algoritmos de Tang y Liu (1996) y Large y Pond (1981).
- Paso ascendente y descendente de los coeficientes de arrastre.
- Paso ascendente y descendente de las banderas de lluvia.
- Paso ascendente y descendente de tiempo en fracción de día.

3.2.3.3 Teoría de medición del viento

Los escaterómetros transmiten pulsos de microondas a la superficie del océano y miden la potencia de la señal con que se recibe en el instrumento. Debido a que los movimientos atmosféricos por sí solos no afectan substancialmente la radiación emitida y recibida por el radar, los escaterómetros usan una técnica indirecta para medir la velocidad del viento en el océano. El esfuerzo del viento sobre el océano genera ondulaciones y pequeñas ondas, las cuales producen rugosidad sobre la superficie. Estas ondas modifican la sección de cruce (σ_0) del radar en la superficie del mar y de aquí también la magnitud de la potencia recibida por el radar. La función del modelo QSCAT-1 fue usada para obtener los datos de viento de SeaWinds con QuikSCAT.

El instrumento SeaWinds es un radar de microondas a bordo del satélite QuikSCAT. El producto geofísico obtenido de las observaciones de QuikSCAT es el equivalente de vientos neutrales a 10 m de altura (Liu y Tang, 1996), del cual el esfuerzo superficial del viento (o momentum de flujo) puede ser derivado independientemente de la estratificación de la densidad atmosférica.

3.2.3.4 Geometría de la medición del instrumento

El instrumento SeaWind usa un antena de plato rotatorio que barre con un patrón circular. La antena emite pulsos de microondas a una frecuencia de 13.4 GHz sobre la superficie de la tierra. El instrumento colecta los datos sobre el océano, tierra y hielo continuamente, en una banda de 1800 km de ancho centrada sobre el nadir del artefacto, haciendo aproximadamente 1.1 millones de mediciones de viento y cubriendo un 90% de la superficie de la tierra diariamente.

El sistema debe medir vientos de $3 - 30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ con una precisión no mayor a $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ o 10% en velocidad y 20° en dirección. El subsistema LP es el corazón del procesamiento científico, implementando

Variable	Dimension	Escala	Offset	Mínimo	Máximo	Unidades	Tipo Dato
ASC Liu U	1440 × 720	0.00005	0.00	- 1.20	1.20	N · m ²	16-bit SI
DES Liu U	1440 × 720	0.00005	0.00	- 1.20	1.20	N · m ²	16-bit SI
ASC Liu V	1440 × 720	0.00005	0.00	- 1.20	1.20	N · m ²	16 bit SI
DES Liu V	1440 × 720	0.00005	0.00	- 1.20	1.20	N · m ²	16 bit SI
ASC Large U	1440 × 720	0.00005	0.00	- 1.20	1.20	N · m ²	16 bit SI
DES Large U	1440 × 720	0.00005	0.00	- 1.20	1.20	N · m ²	16 bit SI
ASC Large V	1440 × 720	0.00005	0.00	- 1.20	1.20	N · m ²	16 bit SI
DES Large V	1440 × 720	0.00005	0.00	- 1.20	1.20	N · m ²	16 bit SI
ASC Cd Liu	1440 × 720	0.00005	0.00	- 1.20	1.20	N · m ²	16 bit SI
DES Cd Liu	1440 × 720	0.00005	0.00	- 1.20	1.20	N · m ²	16 bit SI
ASC Cd Large	1440 × 720	0.00005	0.00	-2.0	2.5	none	16 bit SI
DES Cd Large	1440 × 720	0.00005	0.00	-2.0	2.5	none	16 bit SI
ASC TimeFrac	1440 × 720	0.0002	0.00	0.00	1.00	Día	16 bit UI
DES TimeFrac	1440 × 720	0.0002	0.00	0.00	1.00	Día	16 bit UI
ASC RainFlag	1440 × 720	1.0	0.00	0.00	7.00	N/A	8-bit UI
DES RainFlag	1440 × 720	1.0	0.00	0.00	7.00	N/A	8-bit UI

Table 3.3: Descripción de los campos de los datos de QuikSCAT en el formato HDF.

las conversiones del Level 0 de telemetría hasta los productos de vectores de viento de Level 2B. El sistema LP consiste de cuatro programas principales, cada uno produce los datos en secuencia para L1A, L1B, L2A y L2B. También incorpora e implementa todos los algoritmos para la ciencia, y crea el producto final en el formato HDF y lo envía a PO.DAAC y a la comunidad científica.

3.2.3.5 Características de los datos

3.2.3.6 Algoritmos utilizados

Large y Pond El esfuerzo superficial del viento τ fue calculado usando parametrización:

$$\tau = \rho_a C_D v_{10} v_{10},$$

donde:

ρ_a es la densidad del aire,

C_D es el coeficiente de arrastre,

v_{10} es el vector de viento a la altura de 10 m sobre la superficie y

v_{10} es el módulo de la velocidad (o rapidez) del viento a 10 m.

La densidad del aire tiene asignado un valor constante de $\rho_a = 1.223 \text{ kg} \cdot \text{m}^3$. El esfuerzo del viento fue estimado a partir de cada vector de viento observado por QuikSCAT usando Large and Pond (1981) con la velocidad del viento dependiente del coeficiente de arrastre.

Tang y Liu Dada la rapidez del viento v_{10} ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) por el escaterometro a una altura $z = 10$ m, este algoritmo evalua la correspondiente velocidad friccional u_{sr} y esfuerzo τ iterando las ecuaciones

$$z_0 = 0.11 \cdot \frac{v_{isa}}{u_{sr}} + 0.011 \cdot \frac{u_{sr}^2}{g}$$

$$u_{srn} = du * \frac{0.4}{\log(\frac{z}{z_0})}$$

$$u_{sr} = u_{srn}$$

hasta que la convergencia es alcanzada, i.e.

$$\left| \frac{u_{srn} - u_{sr}}{u_{sr} + 10^{-8}} \right| < 10^{-6},$$

donde

$$\tau = \rho_a u_{sr}^2,$$

v_s = corriente superficial,

$$du = v_{10} - v_s = v_{10}, \text{ para } v_s = 0,$$

$$z = 10 \text{ m},$$

$$g = 9.81 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2},$$

$$v_{isa} = 0.15 \times 10^{-4},$$

$$\rho_a = 1.22 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}.$$

y u_{sr} es inicializada en 0.04 du. Se usaron los coeficientes de Smith (1980).

3.2.3.7 Pasos en el procesamiento

El método para procesar los datos en QuikSCAT es através de una serie de etapas de conversión de niveles bien definido. Los productos son creados de la siguiente manera:

Level 0: Procesamiento de datos científicos por telemetría

Level 1A: Conversion de telemetría a unidades de ingeniería

Level 1B: Sigma-0s acomodados cronológicamente, con localización terrestre

Level 2A: Sigma-0s con banderas de superficie, y atenuaciones

Level 2B: Vectores de viento sobre el océano en una malla con barrido de 25 km

Level 3: Vectores diarios de viento sobre el océano, interpolados a una malla

Level 3: Esfuerzo del viento superficial, derivado de un multialgoritmo

3.2.3.8 Fuentes de error

Cuando la lluvia está presente, las mediciones sigma-0 (de la cual se obtiene la velocidad del viento) de la superficie del océano se contaminan por varias razones. Parte de la energía transmitida es dispersada hacia el escaterómetro por la lluvia y nunca alcanza la superficie del océano. Esto tiene el efecto de atenuación

de la energía en el océano. Adicionalmente, la lluvia pone más rugosa la superficie del océano y cambia la sección transversal del radar (Huddleston y Stiles, 2000).

La desviación estándar normalizada de σ_0 , conocida como K_p , se calcula para dar un estimado de la incertidumbre de la medición del escaterómetro. Existen tres grandes fuentes de K_p en el escaterómetro:

1. Incertidumbre del ruido del receptor, conocida como K_p o K_{pc} .
2. Incertidumbres en los parámetros de ganancia y geometría, conocidos como recuperación K_p o K_{pr} .
3. Incertidumbre asociada con la función del modelo geofísico.
4. Otras fuentes de error incluyen a la incertidumbre al señalar la altitud, procesamiento del instrumento, y contaminación de otras frecuencias.

3.2.3.9 Limitaciones de los datos

Las mediciones pueden ser contaminadas cuando hay lluvia. Las banderas `asc_rain_flag` y `des_rain_flag` en el conjunto de datos se incluyen para verificar la posible contaminación. El proceso del radar al regresar los datos correspondientes a tierra y hielo corresponden a diferentes procesos con respecto al mar abierto, y pueden contaminar la estimación de los vectores de viento. Se aplicó una máscara de tierra a los datos de QuikSCAT con el fin de eliminar la contaminación debida a tierra y hielo. Uno de los problemas del modelo de QSCAT-1 es que tiene la tendencia a subestimar vientos fuertes y tiene insuficiente información en situaciones de calma.

3.2.3.10 Convención en la dirección del viento

La convención oceanográfica o flujo del vector, se adoptó para la dirección del viento de SeaWinds en QuikSCAT. Bajo esta convención, una dirección del viento de 0° implica un flujo hacia el norte. Para la altura de referencia de los vientos superficiales, se adoptó una altura de 10 m para todos los vectores de viento.

3.2.3.11 Disponibilidad de los productos

Los datos de esfuerzo superficial del viento de QuikSCAT están disponibles via FTP anónimo en `podaac.jpl.nasa.gov` en el directorio `pub/ocean_wind/quikscat/stress/L3`. Para más información sobre los productos de QuikSCAT está disponible en el sitio de PO.DAAC QuikSCAT, <http://podaac.jpl.nasa.gov/quikscat/>.

Parametro	Tipo	Pendiente	Ordenada	Rango Aprox.	Unidades
chlor_a	log ₁₀	0.015	-2.0	0 - 64	mg · m ⁻³
angstrom_WWW	linear	0.02	-0.5	-0.5 - 4.6	none
nLw_WWW	linear	0.02	0	0 - 5.1	mW · cm ⁻² · m ⁻¹ · sr ⁻¹
tau_WWW	linear	0.005	0	0 - 1.27	none
K_490	log ₁₀	0.011	-2.0	0 - 6.4	m ⁻¹
SST	linear	0.15	-2.0	-2.0 - 36	°C

Table 3.4: Resumen de los parametros de escalamiento para los datos de Nivel 3 de Aqua-MODIS.

3.2.4 Aqua-MODIS: Temperatura superficial del mar, clorofila, coeficiente de atenuación difusa

MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) es un instrumento que viaja a bordo de los satélites Terra (EOS AM) y Aqua (EOS PM). La órbita del satélite Terra alrededor de la tierra es de norte a sur, cruzando el ecuador en la mañana, mientras que Aqua hace el cruce de sur a norte pasando sobre el ecuador en la tarde. Terra y Aqua ven la superficie de la tierra cada 1 ó 2 días, adquiriendo datos en 36 bandas espectrales. Estos datos mejoran nuestro entendimiento de la dinámica y termodinámica global y los procesos que ocurren en la tierra, océanos y la atmósfera baja. MODIS tiene un papel muy importante en la validación de modelos globales, ya que predicen el cambio global con la suficiente precisión para asistir en la toma de decisiones para la protección de nuestro medio ambiente.

Estos datos son producidos y distribuidos por NASA Goddard Space Flight Center's Ocean Color Data Processing System (OCDPS). Todos los productos obtenidos están en formato HDF. En el archivo HDF están los datos mapeados en un arreglo bidimensional. Los productos del nivel-3 son la representación de imágenes de datos en celdas, productos generados por datos de SeaWiFS, MODIS u OCTS. La variable con los datos contenida en cada producto llamada "l3m_data", representa una imagen del parámetro especificado. Este objeto-variable es un arreglo bi-dimensional de una proyección Cilindrica Equidistante (también conocida como Platte Carre) de tipo de dato byte. Los valores (byte) son escalados a valores reales del parámetro y pueden ser convertidos y proyectados a valores geofísicos usando los atributos globales de escalamiento, como: la ecuación de escalamiento (regresión), base, pendiente, y la ordenada en el origen (ver Tabla 3.4).

Cinco productos se generan a partir de los datos, uno por cada uno de los siguientes parámetros geofísicos: concentración de clorofila (a), coeficiente angstrom 510 a 865 nm, radiancia normalizada que sale del agua a 555 nm, grosor óptico de aerosol a 865 nm, y coeficiente de atenuación difusa a 490 nm. Para MODIS, se genera un sexto producto que es temperatura superficial del mar (SST). De esta manera, cada producto representa celdas de datos en el período cubierto por el producto padre. Se usa el promedio para obtener los valores de la malla de puntos y cada producto se almacena físicamente en un archivo HDF.

3.2.5 Datos de derivadores ARGOS

Argos es un sistema de localización y colección de datos basado en satélites dedicados a monitorear y proteger el ambiente. Los datos de los derivadores Argos se colectan mediante una aplicación (TN3270) que automatiza el acceso (TELNET) al servidor argos (telnet datadist.argosinc.com). Esta adquisición se realiza cada hora en el sistema de monitoreo (Figura 4.1). Las instrucciones para la interrogación de los datos son las siguientes:

1. /PRV,2897,DS,,50011-50098
2. /PRV,8325,DS,,49566-49572
3. /PRV,2918,DS,,52074-52088

En los tres casos obtenemos una respuesta de información con el siguiente formato¹:

```
02897 50087 5 4 M 1 2005-11-17 06:57:41 19.130 253.507 0.000 401652092
2005-11-17 06:54:43 1 255 59 637 178
2005-11-17 06:56:12 1 255 59 637 01
2005-11-17 06:59:10 1 255 59 638 199
2005-11-17 07:00:39 1 255 59 638 243
08325 49568 2 3 N 2 2005-11-17 00:49:25 11.192 183.084 0.000 401652808
2005-11-17 00:55:15 9 127 37 668
```

La información está entendida en el formato como:

1. (a) i. 02897: Número del programa.
 - ii. 50087: identifica el número del derivador activo y transmitiendo.
 - iii. 5: Número de líneas resultantes en la pasada del satélite.
 - iv. 4: Numero de sensores.
 - v. M: Nombre del satélite NOAA-M.
 - vi. 1: location class.
 - vii. 2005-11-17: Fecha (año, mes, día) de la posición obtenida durante la pasada.
 - viii. 06:57:41: Hora (horas, minutos, segundos) de la posición en hora UTC.
 - ix. 19.130: Latitud en grados. Positivo para el hemisferio norte, negativo para el sur.
 - x. 253.507: Longitud en grados.
 - xi. 0.000: Altitud del derivador en kilometros.

¹Para detalles de los formatos de los datos Argos dirigirse al sitio: <http://www.cls.fr/manuel/>

xii. 401652092: Frecuencia de transmisión.

Las siguientes cuatro líneas corresponden al punto iii del número de líneas resultantes en la pasada del satélite. Continuando con fecha, hora, y la tercer columna es el número de mensajes idénticos recibidos. El 255 corresponde al sensor de sumergencia y es un numero de 8 bits que fluctúa entre 0-255, donde cero es no dependencia de la boya del elemento de arrastre y 255 para total dependencia. Siguiete columna es el voltaje y la tercera la temperatura. El voltaje se obtiene multiplicando el valor por 0.287. La temperatura en grados centigrados se obtiene dividiendo el valor por 20 y restandole 5 unidades.

Capítulo 4

Sistema de Monitoreo del Océano en Tiempo Real

4.1 Introducción

Como mencionamos en el capítulo anterior, para las variables oceanográficas adquiridas de los servidores de ARGOS/CLS, NASA/JPL-PO.DAAC y NOAA-CoastWatch, se desarrollaron rutinas que permiten el acceso a estos datos, bajarlos de los servidores, procesarlos, extraer la región de estudio, visualizarlos, superponer diferentes variables, generar figuras, enviar las figuras al cuerpo de científicos involucrados en el proyecto, subirlas al ftp anónimo y enviar mensajes al celular como medida de control del funcionamiento correcto del programa de monitoreo del océano. En este capítulo se describirán los diagramas de flujo de cada tarea que se realiza en el monitoreo.

4.2 Lenguaje de desarrollo

Después de analizar distintos lenguajes de programación, se decidió usar MatLab versión 6.5 Release 13 (ver Apéndice F). Aunque es un programa orientado al uso científico, también puede ser usado como un lenguaje de propósito general, ya que tiene rutinas integradas para al manejo de archivos (entrada/salida), funciones matemáticas, operadores lógicos, herramientas para procesamiento numérico, y su mayor cualidad es que permite manejar los datos en forma de matrices y visualizarlos con facilidad, aspecto que no poseen otros lenguajes de propósito general. Además tiene los atributos necesarios para el desarrollo de una aplicación como los lenguajes C, Fortran, Pascal, etc., ya que cuenta con herramientas para generar ejecutables los cuales permiten independencia de la plataforma. Todo el sistema se desarrolló con MatLab, excepto los

programas de acceso al web, ftp, telnet y para descomprimir archivos.

4.2.1 Toolbox M_map

MatLab contiene una larga lista de utilerías o cajas de herramientas (ver Apéndice F) las cuales permiten desarrollar distintos manejos de datos, ya sea de análisis o visualización. El toolbox M_Map¹ versión 1.3 (mapping toolbox), permite que los datos se relacionen con la cartografía, esto es con la línea de costa, escalas y la topografía del globo terrestre. Tiene un conjunto de rutinas para visualizarlos en mapas con distintas proyecciones, algunas de sus características son:

1. Rutinas para proyectar datos en 18 proyecciones esféricas diferentes.
2. Rutina para generar mallas, para crear ejes en longitud, latitud o planares $x - y$, etc.
3. Una base de datos para la línea de costa desde $\frac{1}{4}^\circ$ hasta 1 km de resolución.
4. Una base de datos de elevación global desde 5 minutos hasta 1 grado de resolución.
5. Se puede acceder gratuitamente a datos de línea de costa, batimetría y topografía de mayor resolución.
6. Rutinas de propósito general para escalas de mapas, conversiones de coordenadas y cálculo de distancias.

4.3 Calendarización

Toda el programa que permite llevar a cabo el proceso de descargar los datos, procesarlos, manipularlos, visualizarlos y enviarlos, requiere que sea periódico a diferentes horas del día, y que se repitan en el mismo itinerario al día siguiente.

En la Figura 4.1 se presenta el diagrama cronológico de eventos calendarizados durante el día, para los procesos del monitoreo del océano. Como todos los datos de satélite que manejan NASA/JPL, NOAA, ARGOS están sincronizados con el uso horario UTC (Universal Time Coordinated, antes llamado GMT), la computadora dedicada a la automatización se ajustó en el uso horario UTC. Los datos de los derivadores ARGOS se descargan cada hora. Los datos de MODIS para las tres variables (SST, Clorofila y el coeficiente de atenuación difusa), los datos de GOES (SST), y los datos de QuikSCAT (SWS) se descargan dos veces al día, a las 11:30 y 23:30 UTC, para asegurar de que siempre estén los datos más recientes para usarlos en la visualización. Los datos de GOES (NRT-SST) se programan cada tres horas sólo cuando hay crucero.

¹<http://www.ocgy.ubc.ca/~rich/>

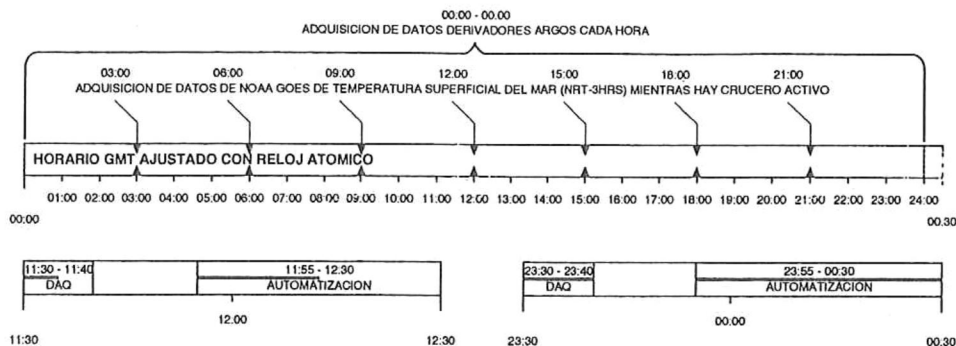


Figura 4.1: Diagrama cronológico de eventos calendarizados durante el día, para el proceso de la adquisición de imágenes de satélite y el análisis y visualización de las mismas.

4.4 Diagramas de flujo de procesos de adquisición de datos de satélite

4.4.1 Adquisición de los Datos ARGOS (derivadores)

Este proceso (Figura 4.2) permite al sistema adquirir los datos de los derivadores Argos cada hora. Como lo indica el diagrama de flujo, hay una computadora con un programa instalado (TN3270) el cual permite programar instrucciones de telnet. Esta computadora se encarga de la adquisición de los datos que Argos colecta de los derivadores. Se programa indicándole la lista de derivadores, el programa al que están adscritos los derivadores, y el período de colección de los datos, para este caso es durante el día corriente. Cuando TN3270 ejecuta el telnet automatizado, crea un archivo (ARGOS.DAT) con la información de los derivadores, y lo sube al FTP anónimo de CICESE. Otro programa (DOWNLOAD_ARGOS.EXE) se encarga de bajar los datos del FTP anónimo de CICESE a la computadora donde reside la automatización y el banco de datos. DOWNLOAD_ARGOS.EXE se desarrolló con MatLabTM R13 y se generó el ejecutable.

DOWNLOAD_ARGOS lee el archivo de datos ARGOS.DAT, y limpia la información basura, ya que viene con las instrucciones de telnet programadas en TN3270 y con la bienvenida de los servicios telnet, y va creando un archivo de datos ARGOSYYYYJJJHH.DAT cada hora. De esta manera, tenemos 24 archivos durante el día. Automáticamente se va formando nuestro banco de datos de derivadores con la información que se va colectando cada hora hasta completar el día (HH=23). El formato de este archivo es el que da la consulta con la instrucción /PRV en CLS (ver §3.2.5).

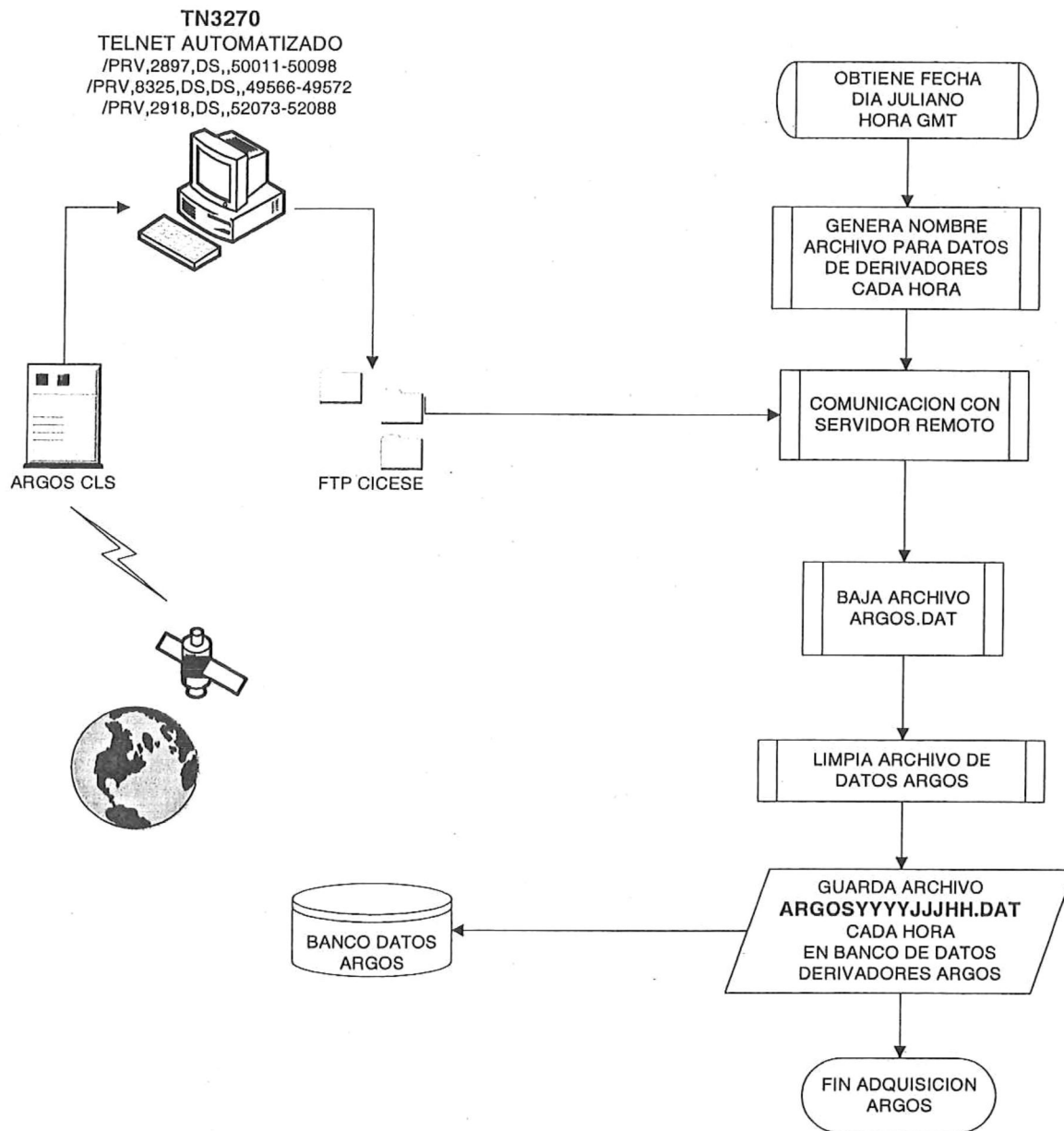


Figura 4.2: Diagrama de flujo para el proceso de adquisición de los datos de los derivadores Argos.

4.4.2 Adquisición de la Temperatura Superficial del Mar de GOES-NOAA

El proceso programado para la adquisición de imágenes de temperatura superficial del mar de NOAA y sus satélites GOES, como se ilustra en el diagrama de la Figura 4.3 permite bajar imágenes diarias con retraso de un día. Sin embargo, cuando hay crucero oceanográfico activo, también ofrecen el servicio de adquisición de datos cercanos al tiempo real (cada tres horas). El procedimiento es el mismo tanto para imágenes de promedios diarios como para imágenes de cada tres horas. Cuando se baja la imagen se procesa y se aplica la ecuación de regresión para convertir los valores al parámetro de grados centígrados. Se generan las mallas de SST, de longitud y de latitud y la fecha de los datos. En caso de no existir la imagen del día, el sistema aborta el procesamiento de la imagen y deja en uso la última información adquirida hasta que haya nuevos datos.

4.4.3 Adquisición de la Temperatura Superficial del Mar de MODISA-NASA

El proceso programado para la adquisición de imágenes de temperatura superficial del mar obtenidos por el satélite Aqua con el sensor MODIS, como se ilustra en el diagrama de la Figura 4.4 permite bajar imágenes diarias con retraso de un día. Cuando se baja la imagen se procesa y se aplica la ecuación de regresión para convertir los valores al parámetro deseado. Se generan las mallas de SST, de longitud, de latitud y la fecha de los datos. En caso de no existir la imagen del día, el sistema aborta el procesamiento de la imagen y deja en uso la última información adquirida hasta que haya nuevos datos.

4.4.4 Adquisición de la Concentración de Clorofila de MODISA-NASA

El proceso programado para la adquisición de imágenes de clorofila obtenidos por el satélite Aqua con el sensor MODIS, como se ilustra en el diagrama de la Figura 4.5 permite bajar imágenes diarias con retraso de un día. Cuando se baja la imagen se procesa y se aplica la ecuación de regresión para convertir los valores al parámetro deseado. Se generan las mallas de clorofila, de longitud, de latitud y la fecha de los datos. En caso de no existir la imagen del día, el sistema aborta el procesamiento de la imagen y deja en uso la última información adquirida hasta que haya nuevos datos.

4.4.5 Adquisición del Coeficiente de Atenuación Difusa de MODISA-NASA

El proceso programado para la adquisición de imágenes de coeficiente de atenuación difusa obtenidos por el satélite Aqua con el sensor MODIS, como se ilustra en el diagrama de la Figura 4.6 permite bajar imágenes diarias con retraso de un día. Cuando se baja la imagen se procesa y se aplica la ecuación de regresión para convertir los valores al parámetro deseado. Se generan las mallas de atenuación difusa, de longitud, de latitud y la fecha de los datos. En caso de no existir la imagen del día, el sistema aborta el

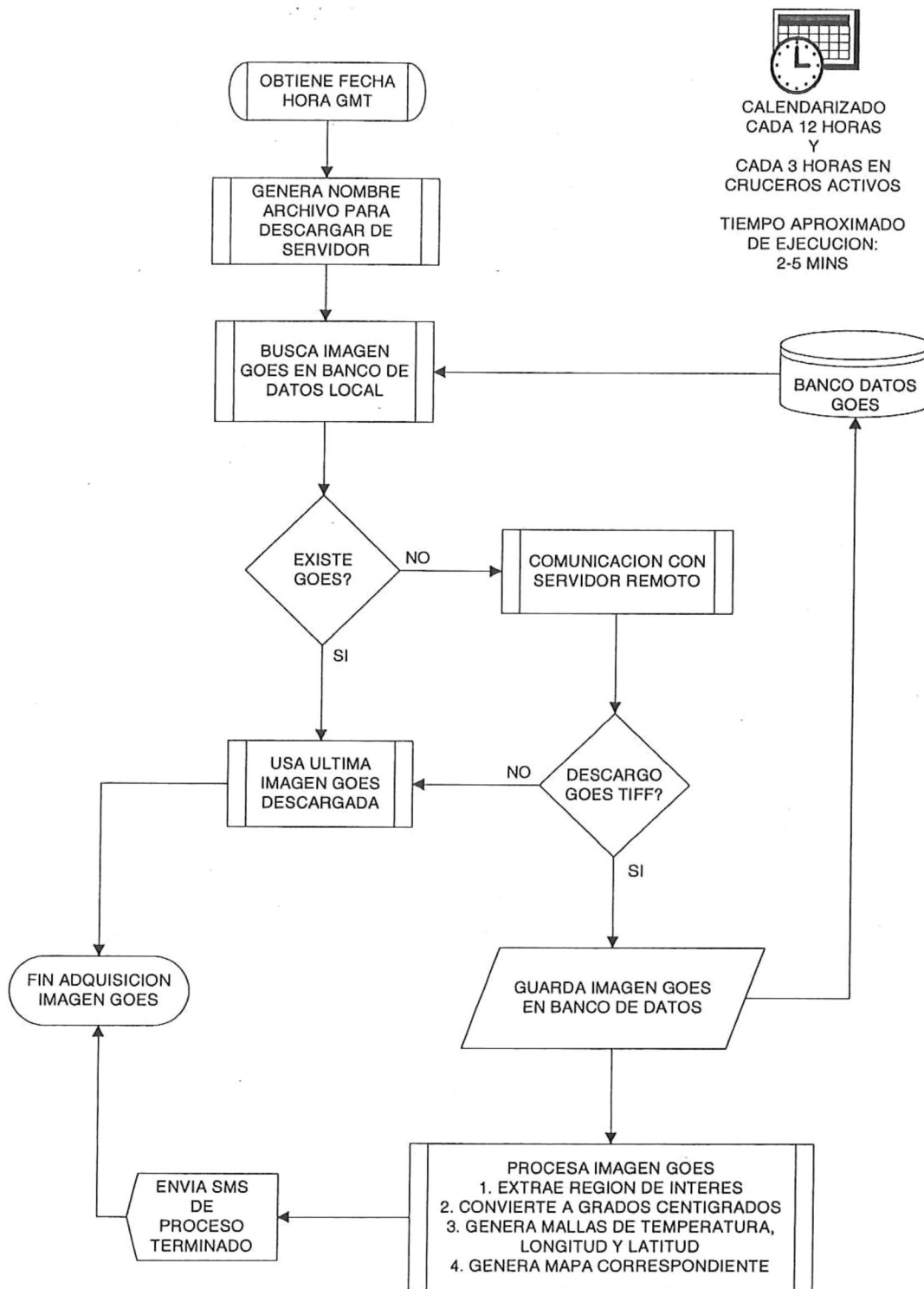


Figura 4.3: Diagrama de flujo del proceso de adquisición de los datos de la temperatura superficial del mar de NOAA de los satélites GOES.

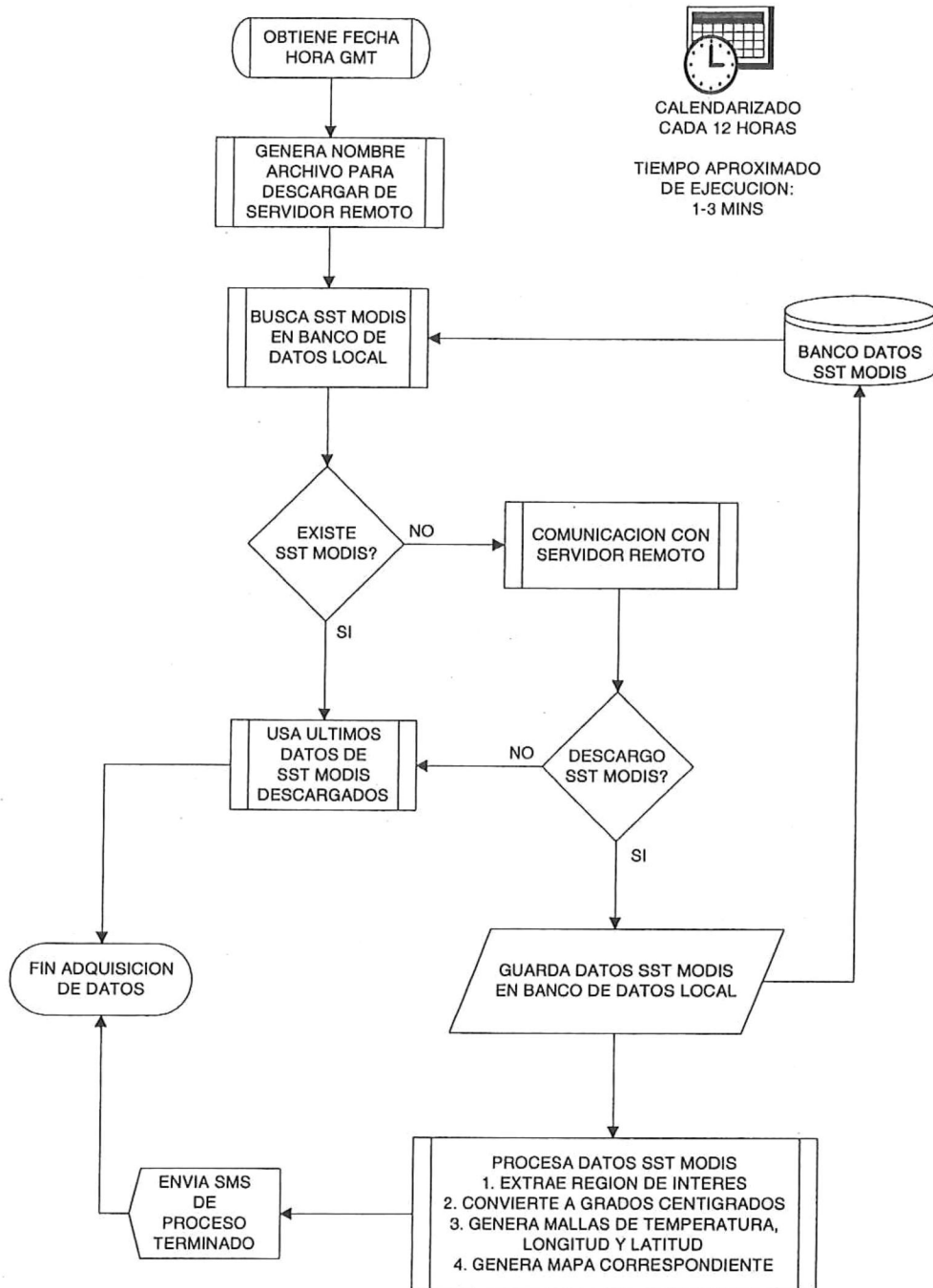


Figura 4.4: Diagrama de flujo para la adquisición de la temperatura superficial del mar del sensor MODIS a bordo del satélite Aqua.

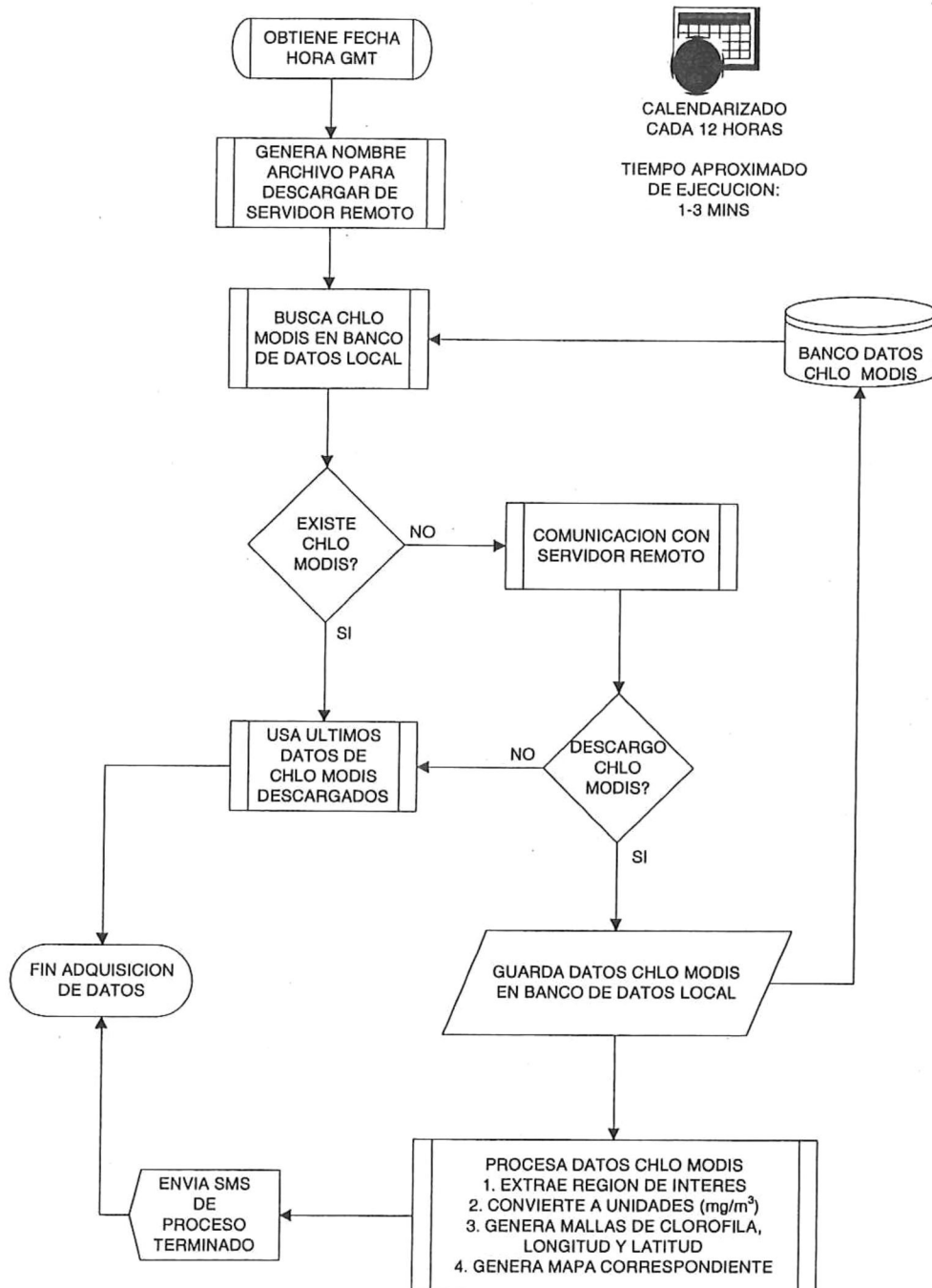


Figura 4.5: Diagrama de flujo para la adquisición de la concentración de clorofila del sensor MODIS a bordo del satélite Aqua.

procesamiento de la imagen y deja en uso la última información adquirida hasta que haya nuevos datos.

4.4.6 Adquisición del Esfuerzo Superficial del Viento de QuikScat-NASA

El proceso programado para la adquisición de imágenes de esfuerzo superficial del viento obtenidos por el satélite QuikSCAT, como se ilustra en el diagrama de la Figura 4.7 permite bajar imágenes de promedios diarios. Estos datos contienen las matrices de los pasos ascendentes y descendentes del satélite, y las matrices procesadas según los algoritmos de Tang y Liu (1996) y Large y Pond (1981). Debido a que la adquisición de datos es irregular con hasta 10 días de retraso con respecto a la fecha actual, y luego actualizarse a dos días de retraso, se tuvo que diseñar un algoritmo que permita consultar en el banco de datos local y comparar en el banco de datos remoto por nueva información. Esto permite al sistema mantener siempre los datos más recientes de esfuerzo del viento.

Cuando se baja la imagen se trabajan las matrices de Tang y Liu, se procesan los datos ascendentes y descendentes, se limpian de datos malos (lluvia, calma, etc) y se aplica el factor de corrección a las unidades del parámetro. Se generan las mallas de esfuerzo del viento, de longitud, de latitud y la fecha de los datos. En caso de no existir datos más recientes, el sistema aborta el proceso de adquisición y deja en uso la última información adquirida hasta que haya nuevos datos.

4.5 Diagramación del flujo de procesos

En la sección anterior se describió como se desarrolla la adquisición de los datos de satélite. Sin embargo, ese es un paso previo a la preparación y elaboración del producto final del monitoreo. Con las imágenes de satélite que se adquieren se alimenta el proceso de visualización y preparación de figuras para el cuerpo científico.

4.5.1 Análisis de derivadores

En el diagrama de flujo de la Figura 4.8 se muestra el inicio del proceso de revisión de datos de los derivadores, verificación del estado de cada uno, si están fallando, si han dejado de transmitir, si fueron apagados y han vuelto a transmitir, si han sido atrapados, llevados a tierra o subidos a una embarcación. Para este procedimiento se cargan los datos de los derivadores desde que inicio el proyecto (junio 2004-a la fecha).

El programa primero busca los derivadores apagados y que han vuelto a transmitir. En caso de existir algún derivador transmitiendo se envía un correo con la lista de los derivadores que están fallando. El objetivo es que si ocurre una transmisión no deseada inmediatamente se inicie el procedimiento de apagado

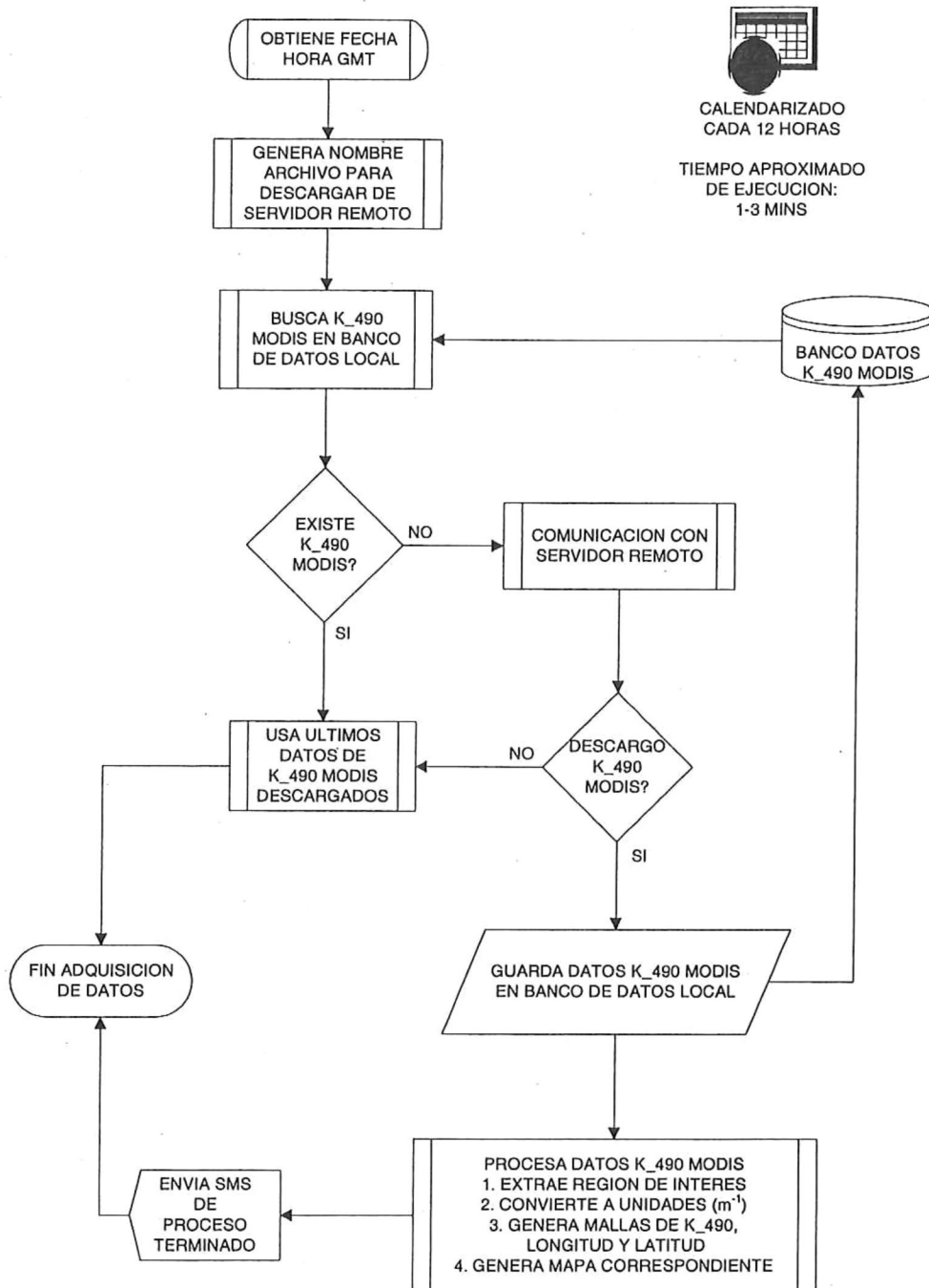


Figura 4.6: Diagrama de flujo para la adquisición del coeficiente de atenuación difusa K_{490} del sensor MODIS a bordo del satélite Aqua.

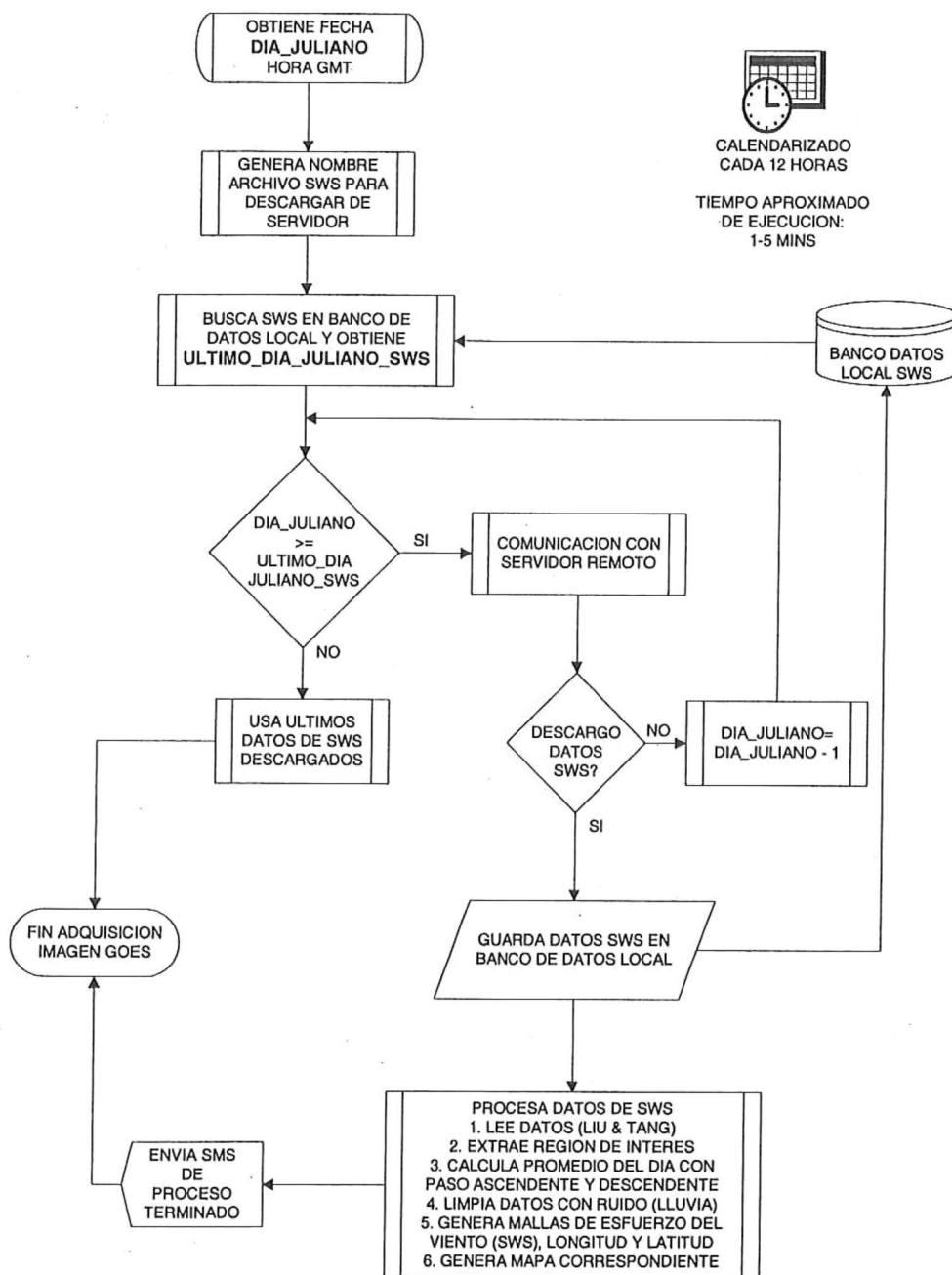


Figura 4.7: Diagrama de flujo para la adquisición de los datos del esfuerzo superficial del viento de QuikSCAT.

del derivador ya que Argos-CLS cobra aún por una sola emisión del derivador al día. Y al mes hay un cargo adicional por el servicio que ofrece.

Si el proceso es a las 11:00 horas GMT crea un archivo temporal con los datos colectados. Si son las 23:00 horas GMT entonces escribe en el archivo del banco de datos agregando la información diaria de los derivadores, actualizando el banco de datos al final del día. Finalmente entra al proceso de análisis de los derivadores donde genera un reporte con las siguientes características:

1. ID del derivador.
2. Distancia recorrida por el derivador en el día.
3. Velocidad promedio durante el día.
4. Puntos indicados con sensor de sumergencia² igual a cero.
5. Puntos en los que el sensor de sumergencia es mayor que cero.
6. Tiempo sin transmitir en días del derivador.
7. Fecha en que se activó.
8. Fecha en que se apagará o apagó.
9. Tiempo restante por transmitir en días.
10. Al final del reporte se incluye la lista de los derivadores que tienen sin transmitir más de un día, indicando última posición y fecha.

Este reporte genera un archivo nombrado "PTTstatusYYYYJJHH.DAT" que se envía por correo al personal del proyecto. Si el sistema va bien hasta este punto envía un mensaje SMS al celular de que el proceso fue satisfactorio. Se genera una lista con los derivadores que tienen más puntos en tierra (sensor de sumergencia igual a cero) que en mar. Si existen derivadores con más puntos en tierra que en mar, automáticamente se hace un acercamiento a estos derivadores, visualizar su última posición y ver donde están navegando. Esto permite evaluar si el derivador está en tierra o su comportamiento se ve raro en altamar, y si es posible ir a rescatarlos. Se genera una figura, un archivo de datos con las posiciones y un promedio integrado de los últimos puntos y se envían por correo electrónico al personal que se encarga de los rescates. Este proceso dura alrededor de 5-10 minutos debido a la cantidad de datos de los derivadores que hay que leer y analizar. Un archivo mide entre 100-200 kb por día de colección de datos de los derivadores.

²Éste nos indica el grado de dependencia del derivador con el elemento de arrastre. Igual a cero, no hay dependencia con el elemento y puede que haya sido levantado, este en tierra o vaya en una embarcación o se reventó. Hasta un valor máximo de 255 el derivador y su elemento de arrastre están trabajando bien.

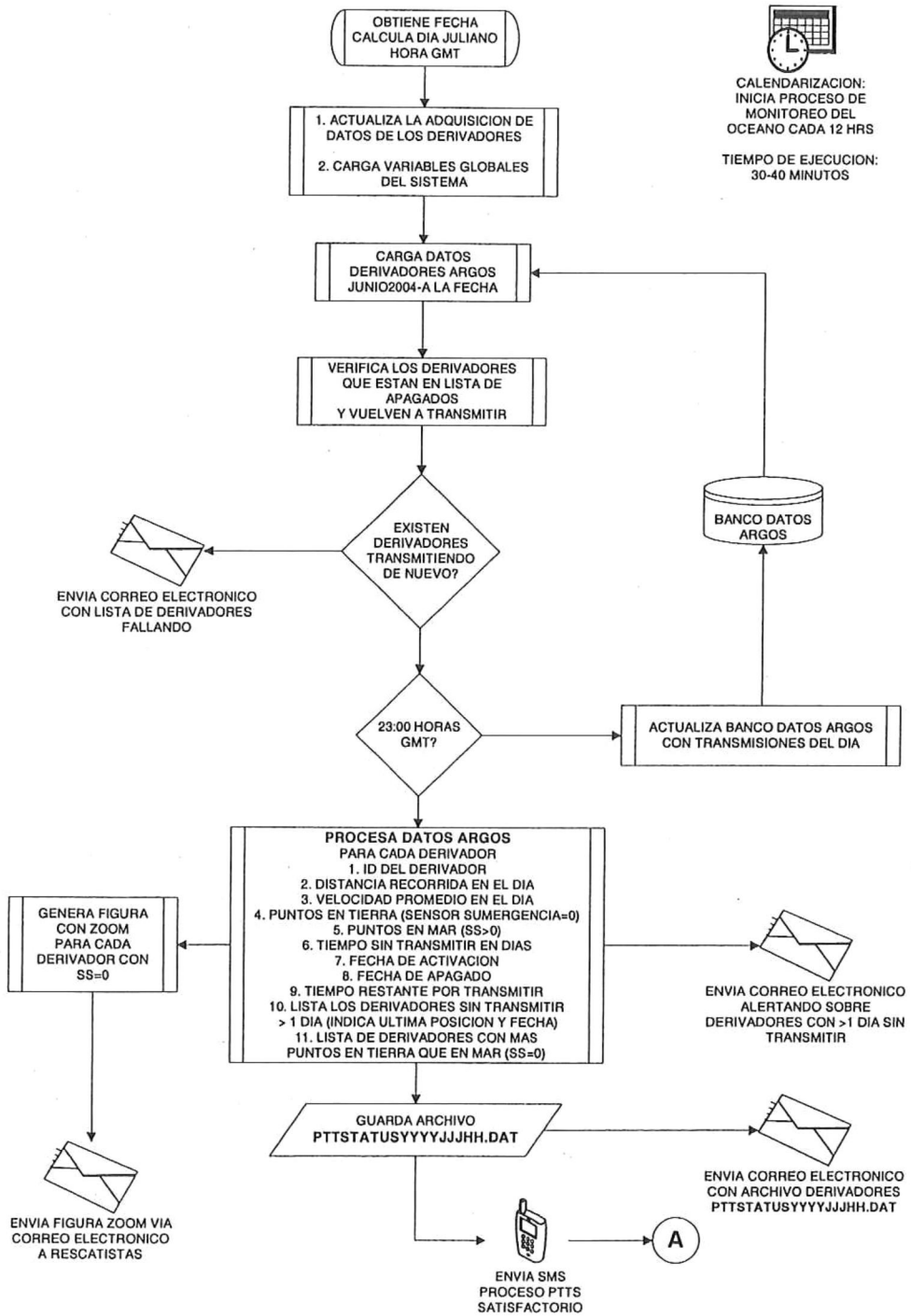


Figura 4.8: Diagrama de flujo para el proceso de análisis de los derivadores Argos.

4.5.2 Visualización de la temperatura superficial GOES

El proceso de visualización de los datos de temperatura superficial del mar (GOES) a los que se les superpone los vientos de QuikSCAT y la deriva de las boyas se muestra en la Figura 4.9. Preparamos el escenario con los datos de costa obtenidos de GSHHS³ en proyección Mercator, utilizando el toolbox M_map. Iniciamos con el cargado a memoria de las matrices de GOES (SST, longitud y latitud), de QuikSCAT (SWS, longitud y latitud). Si existe crucero activo también se cargan los datos del plan del crucero ("CRUCERO.DAT") y el derrotero del barco ("DERROTERO.DAT"). Estos archivos tienen el siguiente orden en las columnas: longitud (grados) en columna 1, latitud (grados) en columna 2. Primero se grafica SST en el mapa, después se superpone el esfuerzo del viento, y la trayectoria de los derivadores (últimos 7 días aproximadamente), por último se grafican las posiciones de los lances del plan del crucero y la posición del barco (si existe crucero activo).

Cuando se han visualizado todas las variables se generan dos figuras, una en formato PNG y otra en JPG. La figura PNG es para enviarse por correo al cuerpo de participantes del proyecto, ya que es un archivo con un tamaño reducido y conveniente para enviarlo a través de la red. La figura JPG de mayor calidad se usa para ponerla en el servidor de FTP del CICESE para poderla acceder desde cualquier maquina. Se sube al FTP para los usuarios del sistema que no desean estar recibiendo las figuras, y sólo se envía un correo donde se indica que el proceso ha subido la figura del día al FTP. Finalmente, ya que se envía el correo con la figura, se envía un mensaje SMS al celular indicando que el proceso ha sido satisfactorio.

4.5.3 Visualización de la temperatura superficial (MODIS)

El proceso de visualización de los datos de temperatura superficial del mar (MODIS) a los que se les superpone los vientos de QuikSCAT y la deriva de las boyas se muestra en la Figura 4.10. Preparamos el escenario con los datos de costa obtenidos de GSHHS en proyección Mercator, utilizando el toolbox M_map. Iniciamos con el cargado a memoria de las matrices de MODIS (SST, longitud y latitud), de QuikSCAT (SWS, longitud y latitud). Si existe crucero activo entonces, también se cargan los datos del plan del crucero ("CRUCERO.DAT") y el derrotero del barco ("DERROTERO.DAT"). Estos archivos tienen el siguiente orden en las columnas: longitud (grados) en columna 1, latitud (grados) en columna 2. Primero se grafica SST en el mapa, después se superpone el esfuerzo del viento, y la trayectoria de los derivadores (últimos 7 días aproximadamente), por último se grafican las posiciones de los lances del plan del crucero y la posición del barco (si existe crucero activo). Ver segundo parrafo de §4.5.2.

³GSHHS - Global Self-consistent, Hierarchical, High-resolution Shoreline Database. Los datos se pueden adquirir de <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/shorelines/gshhs.html>

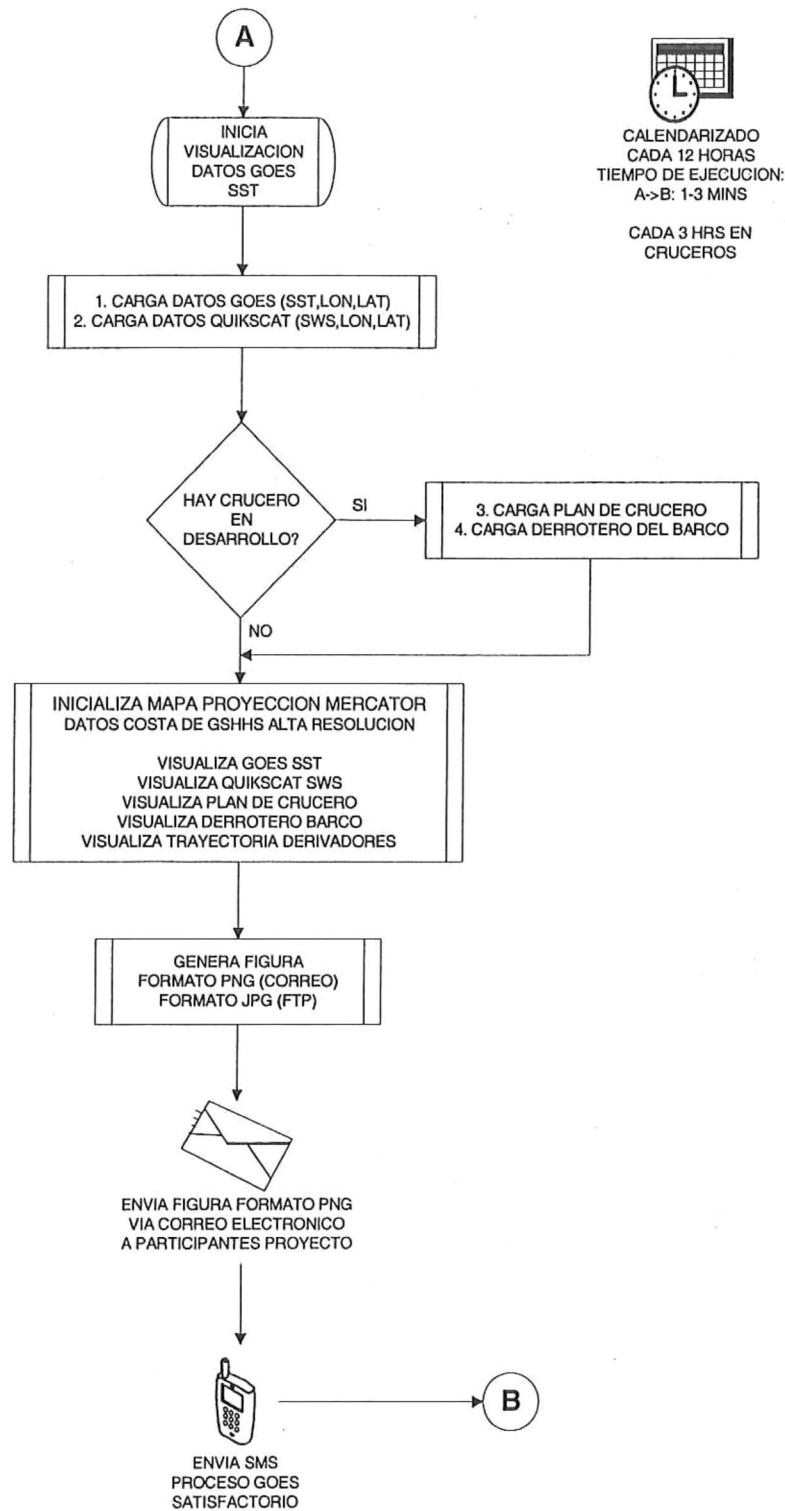


Figura 4.9: Diagrama de flujo para la visualización de los datos de satélite de la temperatura superficial del mar de GOES, esfuerzo superficial del viento de QuikSCAT, y derivadores Argos.

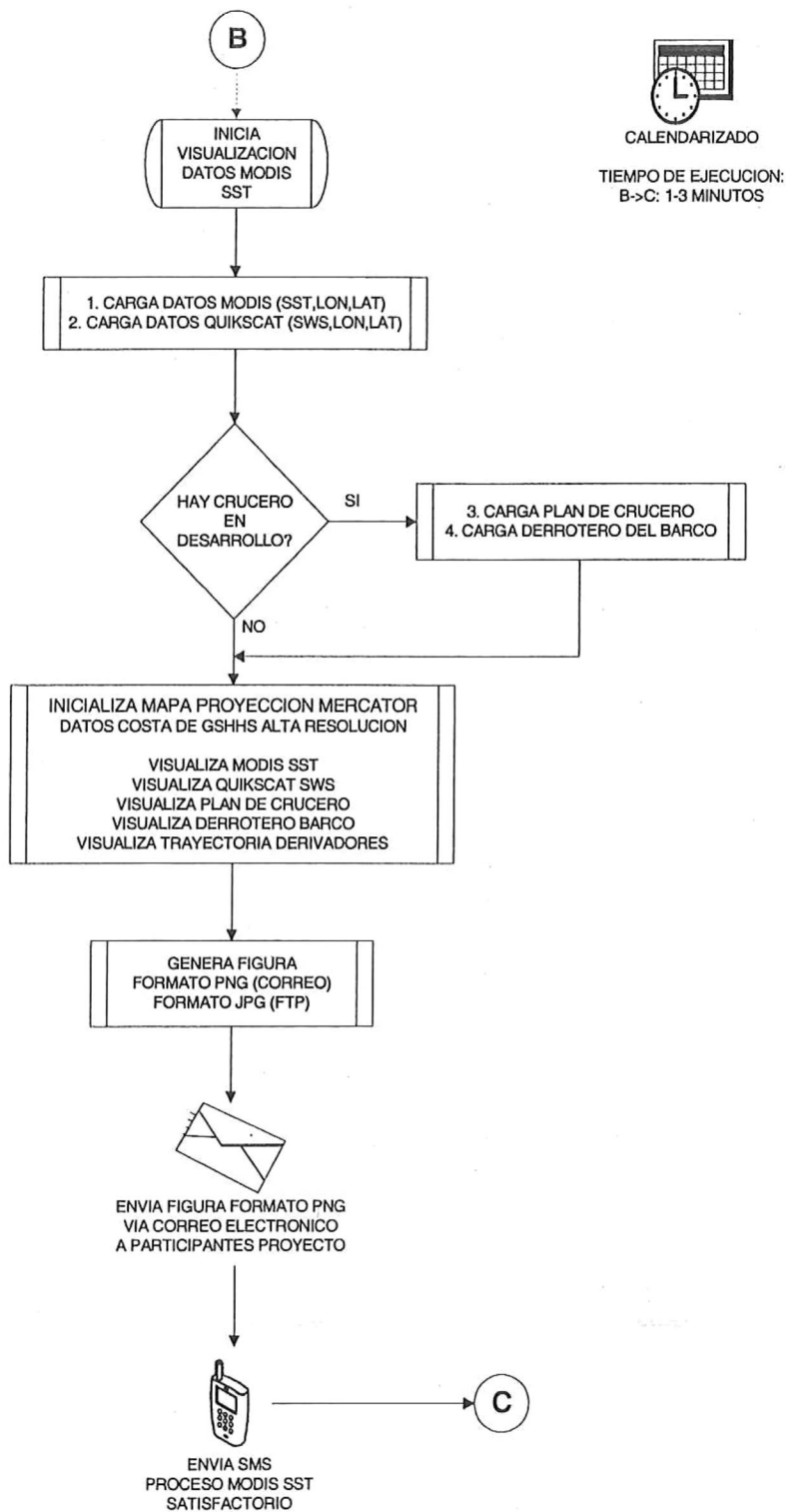


Figura 4.10: Diagrama de flujo para visualización de los datos de satélite de la temperatura superficial del mar de MODIS, esfuerzo superficial del viento de QuikSCAT, y derivadores Argos.

4.5.4 Visualización de la concentración de clorofila (MODIS)

El proceso de visualización de los datos de clorofila (MODIS) a los que se les superpone los vientos de QuikSCAT y la deriva de las boyas se muestra en la Figura 4.11. Preparamos los datos de costa obtenidos de GSHHS en proyección Mercator, utilizando el toolbox M_map. Iniciamos con el cargado a memoria de las matrices de MODIS (clorofila, longitud y latitud), de QuikSCAT (SWS, longitud y latitud). Si existe crucero activo entonces, también se cargan los datos del plan del crucero (“CRUCERO.DAT”) y el derrotero del barco (“DERROTERO.DAT”). Estos archivos tienen el siguiente orden en las columnas: longitud (grados) en columna 1, latitud (grados) en columna 2. Primero se grafica clorofila en el mapa, después se superpone el esfuerzo del viento, y la trayectoria de los derivadores (últimos 7 días aproximadamente), por último se grafican las posiciones de los lances del plan del crucero y la posición del barco (si existe crucero activo). Ver segundo párrafo de §4.5.2.

4.5.5 Visualización del coeficiente de atenuación difusa (MODIS)

El proceso de visualización de los datos del coeficiente de atenuación difusa (MODIS) a los que se les superpone los vientos de QuikSCAT y la deriva de las boyas se muestra en la Figura 4.12. Preparamos el escenario con los datos de costa obtenidos de GSHHS en proyección Mercator, utilizando el toolbox M_map. Iniciamos con el cargado a memoria de las matrices de MODIS (K490, longitud y latitud), de QuikSCAT (SWS, longitud y latitud). Si existe crucero activo entonces, también se cargan los datos del plan del crucero (“CRUCERO.DAT”) y el derrotero del barco (“DERROTERO.DAT”). Estos archivos tienen el siguiente orden en las columnas: longitud (grados) en columna 1, latitud (grados) en columna 2. Primero se grafica K_490 en el mapa, después se superpone el esfuerzo del viento, y la trayectoria de los derivadores (últimos 7 días aproximadamente), por último se grafican las posiciones de los lances del plan del crucero y la posición del barco (si existe crucero activo). Ver segundo párrafo de §4.5.2.

4.5.6 Adquisición y visualización de los datos de altimetría de Jason-1

La adquisición de los datos de altimetría no está calendarizado igual que las otras variables de satélite, debido a que la adquisición de los datos es completamente distinta. Los datos de altimetría son datos directos del satélite y se generan poco más de un archivo de registros a lo largo de la trayectoria por hora, con un retraso de tres horas aproximadamente con respecto a la pasada del satélite.

En la Figura 4.13 se muestra el diagrama del proceso de adquisición de los datos de altimetría. Los datos están organizados por ciclos, y cada ciclo contiene como máximo 254 archivos, que contienen cada uno registros (≤ 3360) de la anomalía del nivel del mar, longitud, latitud, fecha entre otras variables a lo largo de la trayectoria. Cada archivo corresponde a 56 minutos de adquisición de datos del satélite.

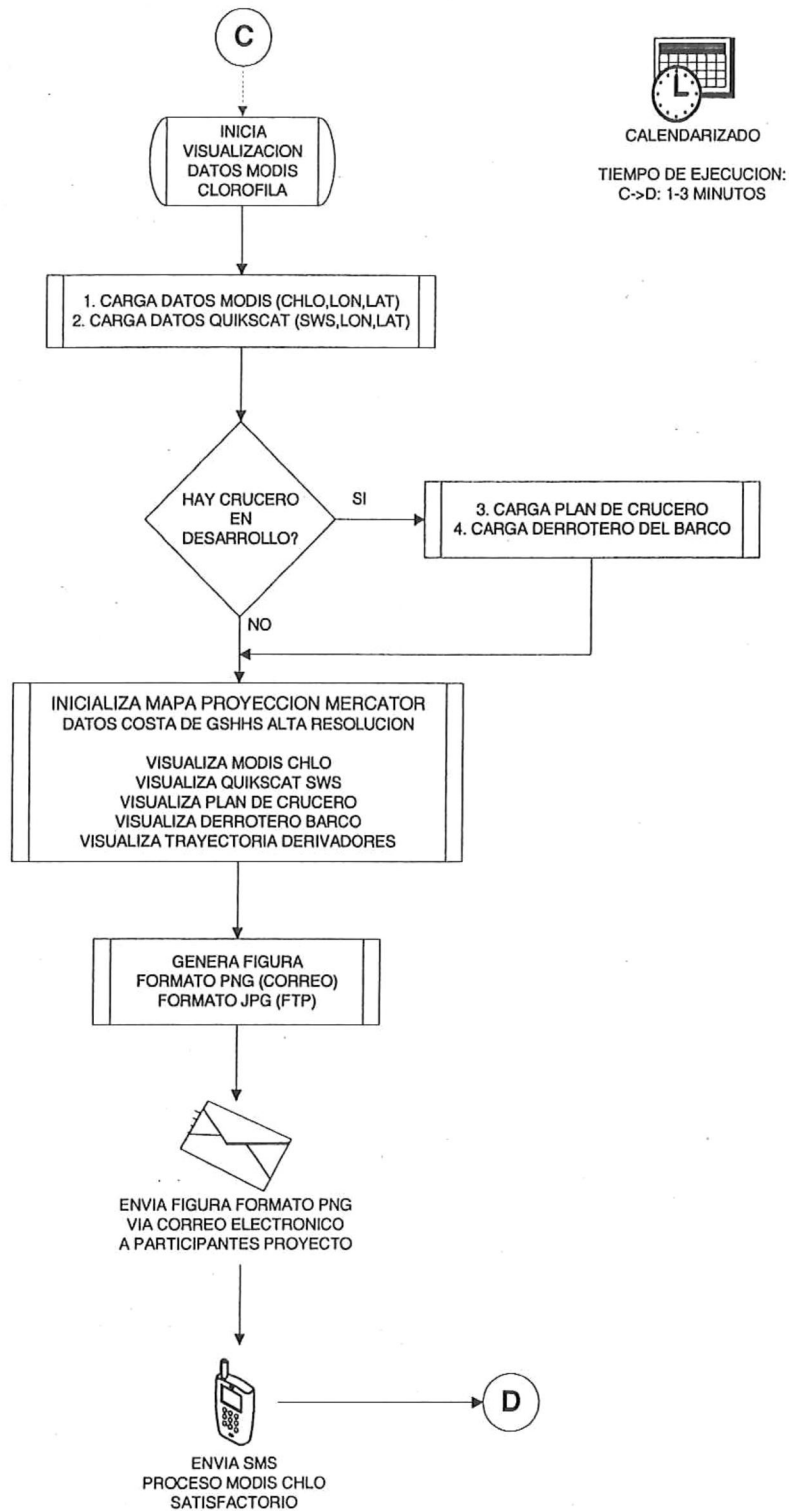


Figura 4.11: Diagrama de flujo para visualización de los datos de satélite de clorofila de MODIS, esfuerzo superficial del viento de QuikSCAT, y derivadores Argos.

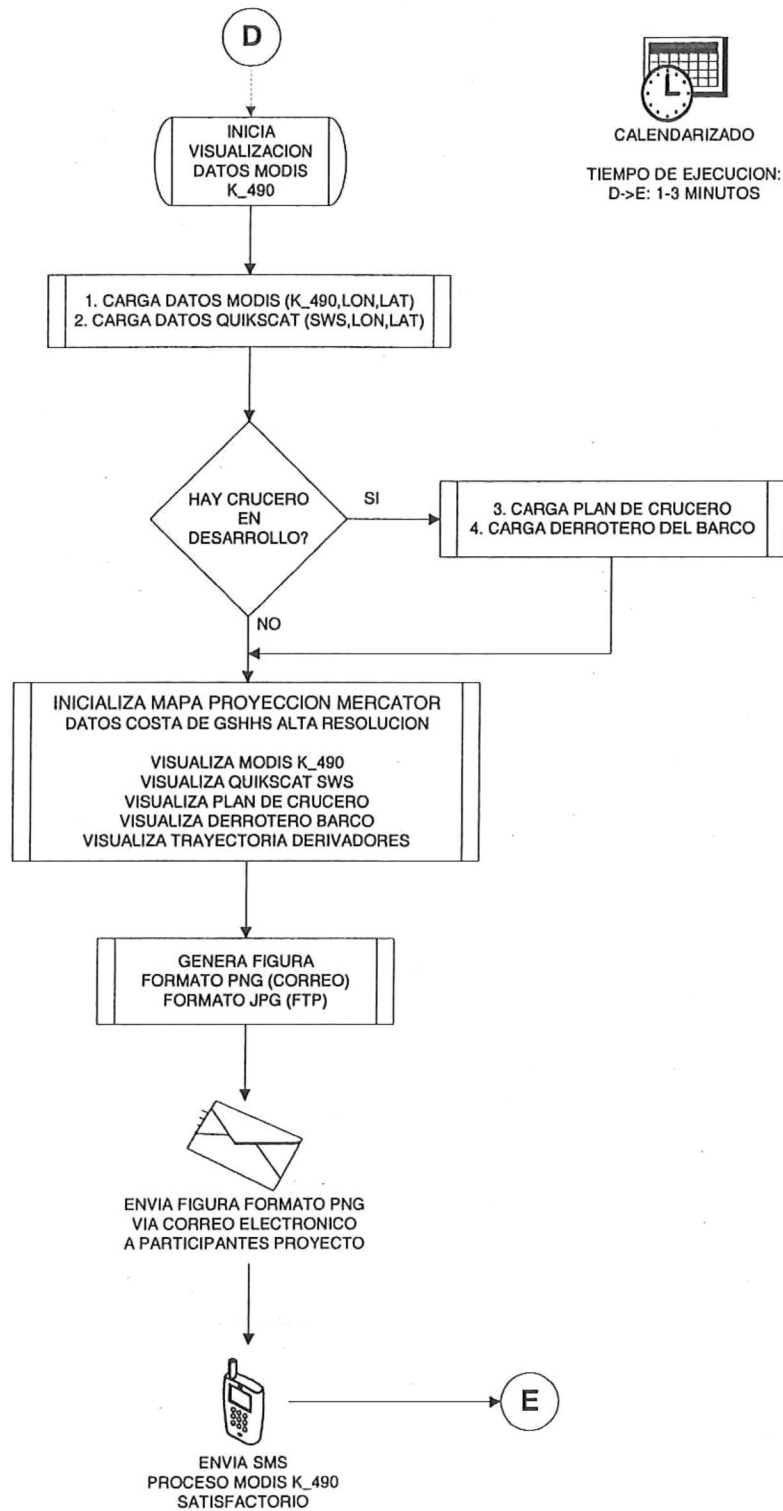


Figura 4.12: Diagrama de flujo para visualización de los datos de satélite de coeficiente de atenuación difusa de MODIS, esfuerzo superficial del viento de QuikSCAT, y derivadores Argos.

De esta forma, la adquisición de los datos inicia con la indicación al programa del ciclo en el que esta actualmente Jason-1. El sistema maneja un archivo al cual llamamos "JASON1_CYCLE.MAT", y con el cual se va controlando el cambio de ciclo de Jason-1 en el sitio FTP de PO.DAAC. Fija la época a la que están referenciados los datos (enero 1 de 1958, a las 00:00:00 horas). Se crea un archivo "SSHA_DATA_CICLOCCC.DAT" en el que se estarán guardando los datos seleccionados de la región para la creación de la malla. El programa entra en un ciclo en el cual va a leer 254 archivos del servidor de NASA JPL con la siguiente descripción para cada archivo "JA1_NRTSSHA_CCC.PPP"⁴.

Como la adquisición de altimetría esta calendarizada cada 12 horas, en un día se logran bajar si no hay fallas en los servidores y el satélite, alrededor de 25 archivos. Y en un lapso de 9.9156 días se bajan los 254 archivos de datos y se termina el ciclo.

Cada archivo de datos se va guardando en el banco de datos local. De esta manera el programa cada vez que inicia el proceso de bajar los datos, barre los 254 archivos, pero verifica primero si el archivo existe en el banco de datos local. Si ese archivo "JA1_NRTSSHA_CCC.PPP" existe, no lo baja de PO.DAAC y lo procesa directo. De esta manera aseguramos que siempre se este bajando la información más reciente de nivel del mar de las últimas 12 horas.

Si no existe el archivo "JA1_NRTSSHA_CCC.PPP" en el banco de datos local y no existe tampoco en el servidor de PO.DAAC, se incrementa el contador de pasadas que fallaron del satélite. Al final del ciclo (9.9156 días) este contador nos indicará el número de pasadas que fallaron durante el ciclo de Jason-1. Mientras se ejecuta la adquisición de datos, en la figura que se genera, se indica las pasadas que aún faltan para terminar el ciclo. Si la lectura del archivo es satisfactoria, se lee el archivo y se calcula el número de registros en el archivo "JA1_NRTSSHA_CCC.PPP". Si el número de registros es mayor que cero, entonces se procede a barrer el archivo para obtener la información. Si no hay registros entonces se manda el flujo del programa a leer la siguiente pasada del satélite.

El archivo contiene el encabezado que mide 406 bytes (7 registros). En total hay 21 variables en cada registro, cada registro es de 58 bytes y no hay más de 3360 registros por pasada. Entonces el satélite barre un punto geográfico (guarda un registro) aproximadamente cada 0.0173 segundos.

Las variables se leen y se va calculando la fecha en que el satélite adquirió el dato, y obtenemos longitud, latitud, anomalía del nivel del mar, etc (ver Tabla 3.2). Conforme se lee cada registro se van seleccionando los datos asociados a la región de estudio, se generan los vectores para las variables y se

⁴JA1: Jason-1.

NRT: Near Real Time.

SSHA: Sea Surface Height Anomaly.

CCC: Número de ciclo.

PPP: Número de pasada.

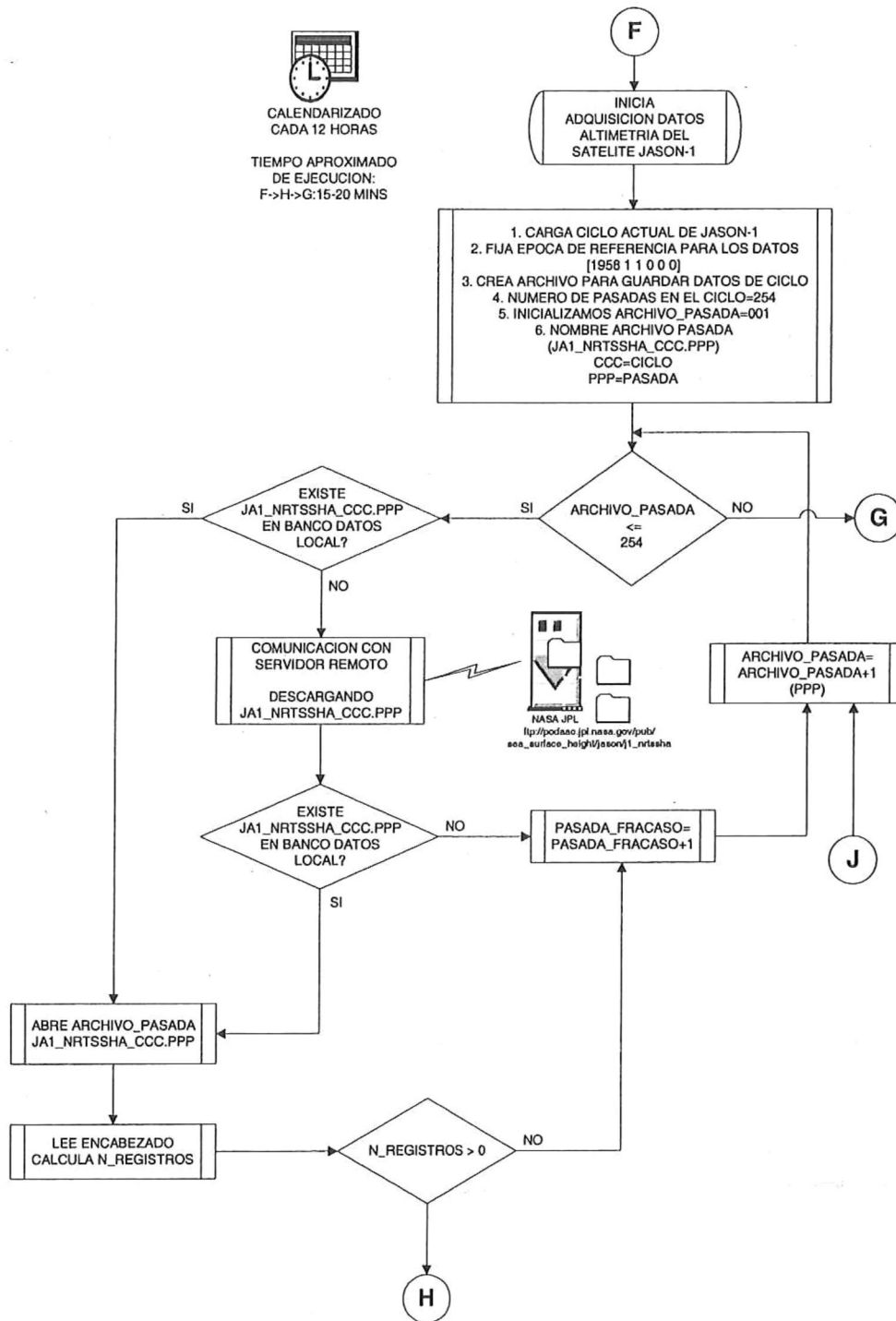


Figura 4.13: Diagrama de flujo para la adquisición de los datos producidos por el satélite Jason-1 y adquiridos cercano al tiempo real através del sitio de PO.DAAC.

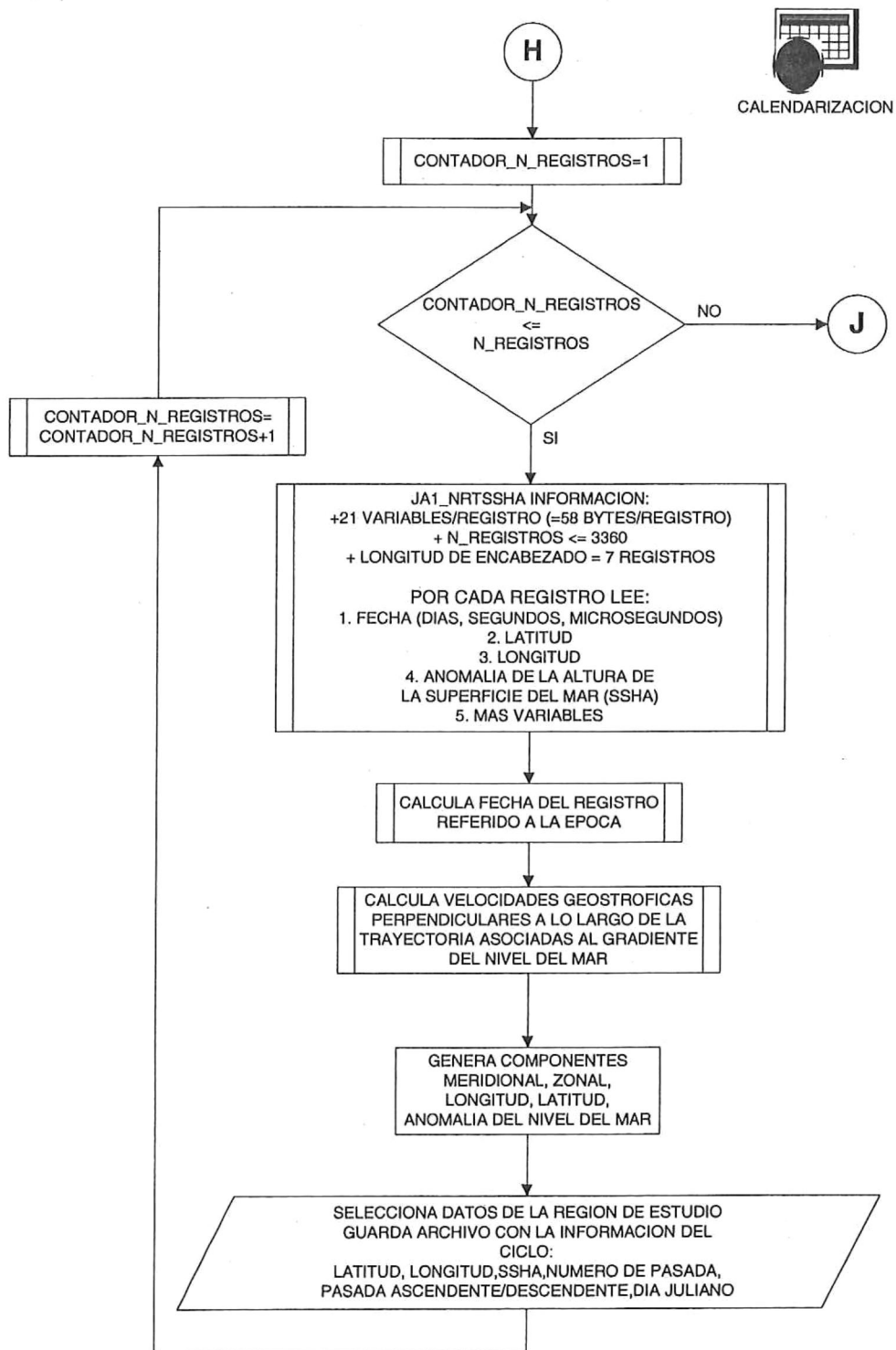


Figura 4.14: Diagrama de flujo para la lectura de los datos de los archivos "JA1_NRTSSHA_CCC.PPP" que crea el satélite Jason-1.

calculan las velocidades geostróficas asociadas al nivel del mar,

$$u = -\frac{g}{f} \frac{\partial \eta}{\partial y}$$

$$v = \frac{g}{f} \frac{\partial \eta}{\partial x}$$

donde u, v : son las componentes longitudinal y latitudinal perpendiculares a la trayectoria, f : es el parámetro de Coriolis, y g : es la fuerza de gravedad.

Cada vez que lee un registro y verifica que está dentro de la región de estudio, lo va escribiendo en un archivo de datos el cual contiene los datos necesarios (*latitud, longitud, anomalía del nivel del mar, número de pasada, paso ascendente/descendente, día juliano*) para cuando termine el ciclo de Jason-1 pasar la información para crear la malla bidimensional de anomalía del nivel del mar.

Cuando la adquisición de datos ha barrido los 254 archivos, comienza el proceso de visualización como se muestra en la Figura 4.15. Preparamos el escenario con los datos de costa obtenidos de GSHHS en proyección Mercator, utilizando el toolbox `M_map`. Grafica los datos de anomalía del nivel del mar a lo largo de la trayectoria y las velocidades geostróficas asociadas. Ver segundo parrafo de §4.5.2.

Si el ciclo ha terminado (9.9156 días de datos o 254 pasadas) entonces el proceso sigue con la generación de la malla interpolada de anomalía del nivel del mar. Al completarse el ciclo (254 archivos) entonces incrementamos la variable de control para el ciclo de Jason-1 en uno y lo guardamos en el archivo "JASON1_CYCLE.MAT" para que en la siguiente corrida de la calendarización inicie con el nuevo ciclo de Jason-1.u

Iniciando con el proceso de generación de la malla bidimensional de anomalía de nivel del mar de Jason-1, primero cargamos los datos de Levitus NODC-WOA98⁵ de $\frac{1}{4}^\circ$ y calculamos la anomalía geopotencial a partir de la temperatura, salinidad y densidad obtenida por Levitus. Los valores de las anomalías sobre las trayectorias son mapeadas objetivamente utilizando un función típica de correlación Gaussiana con errores relativos de 0.1 y escalas de decaimiento de 100 km. La decisión de usar mapeo objetivo con estos valores de errores y decaimiento se debe a que son los usados en los cruceros oceanográficos históricos llevados a cabo en el área de los proyectos involucrados. Finalmente los valores de anomalía del nivel del mar en una malla son sumados al nivel del mar en la media temporal calculados de Levitus y referidos a 1000 m de profundidad (profundidad de no movimiento). La interpolación objetiva se hace a los datos de Jason-1 obtenidos de la región de estudio en el archivo creado "SSHA_DATA_CICLOCCC.DAT".

Ya que se hizo el análisis y corrección de los datos, preparamos el escenario con los datos de costa obtenidos de GSHHS en proyección Mercator, utilizando el toolbox `M_map`. Y visualizamos altimetría en 2-Dimensiones, superponiendo las trayectorias de los derivadores.

⁵Levitus (<http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.nodc.woa98.html>) es un banco de datos oceanográfico los cuales se puede estimar a partir de temperatura, salinidad y presión la altura geopotencial referida a un nivel de referencia. NODC: National Oceanographic Data Center, WOA: World Ocean Atlas.

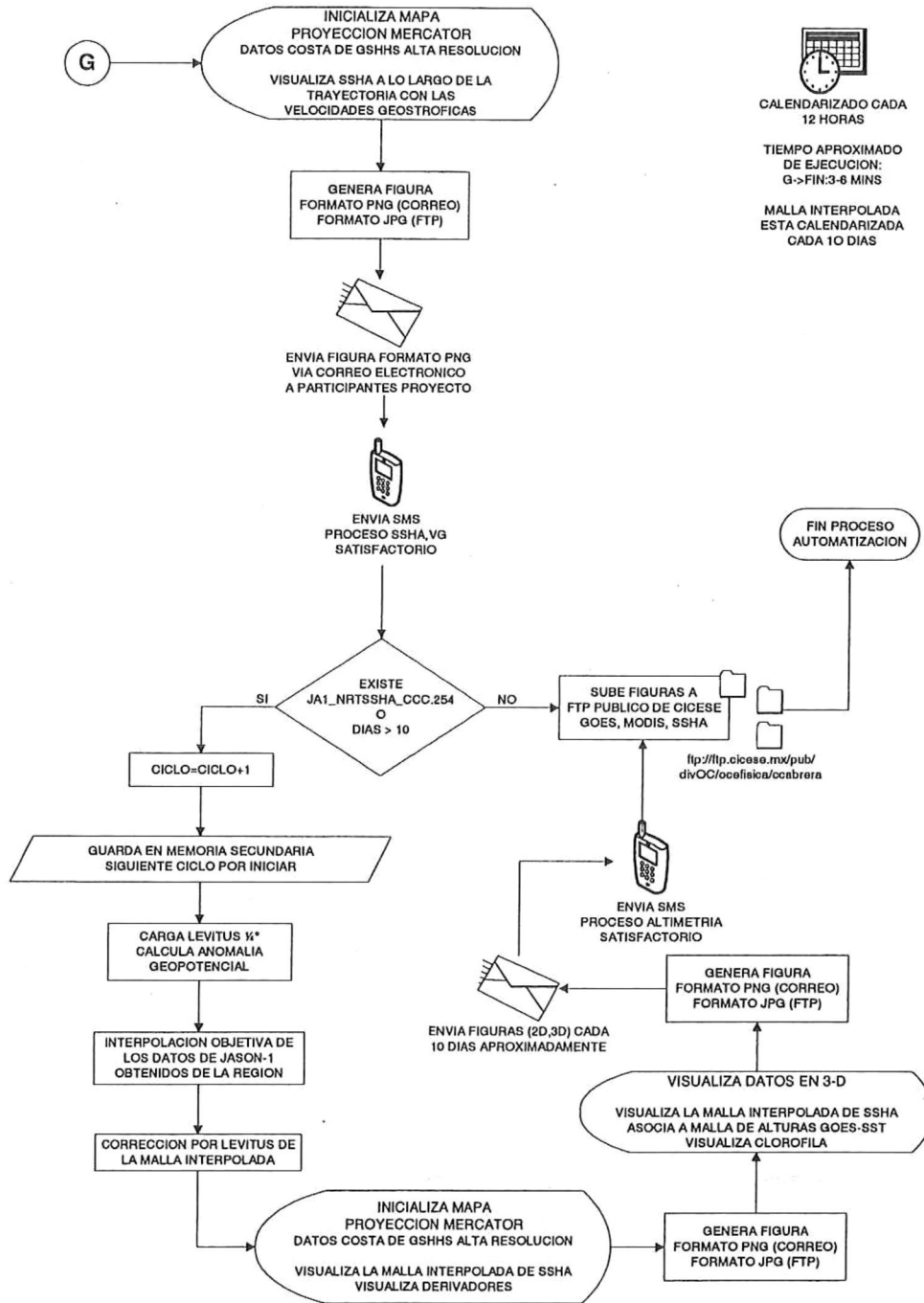


Figura 4.15: Diagrama de flujo para el proceso de visualización de los datos de anomalía del nivel del mar.

Software	Acción
WINRAR	Descomprimir archivos BZ2
WGET	Descargar archivos de un sitio FTP
FEBOOTIMAIL	Enviar correos electrónicos
WINZIP	Descomprimir archivos ZIP

Table 4.1: Programas auxiliares utilizados en la automatización.

Y también generamos una figura en tres dimensiones donde visualizamos altimetría, y asociamos a la topografía del nivel del mar, la temperatura superficial del mar de GOES. En el plano $z = 0$ visualizamos la variable de temperatura superficial.

Una vez que se han visualizado las variables se generan dos figuras, ambas en formato PNG. Las figuras de altimetría aún no están disponibles al público, sólo a los integrantes del proyecto. Por lo tanto, estas figuras no se suben al FTP del CICESE. Una vez que se envían las figuras por correo, finalmente, se envía un mensaje SMS al celular indicando que el proceso SSHA GRIDDED ha sido satisfactorio. Esta parte de la automatización se logra cada diez días. Este momento exige que se hayan ejecutado todas las instrucciones programadas y desarrolladas, que en líneas de código se traduce en alrededor de 2000 líneas de sentencias en lenguaje de MatLabTM, distribuidas en diferentes módulos programados.

4.6 Programas utilitarios en la programación

Toda la programación se desarrolló en MatLab, sin embargo se usaron otros programas alternos que brindaron un beneficio considerable a la automatización, los cuales se presentan en la tabla 4.1.

Estos programas son gratis (freeware) a excepción del WinZIP que tiene licencia. En PO.DAAC usan el formato BZ2 para comprimir los datos HDF, y en algunas otras versiones de datos usan el formato de compresión ZIP. WinRAR permite en su versión gratis descomprimir archivos sin una ventana de diálogo lo cual es útil al automatizar el procesamiento de los datos. WinZIP permite descomprimir sin ventana de diálogo sólo con la licencia. El envío de correo electrónico se hizo inicialmente con el programa FEBOOTIMAIL el cual tiene todos los parámetros para el envío del correo, como: dirección destino, dirección fuente, tema, texto del mensaje, atado de archivos, con copia para, y copias ciegas. La versión actual de la automatización ya no usa este programa, ya que MatLab también incluye un soporte de rutinas para enviar correos electrónicos con todos los parámetros que un correo requiere. Los datos puestos en los servidores de FTP tanto de NASA, como de NOAA son gratis y a disposición de los usuarios, tienen asociada una trayectoria (liga URL-Uniform Resource Locator) en Internet. El programa WGET permite pasarle como parámetro el URL y descarga el archivo indicado. Dependiendo de la disponibilidad del servidor, privilegios, y derechos de acceso, se descargará el archivo. Este programa tiene un papel muy importante dentro de la automatización

ya que es el que realiza la descarga de todos los datos diariamente.

Parte III

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Capítulo 5

Resultados

5.1 Introducción

Se muestran los resultados más significativos en un par de cruceros. Sin embargo el sistema ya ha sido utilizado en varios cruceros, con excelentes resultados. Actualmente está ofreciendo servicios de monitoreo en otras regiones del planeta.

El primer crucero del que hablaremos se desarrolló durante agosto del 2004, al cual llamaremos NAME II, y el otro crucero se desarrollo durante junio de 2005, al cual llamaremos PROCOMEX.

En el apéndice A se presenta una breve descripción de la evolución de la oceanografía física (específicamente el avance en cruceros) desde sus inicios, hasta esta nueva modalidad de seguir un crucero. También, un papel muy importante en la adquisición de datos *in situ* lo juega el B/O Francisco de Ulloa (o cualquier otra embarcación de caracter científico) con el equipamiento del instrumental científico con que cuenta, y que permite en cierta medida la colección de los datos observacionales. En el apéndice B se presenta una descripción de las características del B/O Francisco de Ulloa, propiedad de CICESE [<http://oceanografia.cicese.mx>].

5.2 NAME II

Este crucero oceanográfico se desarrolló los días 5 al 21 de agosto de 2004. El proyecto NAME (North American Monsoon Experiment), durante el 2004 tuvo dos cruceros, siendo NAME I (junio 5 al 21, 2004), el crucero que usó la primera versión de la automatización y con el cual se fueron ampliando las ideas para mejorar el desarrollo. En NAME II el uso de la aplicación permitió tener mediante el análisis de las imágenes de satélite, la modificación del plan del crucero y así tener una mejor calidad en el muestreo de la región de investigación.

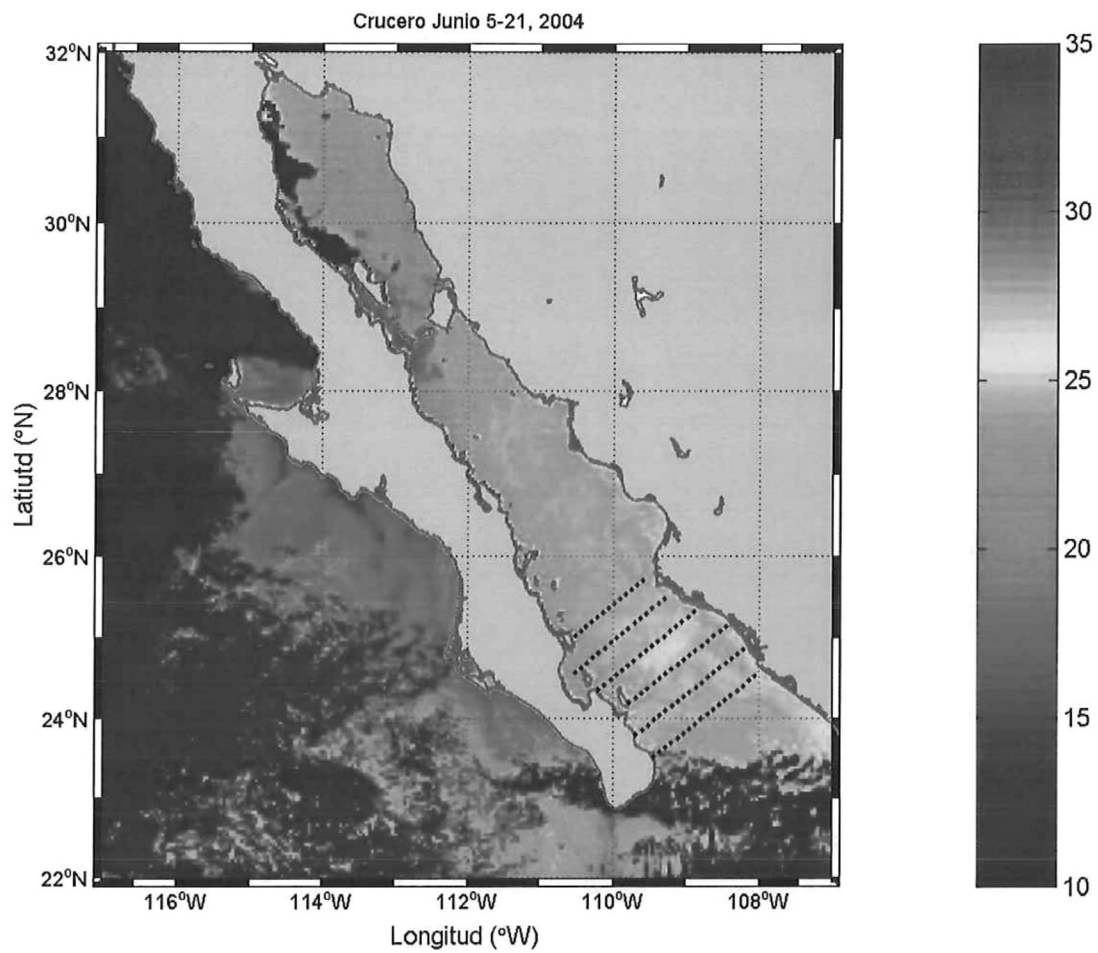


Figura 5.1: Plan de crucero original, programado desde tierra para el período del muestreo en el B/O Francisco de Ulloa.

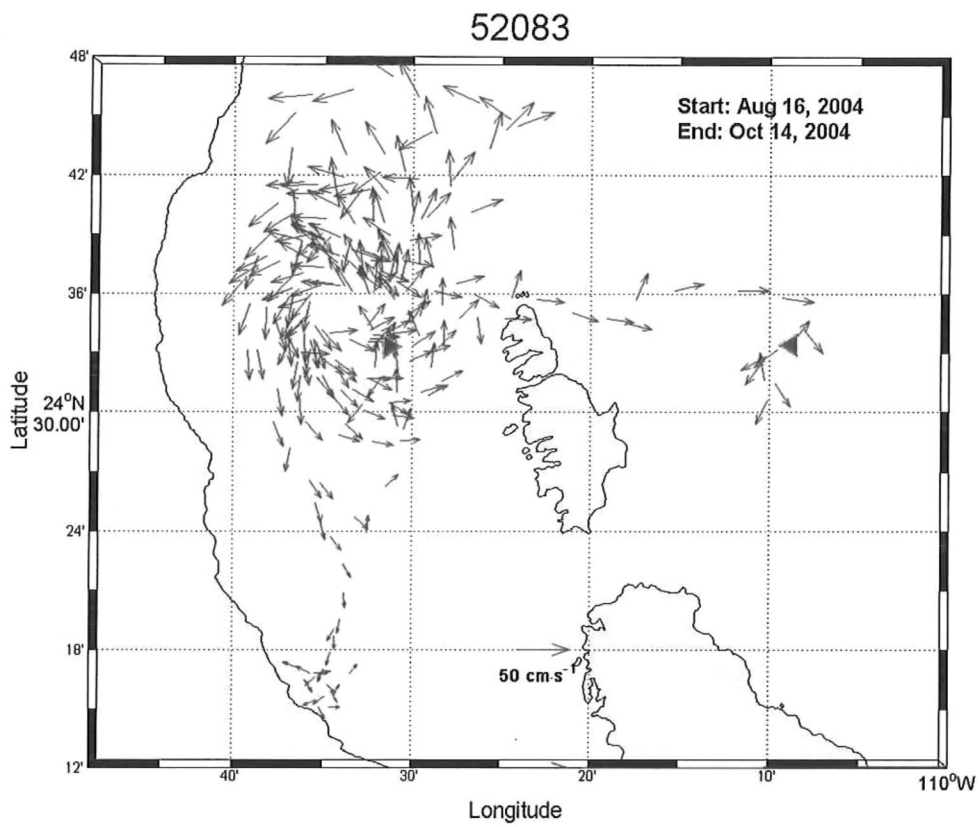


Figura 5.2: Derivador que mostraba un giro ciclonico en la Bahía de La Paz durante el desarrollo del crucero NAME II.

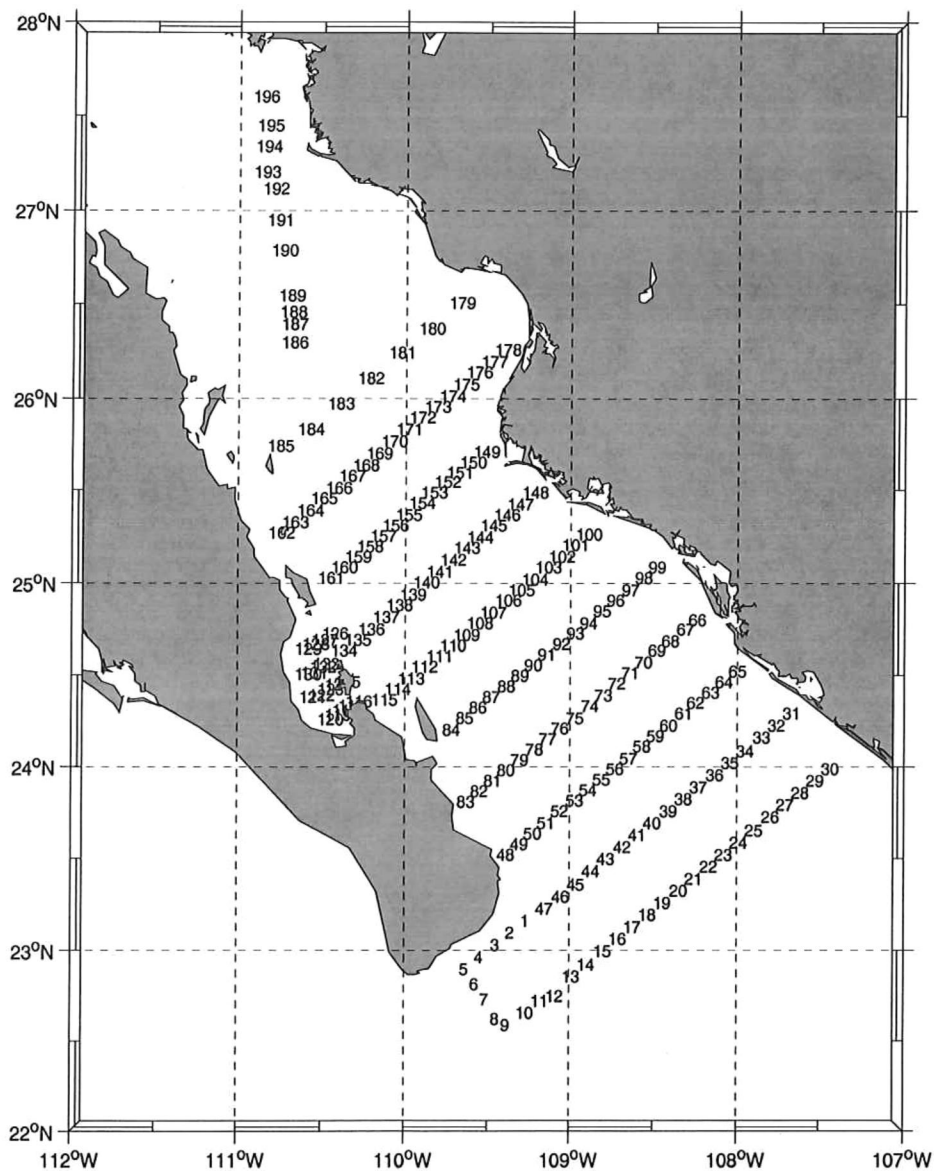


Figura 5.3: Así quedó el plan de crucero del proyecto NAME II al final del experimento, usando el sistema de monitoreo del océano.

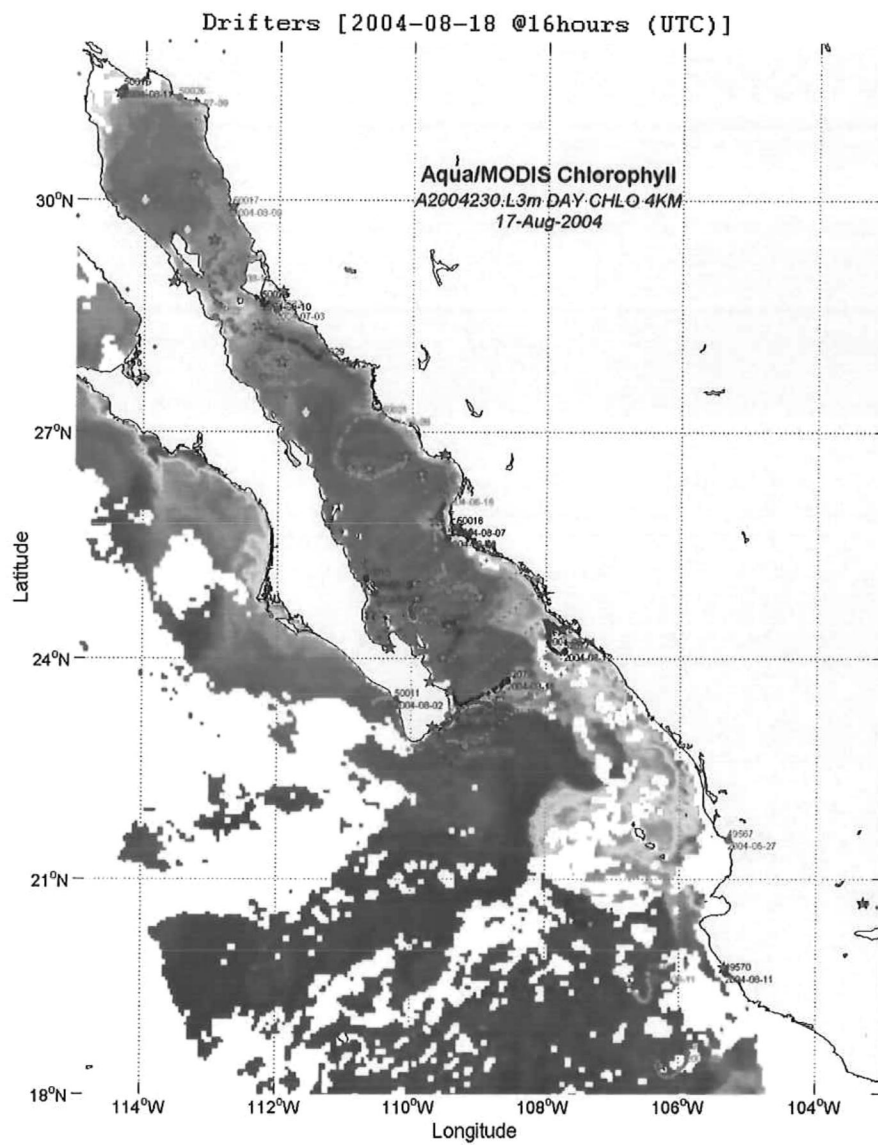


Figura 5.4: Esta imagen muestra los giros en la clorofila en la región central del Golfo de California.

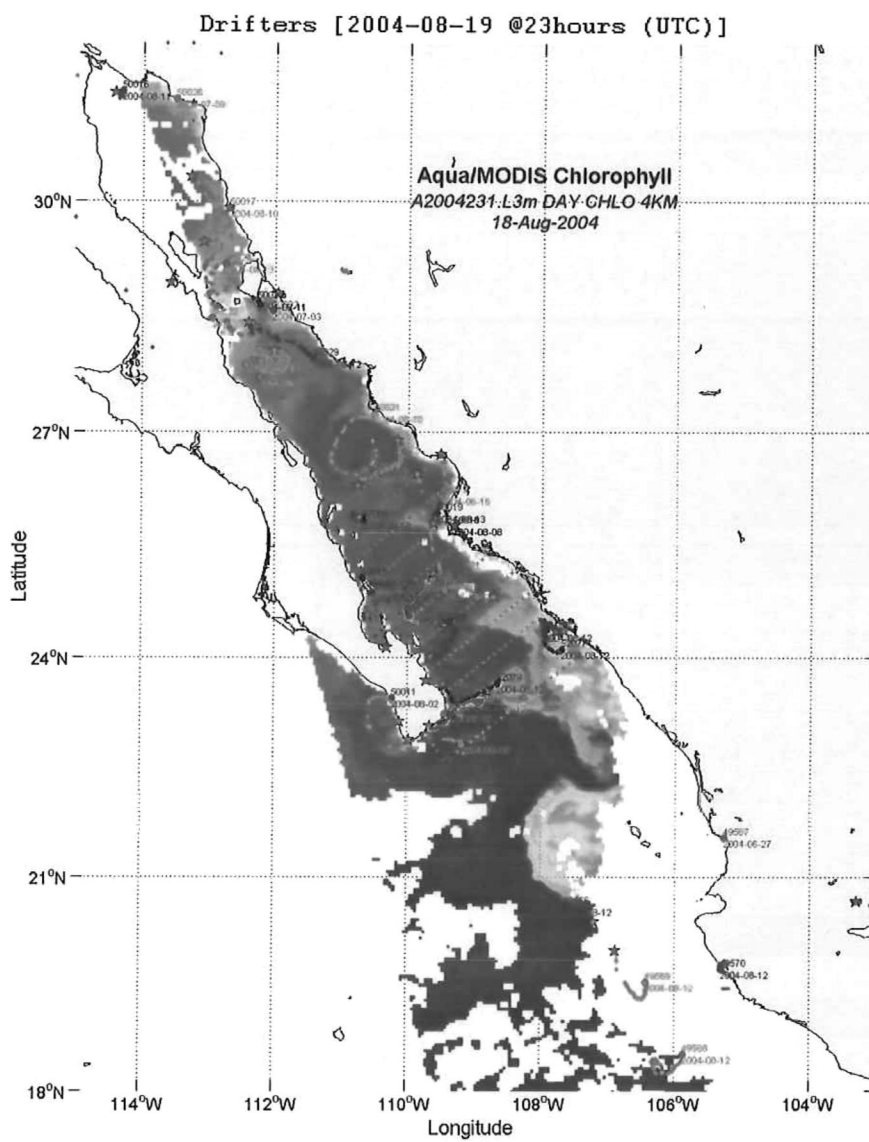


Figura 5.5: Esta imagen muestra la persistencia de los giros mostrados en la clorofila en la región central del Golfo de California y por el cual se trazo una nueva línea de muestreo de sur a norte para medir el giro.

5.2.1 Objetivos

El clima y la economía de las regiones del Noroeste de México, Arizona y Nuevo México, Estados Unidos, está fuertemente ligados al Monzón de Norte América (NAM), debido a que éste provee un porcentaje importante de la lluvia anual en estas regiones [Higgins et al., 1999]. Estudios recientes sugieren que la temperatura superficial del Golfo de California es importante en la modulación de la circulación atmosférica circundante durante el período del NAM. El flujo de humedad hacia el norte debido al monzón, entre mayo y agosto, parece estar relacionado con el avance hacia el interior del golfo de la isoterma superficial de 26°C. El objetivo del estudio era establecer la importancia relativa de la advección de calor oceánica y los flujos de calor locales en el control de la evolución de la temperatura superficial del mar durante el NAM.

5.2.2 Resultados

Durante el desarrollo del plan de crucero original (Figura 5.1), se observó en las imágenes de clorofila (MODIS) la presencia de un gran giro al norte de la malla de muestreo. En vista de que uno de los objetivos del crucero era estimar el efecto de estos giros en el transporte de calor, y que la estructura subsuperficial de estos giros nunca ha sido observada en detalle con técnicas oceanográficas modernas, se decidió modificar el plan original del crucero, diezmando las estaciones de la líneas más al norte y añadiendo una línea de estaciones que cruzara el giro de sur a norte (Figura 5.3), cruzando el giro por el centro, para que el ADCP del barco y los lances de CTD pudieran medir la estructura vertical del giro (Figura 5.4) y a además se decidió colocar derivadores Argos en la zona del giro. En la Figura 5.5 de un día después se siguen manifestando los giros en la clorofila de manera persistente.

También, se observó que un derivador ingresó a la Bahía de La Paz, B.C.S, mostrando un giro ciclónico en la bahía (Figura 5.2). En investigaciones anteriores, existía el antecedente de giros en la región de la bahía, pero estimados con cálculos geofísicos. Debido a esto, se envió el barco a medir la estructura vertical del giro en la bahía, realizando una serie de transectos (Figura 5.3). El ADCP instalado en el casco del barco se encarga de hacer el registro de las corrientes mientras el barco está navegando.

5.3 PROCOMEX II

El proyecto PROCOMEX (PRograma OCeanográfico del Occidente de MÉXico) que estudia la dinámica, termodinámica y producción primaria de la Corriente Costera Mexicana, se desarrolló durante el mes de junio del 2005, realiza observaciones en la zona oceánica frente a Cabo Corrientes. Estos cruceros forman parte del proyecto de grupo CoNaCyT "Transformación y perspectivas de las actividades portuarias, pesqueras y turísticas en el litoral occidental mexicano", en el cual participan CICESE, El Colegio de México y el Colegio de Michoacán.

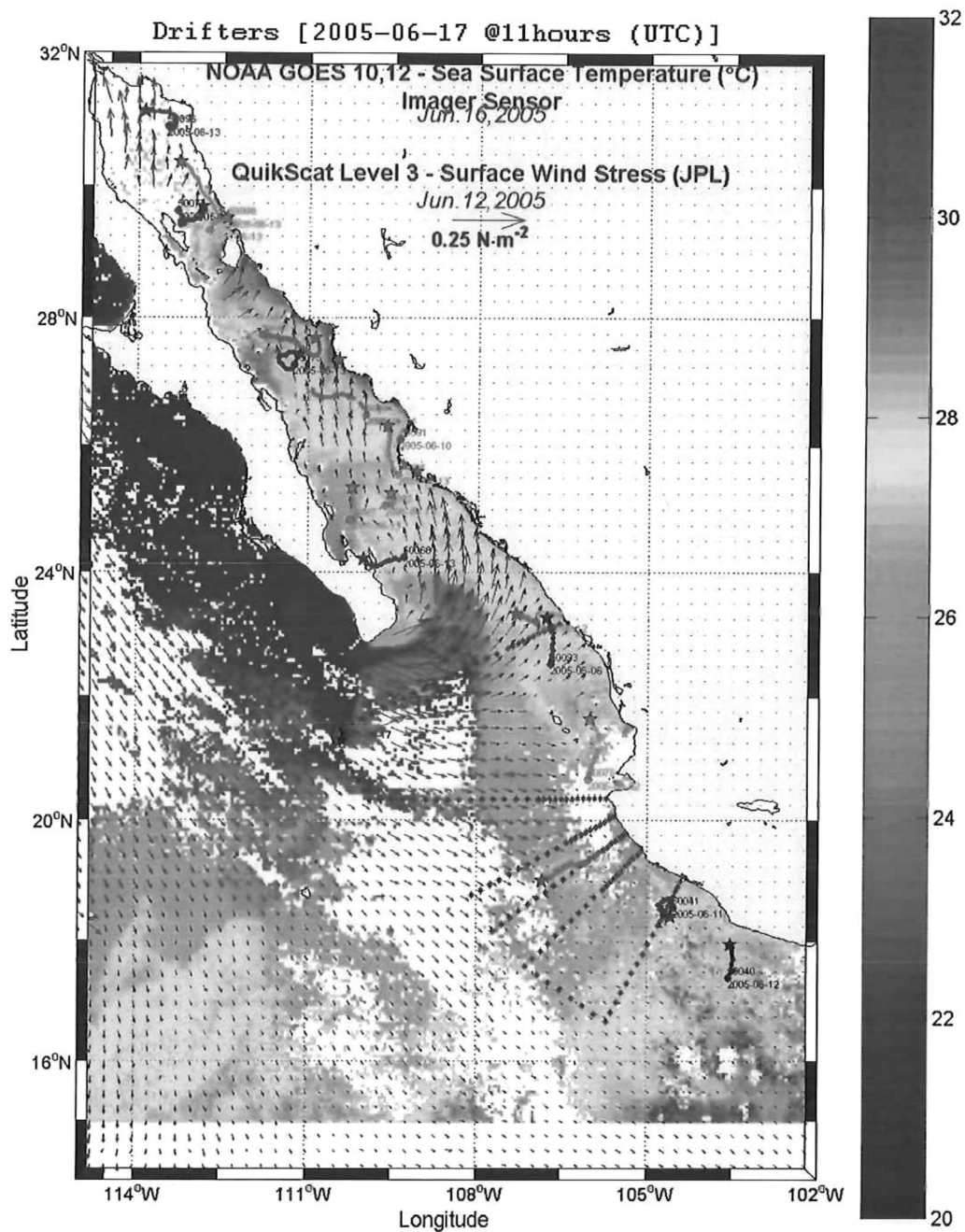


Figura 5.6: Imagen de satélite obtenida el día 17 de junio del 2005, para localizar el punto en donde lanzar los derivadores durante el crucero PROCOMEX.

5.3.1 Objetivos

El objetivo general del proyecto PROCOMEX es realizar el primer estudio del ecosistema pelágico de la plataforma continental y el océano adyacente del suroeste de México. Más específicamente, se pretende documentar la oceanografía física, química y biológica de la zona costera desde Bahía de Petacalco hasta Cabo Corrientes y las zonas adyacentes sobre la plataforma continental y la zona oceánica exterior se estudian los procesos de surgencia, la Corriente Costera de Costa Rica, y el efecto de la descarga de los Ríos Balsas y Santiago sobre la hidrografía local [Godínez, et al. 2003.].

5.3.2 Resultados

Durante el muestreo de la última línea del crucero se tenía que decidir donde lanzar los últimos derivadores Argos, con el fin de monitorear la rama de la Corriente de California que tiene dirección sureste, y buscar el momento de máxima intrusión de agua superficial fría para lanzar los derivadores.

Capítulo 6

Conclusiones

Monitorear el clima oceánico desde tierra para retroalimentar la programación previa de un crucero siempre tendrá consecuencias positivas. Sirve para reafirmar el plan de crucero o bien para trasladarse a lugares donde se encuentra la información importante de la variabilidad. Algunos aspectos importantes en este trabajo: es una aplicación a muy bajo costo, tanto por el lado de la programática, así como el software usado para el desarrollo y la adquisición de las imágenes de satélite son distribuidas sin costo.

Este software permite ser instalado con mucha facilidad en otro equipo de cómputo de similares características. Solamente es necesario cambiar las coordenadas geográficas de la región a monitorear y dar de alta (correo electrónico) la lista de participantes en el proyecto y configurar variables globales del sistema. Se puede tener un servidor FTP si se desea compartir la información con el exterior. Calendarizar la adquisición de las imágenes de satélite, y el proceso de análisis y visualización de la información. Poner el equipo en horario UTC. Y el sistema estará listo para comenzar a enviar resultados a los usuarios.

6.1 Futuro

Debido a que éste es un tema en permanente crecimiento, y a lo innovador, continuamente se están haciendo mejoras al programa, por ejemplo:

1. Nuevas fuentes de datos de satélite que brinden mas resolución (< 4 km).
2. De acuerdo al tipo de usuario o tipo de investigación, agregar más variables de monitoreo (color del océano, plankton, aerosol, etc).
3. Para el 2006 habrá un nuevo sistema de satélites Aquarium que brindará las primeras distribuciones de concentración de sal en el océano, que permitan entender más del balance de agua en el océano superficial.

4. En un futuro próximo, el barco de CICESE B/O Francisco de Ulloa podrá tener una terminal de comunicación marítima (Inmarsat u otra tecnología) con capacidad de envío y recepción de datos, video, texto, imágenes, etc.
5. Crear un sistema en Internet que permita dar de alta a usuarios y que desde el web soliciten el monitoreo de su región de interés.

Referencias

- [1] Amador Buenrostro, A. y Figueroa Rodríguez, M., 1997. Glosario de Términos Oceanográficos, en: M.F. Lavín, Contribuciones a la Oceanografía Física en México, Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana, p. 265-272.
- [2] Argos Sitio Internet, <http://www.cls.fr>
- [3] Desai Shailen D., Bruce J. Haines and Kelley Case, 2003. Near Real Time Sea Surface Height Anomaly Products for Jason-1 and Topex/Poseidon, User Manual, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology. JPL D-26281.
- [4] Fosdick, Lloyd D., Jessup, Elizabeth R., Schauble, Carolyn J.C. and Domik Gitta, 1996. An Introduction to high-performance scientific computing, MIT press, 760 pp.
- [5] Hamman K, Gregory, 2005. Comunicación personal.
- [6] Higgins, R.W.; Y. Chen and A.V. Douglas, 1999. Interannual variability of the North American warm season precipitation regime. *J. Climate*, 12, 653-680.
- [7] Huddleston, J.N. and B.W. Stiles, 2000. Multidimensional Histogram (MUDH) Rain Flag Product Description, Version 2.1, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA.
- [8] Large, W. G., and S. Pond, 1981. Open ocean flux measurements in moderate to strong winds. *J. Phys. Oceanogr.*, 11, 324-336.
- [9] Matlab, Sitio Internet, <http://www.mathworks.com>
- [10] MatLab, User Guide, version 6.5.
- [11] MODIS Sitio Internet, <http://disc.gsfc.nasa.gov/MODIS>
- [12] NASA Sitio altimetria, <http://sealevel.jpl.nasa.gov>
- [13] NOAA Coastwatch, Sitio Internet, <http://coastwatch.noaa.gov>

- [14] Peraza Vizcarra, Ramón, Breve historia de la Oceanografía, Sitio en Internet:
<http://www.itmarmaz.edu.mx>
- [15] Physical Oceanography, DAAC, Sitio Internet, <http://podaac-www.jpl.nasa.gov>
- [16] QuikSCAT, NASA/JPL, Sitio Internet, <http://winds.jpl.nasa.gov/missions/quikscat/index.cfm>
- [17] SeaWinds on ADEOS-II Level 3-Derived Multialgorithm Surface Wind Stress (JPL), NASA JPL, Physical Oceanography DAAC, Version 1.0, November 2003, D-27555.
- [18] Tang, W., and W. T. Liu, 1996. Equivalent Neutral Wind, JPL Publication 96-17.

Parte IV

APÉNDICES

Apéndice A

Oceanografía Física: una perspectiva histórica

A.1 Introducción

La Oceanografía es una ciencia multidisciplinaria que estudia los mares mediante la física, química, biología y geología. La oceanografía física tiene por objeto el estudio de la dinámica de los mares, de su fisiografía, de las profundidades y variaciones de temperatura, presión y densidad, etc. La oceanografía química se ocupa de la composición del agua del mar, de los problemas que plantea la disolución de gases en el agua, etc. La oceanografía biológica estudia la fauna y flora marinas.

Los conocimientos adquiridos en la antigüedad por pescadores, balleneros, marinos y exploradores se limitaban a la acumulación de observaciones superficiales, relacionadas por lo general con la navegación (deriva de barcos) y la localización de las principales zonas pesqueras. Hubo que esperar hasta la revolución científica de los siglos XVII y XVIII para que despertara el interés por el estudio de los océanos. Así, el físico y matemático inglés Robert Hooke (1635-1703) diseñó instrumentos para recoger muestras de agua, registrar la profundidad y medir la temperatura.

Hacia 1670, el químico y físico irlandés Robert Boyle (1627-1691) investigó la salinidad en profundidad. El italiano Louis Ferdinand de Marsigli (1658-1730) estudió en 1679 las corrientes superficiales y profundas del estrecho del Bósforo, comprobando que el agua de menor salinidad fluía desde el mar Negro hacia el Mediterráneo, mientras que el agua más salada circulaba en el sentido opuesto y a mayor profundidad. En 1725, Marsigli publicó su obra *Historia Física del Mar*, considerado como el primer análisis oceanográfico completo: un estudio de la temperatura, salinidad, corrientes, sedimentos, flora y fauna del Mediterráneo oriental. Lavoisier (1743-1794), quien con sus estudios sobre la combustión y la ley de la conservación de

la materia se erigió en fundador de la química moderna, publicó en 1776 un análisis químico del agua del mar. Gaspar-Gustave de Coriolis (1792-1843), físico y matemático francés, describió la fuerza aparente que lleva su nombre y que tiende a desviar hacia la derecha las partículas móviles del hemisferio septentrional y hacia la izquierda las del hemisferio meridional. Esta fuerza afecta tanto a la navegación aérea como a la marítima, pero fundamentalmente en las aguas en movimiento de períodos largos.

A.2 Expediciones oceanográficas históricas

A.2.1 Edmund Halley (1657-1742)

Astrónomo británico, Halley (por el famoso cometa que lleva su nombre) hizo probablemente el primer viaje científico –para estudiar la variación del compás magnético – navegando hasta los 52° S en el Océano Atlántico de 1698-1700. En una expedición anterior a St. Helena, hizo una contribución importante al conocimiento de los vientos.

A.2.2 James Cook (1728-1779)

En sus tres grandes viajes entre 1768 y 1780, Cook llevó a naturalistas en sus naves e hizo observaciones cuidadosas de vientos y de corrientes. Durante el segundo viaje los hermanos Forster midieron temperaturas subsuperficies y encontraron una capa profunda caliente debajo del agua superficial antártica.

A.2.3 Francois Peron (1775-1810)

Naturalista y físico francés, Peron acompañó en una expedición francesa alrededor del globo de 1800-1804. Él pudo hacer sólo algunas mediciones inciertas de la temperatura, pero fue impresionado por la investigación del mar que había recibido muy poca atención.

A.2.4 Ivan F. Kruzenstein (1770-1846)

Estuvo al mando de una circunnavegación rusa de 1803-1806 y fue acompañado por el Dr. J. C. Horner que con él hizo numerosas medidas a profundidad de la temperatura del mar en el Pacífico tropical y el Mar de Okhotsk.

A.2.5 William Scoresby (1789-1857)

Scoresby hizo muchas observaciones superficiales y profundas en los mares alrededor de Spitsbergen y fuera de la costa de Groenlandia entre 1810 y 1822.

A.2.6 H. M. S. Challenger (1872-1876)

Se considera que la oceanografía moderna inicia con la expedición Inglesa Challenger efectuada en el océano mundial entre 1872 y 1876. El Challenger fué un barco de guerra (corbeta) de 2306 toneladas, equipado con un sistema auxiliar de vapor, como complemento a sus velas. Para hacer sitio al equipo oceanográfico, se tuvieron que quitar todos menos dos de los 18 cañones del barco. El equipo incluía instrumentos para sondeos, obtención de muestras de fondo y cálculo de temperaturas submarinas; tornos y una bomba mecánica; 230 kilómetros de cuerda de sonda y 20 kilómetros de cable; pesos, redes, dragas, una pequeña biblioteca, cientos de instrumentos científicos variados y alcohol para conservar los ejemplares. La tripulación del barco era militar bajo el mando del capitán George S. Nares. El muestreo oceanográfico estuvo bajo la responsabilidad de un grupo de seis científicos civiles bajo la dirección de C. Wyville Thompson.

Los objetivos de esta expedición fueron realizar investigaciones sobre:

1. Las características físicas del mar profundo en las grandes cuencas oceánicas.
2. La composición química del agua de mar en todas las profundidades en los océanos.
3. Las características físicas y químicas de los depósitos del piso marino y la naturaleza de sus orígenes.
4. La distribución de la vida orgánica a todas las profundidades en el mar, o sobre el piso marino.

El Challenger zarpó de Portsmouth, Inglaterra, el 21 de diciembre de 1872 y retornó en mayo de 1876, después de haber atravesado grandes porciones del océano Atlántico y Pacífico. Recorrió 127500 km (79223 mn) y realizaron 492 sondeos de gran profundidad, 133 dragados del fondo, 151 arrastres con redes y 263 observaciones seriales de la temperatura del agua de la superficie al fondo. Los aspectos más sobresalientes del viaje fueron la captura y clasificación de 4717 nuevas especies de organismos marinos, demostrando así que los océanos estaban rebosantes de vida desconocida que esperaba ser clasificada. Se mostró por encima de toda duda que existía vida en las grandes profundidades marinas. Otra gran hazaña fue la medición de una profundidad de 8185 m. en la Trinchera de las Marianas (en la actualidad la profundidad máxima registrada es de 11220 m, medida dentro de la misma Trinchera). 77 muestras de agua colectadas durante la expedición fueron analizadas por C.R. Dittmar en 1884. Este primer análisis refinado contribuyó al entendimiento de la salinidad oceánica. Después del retorno del Challenger, se formó una comisión en Edimburgo para exponer los resultados del viaje que fueron publicados en un informe oficial de 50 volúmenes. Dos volúmenes contenían un resumen de los resultados científicos; dos más, una narración del viaje. Las otras 46 son monografías escritas por algunos de los principales científicos de la época, entre ellos T.H. Huxley, Alexander Agassiz, H.N. Moseley y el gran biólogo alemán Ernest Haeckel.

A.3 Análisis y Visualización: Antecedentes Históricos

A.3.1 Introducción

El “boom” de la visualización empezó en el año de 1987 con la formación de talleres, conferencias, libros y revistas especializadas en este “nuevo” campo computacional llamado “*visualización numérica*”. Sin embargo, este nuevo campo no se inició repentinamente en 1987. Podríamos dividir en dos grandes períodos los avances de la visualización. El primero se presenta cuando la presentación no visual de datos era la moda; el cual duró desde el Siglo XVII hasta inicios del Siglo XX. En ese entonces grandes científicos europeos como Halley, Watt, Descartes, Lambert, Playfair y von Humboldt, dieron inicio al desarrollo de técnicas para la presentación de datos. El segundo período inició a partir de los años 60’s, tiempo después de la invención de la computadora, la cual ha hecho de la representación gráfica algo cotidiano.

- En 1637, *Rene Descartes* dijo: La imaginación o visualización, y en particular el uso de diagramas, juegan una parte muy importante en la investigación científica.
- En 1978, *James Beniger y Dorothy Robyn* se atrevieron a decir que en el futuro las innovaciones en estadística gráfica seguirían los desarrollos en gráficas por computadora tanto en hardware como en software e incluirían soluciones a problemas generados o podrían ser tratados con la computadora y tecnologías asociadas. Se podrían esperar soluciones que incluyan el uso innovador de gráficas en dimensiones, que tecnológicamente sólo son accesibles recientemente. Esto incluirá, gráficas a color por computadora, interacción máquina-humano, animación por computadora, gráficas tridimensionales, holografía y sonido controlado mecánicamente.
- En 1987, *McCormick, DeFanti y Brown*, autores de los reportes de SIGGRAPH *Visualization in Scientific Computing*, propusieron las siguientes definiciones:
 - Aplicando técnicas de graficación e imaginación a las ciencias computacionales, se logrará toda una nueva área de esfuerzo y dedicación.
 - La habilidad de los científicos en visualizar cálculos complejos y situaciones es absolutamente esencial para asegurar la integridad del análisis, esto es, para desarrollar conocimiento y comunicar ese conocimiento a otros.

En el diccionario Oxford se define el término VISUALIZACIÓN como ...la formación de una figura mental de algo no visible o presente, o de un objeto abstracto... y GRAFICAS POR COMPUTADORA como la producción de diagramas, patrones, etc. por medio de una computadora.

En otras palabras, la visualización es el fin y las gráficas por computadoras es el medio para llegar a ese fin. Con estos antecedentes, nos damos cuenta que no estaban muy distantes sus ideas de la realidad

futura. Incluso, podríamos afirmar que actualmente se ha superado por mucho lo que se esperaba desde hace casi tres décadas.

A.3.2 Perspectiva histórica: Cronología de Técnicas

1137 Persona desconocida de origen Chino - coordenadas cartesianas: mapa de las Rutas de Yu el Grande.

Un mapa cartográfico que muestra los ríos, línea de costa y ciudades de parte de China sobre una malla con escalas en latitud/longitud. Nada igual fue realizado en Europa hasta después de 1550.

1594 Pieter Bruinsz, sobreviviente holandés, publicó un mapa del Río Spaarne con líneas uniendo puntos de igual profundidad, ahora llamadas isobatas.

1603 Johann Beyer - coordenadas esféricas:

1637 Rene Descartes introduce el sistema de coordenadas cartesianas en las matemáticas.

1641 Athanasius Kircher describió como construir un mapa de isolíneas mostrando la distribución de la declinación magnética sobre la tierra. Los costos de impresión impidieron su publicación.

1663 Christopher Wren construyó un instrumento para medir la dirección del viento, lluvia y temperatura. Fue la primera invención que automatizaba la producción de una gráfica. Desafortunadamente ninguna de las graficas existen.

1686 Edmund Halley midió la altura de mercurio en un barometro a diferentes elevaciones por encima de la superficie de la tierra, deduciendo la relación entre la presión atmosférica y la altitud con una gráfica.

1701 Edmund Halley publicó el primer mapa empleando y popularizando las isolíneas como un medio para mostrar la variación espacial de un fenómeno. En éste mostraba la declinación magnética.

1752 Phillipe Buache produjo un mapa del Canal Inglés con isolíneas de profundidad.

1764 James Watt desarrolló análisis gráfico de datos empíricos cuando graficó temperatura contra presión de vapor, del cual dedujo la relación entre presión de vapor y el punto de ebullición.

1779 Johann Heinrich Lambert mostró la variación periódica en la temperatura de la tierra en relación con la profundidad bajo la superficie. Lambert también dió un ejemplo de un caso en el cual la presentación gráfica podría ser usada para detectar una variación periódica y determinar su período.

1782 Marcellin Du Carla publicó un mapa de un grupo imaginario de islas como una sugerencia de como mostrar alturas usando isolíneas.

- 1785 William Playfair, economista y político inglés, publicó *El Atlas Político y Comercial* el cual contenía más de 44 cartas, muchas de las cuales fueron líneas de tiempo. La gráfica de importaciones y exportaciones de Inglaterra y de Norteamérica desde el año 1770 a 1782 fué particularmente innovador. Los valores de importación y exportación en el tiempo fueron mostrados en la misma gráfica por diferentes líneas coloreadas y el área entre las dos líneas también fue coloreada, con el déficit en rojo.
- 1791 J. L. Dupain-Triel produjo el primer mapa de contornos real, empleando el esquema teórico de Du Carla, mostrando Francia.
- 1817 Alexander von Humboldt produjo un mapa con isotermas de promedios anuales de temperaturas, mostrando la distribución zonal de la temperatura. Además de que la razón de disminución con el incremento de la latitud es diferente en los lados este y oeste del continente. Ésta técnica tuvo mucho impacto entre la comunidad científica.
- 1838 Heinrich Bergahus produjo el primer mapa del mundo con líneas isotérmicas.
- 1850 August Peterman publicó un mapa temático de corrientes del océano para el mundo entero con corrientes y temperaturas.
- 1883 Osborne Reynolds dirigió experimentos para estudiar la transición de procesos laminares a fluidos turbulentos en tubos de vidrio largos inyectando tinta.
- 1960 Se implementaron las primeras técnicas de visualización o representación de datos.
- 1973 H. Chernoff graficó dos variables en un diagrama de dispersión bidimensional, usando caracteres para representar más variables.

Y en estas últimas tres décadas, hemos visto el avance sorprendente en el campo de la visualización científica, con programas computacionales más poderosos, sofisticados y a la vez versátiles. Con estos programas podemos crear figuras en 2- y 3-dimensiones, procesar datos, simular eventos naturales, etc. Y el avance más notable se ha dado en el último lustro donde han surgido programas de visualización numérica con capacidades de procesamiento y visualización de enormes cantidades de datos en tiempos muy cortos.

Apéndice B

Buque Oceanográfico Francisco de Ulloa

El B/O Francisco de Ulloa, es propiedad de CICESE, y está en funcionamiento continuo desde el año de 1993.

B.1 Características principales

1. Tipo: Investigación oceanográfica, casco de acero.
2. Clasificación: ABS +A1, +AMS
3. Eslora Total: 28.0 m
4. Eslora entre Perpendiculares: 22.5 m
5. Manga: 7.0 m
6. Calado máximo : 3.0 m
7. Arqueo Bruto: 149 tons.; Neto:75
8. Máquina Principal: 1, CAT 3412 DIT, 450 HP a 1800 RPM
9. Hélice: 1, 4 aspas, paso fijo.
10. Propulsor de Proa: Wesmar DPC 75, 2 hélices, 20".
11. Generadores: 2, CAT 3304B, 65 KW, 220 VCA, 60 Hz., 3 fases.

12. Agua Potable: DM-1600 y tanque de 6,000 litros.
13. Sistema de aguas negras: ORCA IIA-36, 1080 GPD y tanque de 3000 litros.
14. Velocidad Máxima: 10.5 nudos.
15. Velocidad de crucero: 8.5 nudos.
16. Áreas de Laboratorio:
 - (a) Laboratorio seco: $\sim 20\text{m}^2$
 - (b) Laboratorio Húmedo: $\sim 22\text{m}^2$
17. Area Despejada en la cubierta principal: $\sim 46\text{m}^2$
18. Tripulación: 6
19. Personal Científico: 11

B.2 Equipo de navegación y comunicación

1. GIROCOMPÁS: Sperry MK-37E con repetidores analógicos en el puente de mando y en el puesto de control remoto (PCR) y con repetidor digital en el laboratorio general.
2. AUTOPILOTO: Robertson AP-45.
3. NAVEGADOR: GPS Trimble XL con repetidor en el laboratorio general.
4. VIDEOSONDAS (2) : Simrad EC-205, 28 Khz en el puente y Furuno FCV-561 en el PCR.
5. RADARES (2) : Simrad Anritsu RA-723 en el puente y FURUNO 1731MK3 con rango de 36 mn en el PCR.
6. CORREDERA: JMC DL-100 doppler (actualmente fuera de servicio). Datos de la velocidad del barco provistos por el GPS
7. FACSÍMIL: Furuno FAX 208A.
8. ANEMÓMETRO: Data Marine LX-360 con repetidor en el laboratorio seco.
9. BARÓMETROS Y CRONÓMETROS: Tres Barómetros y ocho Cronómetros Boston Navigator.
10. RADIOTRANSMISORES: VHF ICOM IC-M57, FM IC-229H, SSB IC-M700 y SSB IC-M800.

11. COMUNICADORES INTRABARCO: Aiphone TD-24H, 18 estaciones y sonido general Horizon LH-19, 4 estaciones.
12. SONIDO GENERAL: HORIZON LH-10, 4 Estaciones.
13. INMARSAT: Scientific Atlanta 9801 Maristar-C. Servicio de satélite registrado con STRATOS Mobile Networks.

B.3 Winches oceanográficos y marco 'A' de popa

El barco cuenta con dos winches oceanográficos fabricados por Inter Ocean, uno para CTD/Roseta y otro para arrastres de fitoplancton o para dragado/nucleado de sedimento.

El winche de CTD reporta una tracción máxima de 4,000 libras a 325 pies/minuto en la capa media del tambor, con 36 GPM y 3,000 PSI de líquido hidráulico, con 15,000 pies de cable electro-mecánico de tres conductores, 0.322 pulgadas de diámetro y "slip-ring" de seis canales. Está situado en la cubierta principal y es operado desde la cabina de control remoto en la cubierta superior.

El winche de arrastre/nucleado soporta una tracción máxima de 6,000 libras a 325 pies/minuto en la capa media del tambor, con 45 GPM y 3,000 PSI de fluido hidráulico. Con 2,700 pies de cable de acero anti-torque de 3/8 de pulgada de diámetro.

Ambos winches están instrumentados para medir la longitud, velocidad y tensión del cable, con desplegado de lectura en la cabina de control remoto. Además se puede disponer de una polea instrumentada marca General Oceanics, para medir longitudes y velocidades del cable, con desplegado de datos en el laboratorio general.

El marco 'A' está situado a popa de la cubierta principal, es xx con fuerza hidráulica y su capacidad máxima de carga es de 5 toneladas. Su altura en posición vertical sobre cubierta es de ~3.5 m y su máximo alcance fuera de popa es de ~3 m.

B.4 Equipo científico

1. PERFILADOR DE CORRIENTES ACÚSTICO DOPPLER: ADCP RDI-BB-VM-150.
2. FLUORIMETRO: Turner 10-AU-005.
3. PERFILADOR CTD: SBE-911 Plus. Altimetro disponible.**
4. ROSETA: General Oceanics c/12 botellas Niskin de 5 Lts. c/u.**
5. TERMOSALINOGRÁFO: SBE 21 Seacat.

6. ESTACIÓN METEOROLÓGICA: 7040CA Weather Monitor II. Davis Instruments. (rapidez y dirección del viento, presión barométrica, temperatura y humedad relativa del aire, lluvia)
7. BATITERMOGRAFO: XBT Sippican, MK-12 (disponible en CICESE; cartuchos desechables a ser adquiridos por los usuarios del barco).
8. SALINOMETRO: Guildline 8400B Autosal.(actualmente en uso exclusivo es tierra en CICESE)
9. ECOSONDA CIENTÍFICA: Ocean Data Equipment,Bati1600 con transductores de 12 y 200 Khz. sondeo con la ecosonda del puente hasta 1,000 m.
10. NAVEGADOR: FURUNO DGPS80.

B.5 Facilidades en laboratorios

COMPUTADORAS PERSONALES:

- – 1 PC Pentium III 600 MHz asignada al CTD.
- 1 PC Pentium Celeron 2.0 GHz asignada a la estación meteorológica, termosalinógrafo y fluorímetro.
- 1 PC Pentium III 600 MHz asignada al ADCP.
- 1 PC Pentium 200 Mhz asignada al INMARSAT (en el puente).
- 1 Congelador científico abordo.
- AGUA DULCE FRIA Y CALIENTE.
- AGUA DE MAR DEL SERVICIO GENERAL Y LIMPIA: toma de mar hacia proa, para uso exclusivo en laboratorios.
- FUERZA ELÉCTRICA DEL SERVICIO GENERAL (110 Y 220 vca, 60 Hz.) Y LIMPIA (110 vca, 60 Hz).

Apéndice C

NASA

C.1 Jet Propulsion Laboratory

A finales de los 70's, los ingenieros y científicos de JPL que realizaban sus investigaciones para misiones interplanetarias, decidieron voltear hacia la tierra para entender mejor nuestro planeta. Esto llevó a una serie de misiones exitosas que monitoreaban la tierra; las cuales evolucionaron hacia una mayor cantidad de actividades en laboratorios. Ahora estos proyectos son dirigidos por NASA's Science Mission Directorate.

En 1978, JPL construyó un satélite experimental llamado Seasat para probar diferentes sensores oceanográficos incluyendo: altímetros, radares, radiómetros y escaterómetros. Muchos de los instrumentos actuales son herencia de esta misión.

Seasat también probó un altímetro que media la altura del nivel del mar desde el espacio. Este concepto fue llevado a gran escala convirtiendolo en una misión satelital, Topex/Poseidon, derrollado conjuntamente por JPL y la agencia espacial de Francia. Lanzado en agosto 10 de 1992, a bordo del Ariane 4 desde Kourou, Guyana Francesa, ha brindado a los científicos descubrimientos sin precedentes en el cambio climático global e interacciones oceánicas, corrientes, remolinos, y nuevos detalles acerca del suelo oceánico. Jason, fue la misión que continuaría el trabajo de Topex/Poseidon, el cual fue lanzado en diciembre 7 de 2001 y actualmente esta en órbita. Este satélite fue otra colaboración USA-Francia.

Otra misión heredada de Seasat es un escaterómetro construido en JPL, el cual mide desde el espacio, vientos cercanos a la superficie del océano. Este instrumento fue lanzado en agosto de 1996, pero el satélite falló y solo duró en operación hasta principios de 1997. Fue entonces que JPL preparó el nuevo satélite que lo reemplazaria, QuikScat, el cual fue lanzado en 1999, llevando un escaterómetro llamado SeaWinds. En 2002 fue lanzado otro escaterómetro desde un satélite japonés, pero se suspendió el funcionamiento un año después.

JPL también diseñó y construyó un instrumento llamado Microwave Limb Sounder que estudia la

composición química de la atmósfera de la tierra, aportando datos importantes con respecto a la capa de ozono. En 2004 se lanzó la nueva generación de este instrumento llamado Satélite Aura como parte del programa Earth Observing System (EOS).

También existen otros instrumentos bajo el programa EOS, entre ellos se incluye el Multi-angle Imaging Spectro Radiometer, lanzado por la NASA en el satélite Terra en diciembre de 1999 para estudiar la influencia de las nubes en el clima global; el Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer, también abordo del satélite Terra para registrar la tierra en varias partes del espectro de colores; el Atmospheric Infrared Sounder, a bordo del satélite Aqua el cual registra la temperatura y humedad en la atmósfera, para entender el intercambio de calor entre tierra, aire, mar y atmósfera. El Tropospheric Emission Spectrometer, lanzado en 2004 abordo del satélite Aura, estudia la tropósfera -la región más baja de la atmósfera de la tierra- y sigue la tendencia en los compuestos químicos sobre una base global.

El Active Cavity Radiometer Irradiance Monitor (ACRIM), es un instrumento que mide el total de energía despedida por el sol, desde el ultravioleta hasta el infrarojo (llamado irradiancia solar) factor importante en el estudio del clima de la tierra. Este instrumento ha sido enviado en varias misiones en los 80's y 90's. Un satélite dedicado llamado AcrimSat fue lanzado en 1999.

Las nubes serán el objeto de estudio para un trío de satélites llamados CloudSat planeados ser lanzados en 2005. Serán los primeros en examinar nubes.

Una misión llamada Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE), lanzó dos satélites en marzo de 2002 para dirigir estudios de alta resolución de campos de gravedad de la tierra.

Hay tres misiones de NASA en el programa Earth System Science Pathfinder, planeados para lanzarse en el período de 2006-2007. La misión Aquarius la cual proveerá el primer mapa de concentración de sal en la superficie del océano, mejorando nuestro entendimiento de como el calor es transportado y almacenado en el océano. Hydros el cual proveerá las primeras mediciones globales de humedad del suelo y congelamiento/deshielo superficiales, mejorando el entendimiento de como el agua, energía y carbon son intercambiados entre la superficie terrestre y la atmósfera. Y el tercero, el Orbiting Carbon Observatory que hará las primeras mediciones de dióxido de carbono con la precisión y resolución necesarias para caracterizar las fuentes y sumideros. Toda esta información mejorará las predicciones de futuras concentraciones de este importante gas invernadero y su impacto en el clima.

C.2 PO.DAAC

Physical Oceanography-Distributed Active Archive Center (PO.DAAC) es el responsable de archivar y distribuir datos con respecto a la física del clima oceánico. La mayoría de los productos disponibles en PO.DAAC son obtenidos de satélites y son para el uso de la investigación científica en oceanografía física e

investigaciones interdisciplinarias.

PO.DAAC, pertenece a Earth Observing System Data Information System (EOSDIS), y es miembro de la alianza DAAC, que distribuye productos del proyecto NASA's Earth Science Enterprise (ESE) Earth Observing System (EOS), así como también a través de patrocinadores y acuerdos cooperativos con otras organizaciones e insitutos dentro y fuera de Estados Unidos. Esos grupos incluyen a Jet Propulsion Laboratory (JPL) y otros centros de la NASA, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), U.S. Naval Oceanographic Office (NAVOCEANO), Agencia Espacial Francesa, Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), National Space Development Agency (NASDA) de Japón, así como también la Universidad de Miami y la Brigham Young University.

Las actividades de desarrollo, manejo, archivado y distribución de los datos de PO.DAAC son guiados en gran parte por un grupo de colegas en la forma de un grupo consultivo EOSDIS User Working Group (PO.DAAC UWG). Esto asegura que los datos de PO.DAAC proporcionen, y reúnan las necesidades de la comunidad oceanográfica.

C.2.1 Costo de los datos

Todos los datos PO.DAAC son gratis y libres de cargo para científicos, educadores y la comunidad en general. Sin embargo, ningún producto obtenido libremente de PO.DAAC debe ser redistribuido con fines de lucro o beneficio.

Apéndice D

ARGOS “CLS” (Colección-Localización-Servicios)

D.1 Introducción

Es un sistema de colección de datos basado en satélites. Argos se implementó durante 1978, y hoy en día es usado por más de 300 organizaciones en 400 países.

D.2 Localización y colección de datos

Argos permite seguir una boya, un barco, o cualquier plataforma que lleve un transmisor Argos en cualquier parte del mundo. El transmisor también puede enviar los datos como: temperatura superficial del mar, velocidad del viento y estos datos pueden tener una resolución temporal de hasta 15 minutos entre cada dato.

El sistema Argos esta calendarizado para operar al menos hasta el año 2010. Con más de 8000 plataformas activas alrededor del mundo, se consolida como el sistema para la observación y el monitoreo del ambiente global.

El sistema Argos se instaló gracias a la participación de:

1. La Agencia Espacial Francesa (CNES).
2. La Administración Nacional Atmosférica y Oceánica de los Estados Unidos “US National Oceanic and Atmospheric Administration” (NOAA).

3. La Administración Nacional de Aeronautica y del Espacio "US National Aeronautics and Space Administration" (NASA).
4. Los nuevos socios en esta empresa corporativa internacional, que proveen satélites adicionales desde 2001 son:
 - (a) La Agencia Espacial Japonesa (NASDA).
 - (b) La Organización de Satélites Meteorológicos Europeos (EUMETSAT).

D.2.0.1 Productos y servicios

Argos ofrece las posiciones de boyas, embarcaciones, contenedores, etc., dando latitud y longitud. También brinda procesamiento especial para los datos, por ejemplo envía advertencias si un anclaje se va a la deriva, si un contenedor con materiales peligrosos está funcionando mal, o si una boya de deriva se va a tierra o pierde sumergencia (es levantada o el elemento de arrastre se suelta). CLS puede ofrecerte los servicios de cómo y dónde recibir los datos, y también la frecuencia y precisión de estos. Las unidades del procesamiento pueden estar en milímetros, grados centígrados o cualquier otra unidad. Se puede acceder a los resultados a través de la transmisión de datos de la red, internet, fax, discos flexibles o discos compactos.

D.2.0.2 Nuevos servicios de CLS

CLS se diversifica con una nueva gama de servicios: Novacom Services y CATSAT (Cooperative Astrophysical and Technology SATellite). Mediante una plataforma internet, NOVACOM SERVICES propone soluciones a la medida de localización y telegestión de vehículos móviles, de equipamientos industriales, de mercancías o de personal remoto.

Desde cualquier PC conectada con internet, NOVACOM SERVICES permite:

- visualizar su posición en una cartografía en línea,
- recibir instantáneamente alertas multicriterios (por SMS, e-mail, ftp),
- interrogar en cualquier momento los equipamientos (recolección de informaciones en tiempo real),
- archivar los datos recolectados en el servidor NS,
- descargar informes periódicos de actividad,
- compartir las informaciones (suministro de un acceso privilegiado a otros perfiles de usuarios), y
- posiciones GPS, informaciones sensores (niveles, temperaturas, flujos...), tiempo de funcionamiento motor, etc.

Algunos sectores de aplicación son:

- Servicios a colectividades,
- Obras públicas,
- Transporte y distribución de energía (petróleo, gas...),
- Navegación de recreo,
- Transporte (por carretera, marítimo, ferroviario),
- Explotación agrícola y forestal,
- Medio ambiente.

Apéndice E

Definición de términos

ADCP.- (“Acoustic Doppler Current Profiler”) Instrumento que sirve para medir la velocidad de las corrientes, que obtiene un perfil de la columna de agua en cada intervalo de muestreo. Esta medición se realiza por medio del efecto Doppler (Efecto Doppler = Corrimiento en la frecuencia de una señal, al ser recibida, cuando el receptor y el emisor experimentan algún movimiento relativo). Se instala en el casco de un barco, de una lancha o se fija en una posición a cierta profundidad mediante un anclaje.

Anticiclónico.- Se usa para definir el sentido de rotación de fenómenos oceánicos y atmosféricos contrario a la dirección de giro de los ciclones y al de la tierra; en el mismo sentido de las manecillas del reloj en el hemisferio norte y en sentido contrario en el hemisferio sur.

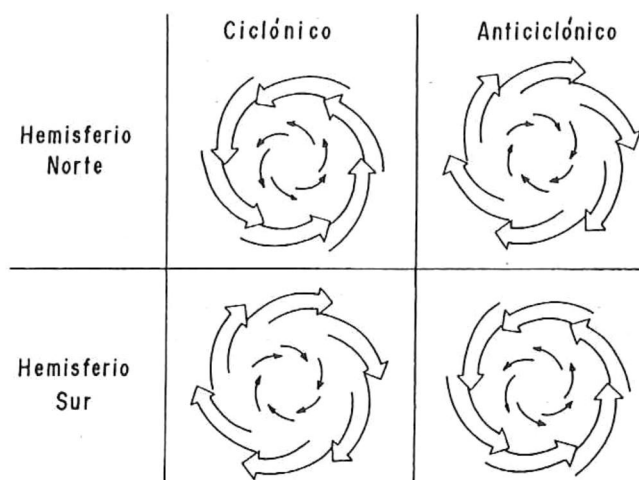


Figura E.1: Diagrama que muestra formas de circulación ciclónica y anticiclónica.

Batimetría.- Puede referirse a la configuración del suelo marino o a un mapa en donde esté delineado el perfil del fondo de un cuerpo de agua, por medio de contornos de igual profundidad (isóbatas).

Boyas de deriva.- Instrumentos que sirven para realizar mediciones lagrangeanas de la corriente. Constan de un cuerpo de arrastre que se coloca a la profundidad deseada, y que puede ser un paracaídas, una cruceta, o una bolsa llena de agua, etc., que va atada a una boya superficial equipada con aditamentos que permitan seguir la trayectoria del instrumento. Este seguimiento se puede hacer por medio de localización visual, radiotelemétrica, radar o por satélite (véase *lagrangeano*).

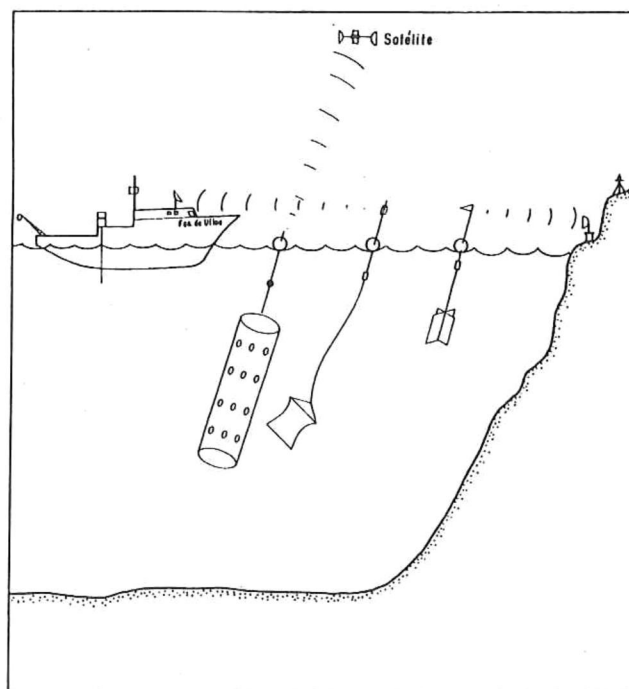


Figura E.2: Algunos de los diferentes tipos de boyas de deriva.

Cambio climático global.- Es un área de estudio de la Meteorología y la Oceanografía que se ocupa de analizar las variables ambientales globales para tratar de descubrir la tendencia general del clima a largo plazo.

Campaña oceanográfica.- (véase *Crucero*).

Ciclónico.- Es el sentido de giro de un fluido igual al de los ciclones y de la tierra; en sentido contrario al de las manecillas del reloj en el hemisferio norte y en el mismo sentido en el hemisferio sur.

Crucero.- Expedición de trabajo que se lleva a cabo en una embarcación para realizar mediciones oceanográficas.

ficas.

Contracorriente.- Corriente marina que va en sentido contrario a la dirección general de las corrientes en la zona, por ejemplo, la Contracorriente de Davison que fluye hacia el polo frente a las costas de California, cuando en la zona domina la corriente de California con dirección hacia el ecuador.

C.T.D.- Instrumento oceanográfico para obtener un perfil de la temperatura y la conductividad con la profundidad. Con estos datos se pueden generar las características T-S (temperatura salinidad) de la columna de agua. Este instrumento se puede bajar al agua desde un barco con cable en cuyo núcleo contenga conectores eléctricos y por lo tanto recibir, observar y almacenar los datos en tiempo real. También existen C.T.D. que funcionan en forma autónoma, de tal manera que se realiza el lance y después se recuperan los datos. Las siglas C.T.D. provienen del inglés Conductivity, Temperature, Depth.

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. Por ejemplo, la Cuenca de Guaymas en el Golfo de California.

Diagrama T-S.- Gráfica de datos de temperatura *versus* salinidad colectados en forma simultánea en cada nivel de una estación oceanográfica. Estos diagramas son muy útiles: permiten identificar las masas de agua, hacer estimaciones de la mezcla relativa entre ellas, obtener el valor de sigma-t (σ_t), da idea de la estabilidad de la columna de agua y permite encontrar posibles errores en las estimaciones de temperatura y salinidad.

Divergencia.- Estructura de la corriente sobre la horizontal, de tal manera que los flujos se presentan en diferentes direcciones partiendo de un centro o una zona común.

Estado de referencia.- Nombre con el que se conoce un estado ideal del océano, definido por sus valores medios de temperatura, salinidad y estado de movimiento (generalmente el reposo).

Eulereana, descripción.- Descripción de las características de un fluido en movimiento a partir de lo que ocurre en un punto fijo conforme pasa el tiempo. Para medir un campo de velocidades se realizarían observaciones directas de velocidad y dirección con correntímetros en diferentes puntos y se analizaría la variación de la corriente en cada punto a través del tiempo (véase *lagrangeana*).

Evento.- Variación no periódica de un fenómeno (no necesariamente predecible), que se presenta con magnitud y duración variables. Ejem. los eventos (en el Golfo de México) de fuertes vientos llamados "Nortes", o el fenómeno de "El Niño".

Frente.- Región del océano, que separa parcelas o masas de agua de características marcadamente diferentes. Vg. zonas de diferente temperatura, zonas estratificadas de zonas mezcladas, zonas con masas de

agua diferentes.

Frente geostrófico.- Es aquel que separa aguas que circulan bajo un régimen de balance geostrófico de otras fuera de él. Generalmente se observa que los giros geostróficos trasladan aguas con características diferentes, lo cual da el contraste para evidenciar el frente (véase *geostrofia*).

Forzamiento.- Se refiere a cualquier fuerza que aplicada 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.

Geostrofia.- Método para analizar las corrientes en una zona, que consiste en asumir que existe un balance entre la fuerza de Coriolis y el gradiente horizontal de presión.

Gran escala.- (escala oceánica). Se refiere a las dimensiones de movimientos oceanográficos que abarcan extensiones desde varios cientos de kilómetros, hasta todo el océano.

Haloclina.- Capa del océano caracterizada por un fuerte gradiente de la salinidad con la profundidad.

Hidrografía .- Disciplina que se ocupa de las mediciones y la descripción de las características físicas de los océanos, mares, lagos, ríos y las zonas costeras adyacentes a ellos.

Isóbaras.- La línea o superficie que une todos los puntos de presión constante sobre una gráfica en el espacio o en el tiempo.

Isóbatas.- Una línea o superficie que conecta todos los puntos de profundidad constante sobre una gráfica en el espacio.

Isopicna.- Línea o superficie que une todos los puntos de densidad constante sobre una gráfica en el espacio o en el tiempo.

Isoterma.- Una línea o superficie que conecta en una gráfica todos los puntos de igual valor de la temperatura, ya sea en el tiempo o en el espacio.

Lance hidrográfico.- Se aplica al conjunto de mediciones oceanográficas realizadas durante el tiempo de bajada y subida de instrumentos de muestreo en un punto geográfico. Este muestreo se complementa con una serie de parámetros como: posición, profundidad, estado del mar, datos meteorológicos, etc.

Mapa.- Es una representación geométrica plana no convencional de toda o parte de la superficie terrestre.

Masas de agua.- Un volumen de agua usualmente identificado por valores típicos de temperatura y salinidad que le son característicos y que permiten distinguirlo de las aguas circundantes. Su formación ocurre en la interfaz con la atmósfera y por la mezcla de dos o más tipos de agua (véase *diagramas T-S*).

Marea.- Es la variación periódica del nivel del mar debida al movimiento relativo y a la atracción gravitacional entre el sol, la luna y la tierra. Esta variación del nivel del mar se propaga como una onda a través de las cuencas oceánicas.

Marea astronómica.- Es la marea provocada por la atracción del sol y la luna diferenciándola de los movimientos del nivel del mar que tienen otros orígenes, por ejemplo, el acarreo del esfuerzo del viento o las variaciones de la presión atmosférica.

Marea diurna.- Es la marea que se da en una región donde prácticamente sólo existen una pleamar y una bajamar durante un período de 24 horas. También se puede referir a las frecuencias diurnas presentes en una señal de marea.

Marea mixta.- Se dice que existe una marea mixta en una región cuando coexisten, alternándose, el período diurno y el semidiurno con amplitudes del mismo orden de magnitud. Una forma de clasificar las mareas es calculando “la razón de forma”, la cual se obtiene entre las diurnas y semidiurnas más importantes, $F = \frac{(K_1 + O_1)}{(M_2 + S_2)}$. De donde si $0 \leq F \leq 0.25$, se clasifica como marea semidiurna. Si $0.25 < F \leq 1.5$, entonces se clasifica como marea mixta con predominancia semidiurna. Si $1.5 < F \leq 3.0$, la marea se clasifica como mixta con predominancia diurna. Si $F > 3.0$, la marea es diurna.

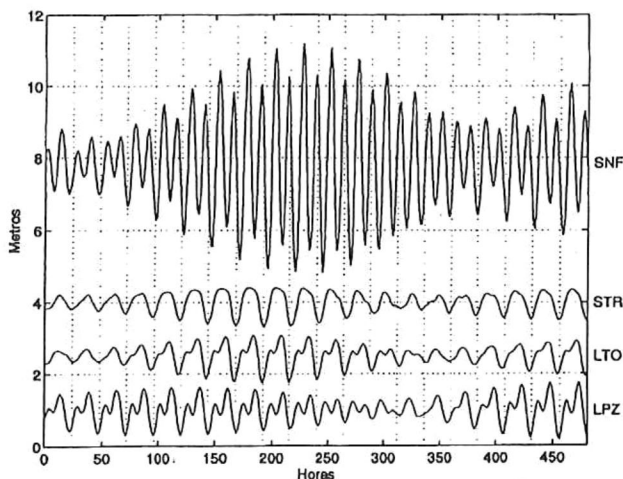


Figura E.3: Registros de marea que muestra una señal prácticamente semidiurna en San Felipe B.C. (SNF). Señal diurna en Santa Rosalia B.C.S. (STR). Marea mixta con dominancia diurna, Loreto B.C.S. (LTO) y marea mixta con dominancia semidiurna, La Paz B.C.S. (LPZ).

Marea semidiurna.- Es la variación del nivel del mar provocada por la marea en un lugar que produce dos pleamares y dos bajamares en un período aproximado de 24 horas.

Meandro.- Son las curvaturas muy pronunciadas (algunas en forma de u) en la trayectoria de un río o de

una corriente marina.

Meridional.- Se refiere a la dirección norte-sur, o sea a lo largo de un meridiano (véase *zonal*).

Mesoescala.- Se refiere a la extensión geográfica de fenómenos marinos, la cual va de decenas hasta cientos de kilómetros.

Método Geostrofico.- (véase *geostrofia*)

Paso alto.- Nombre que se da al filtro que, aplicado a una señal, permite pasar la parte de ésta que contiene las frecuencias altas.

Paso bajo.- Nombre que se da al filtro que, aplicado a una señal, permite pasar la parte de ésta que contiene las frecuencias bajas.

Picnoclina.- Es la capa del océano donde existe el gradiente más fuerte de densidad. La mayoría de las veces coincide con la termoclina y, como ésta, tiene gran variación estacional en latitudes medias y casi nula en latitudes altas.

Salinidad-ups.- (véase *ups*).

Sigma-t (σ_t)- Representa en forma abreviada el valor de la densidad de una muestra de agua de mar en función de su temperatura y salinidad *in situ* a presión constante e igual a cero $\sigma_t = (\rho_{(s,t,0)} - 1) * 10^3$. Convierte un número como 1.02635 en 26.35, que es más fácil de usar.

Talud continental.- Es la zona o región del fondo marino que se caracteriza por un fuerte declive y que empieza inmediatamente después de la plataforma continental hacia mar adentro. El talud continental termina en la zona donde comienza la elevación continental o hasta el punto donde hay una disminución de la pendiente.

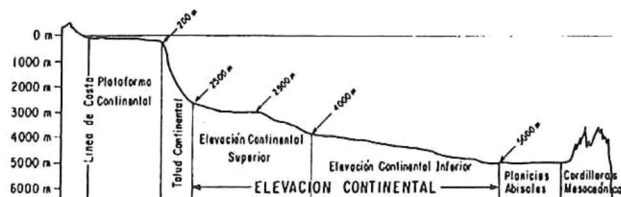


Figura E.4: Perfil del fondo marino con sus rasgos más característicos.

Termoclina.- Capa que presenta un cambio abrupto de temperatura con la profundidad. En los océanos se pueden encontrar termoclinas temporales, las cuales tienen una variación estacionaria (anual) y termoclinas

permanentes (véase *estratificación*).

Topografía dinámica.- Gráfico formado por isolíneas que muestran las alturas dinámicas de una zona del océano. Este tipo de análisis de los datos oceanográficos sirve para obtener información de la circulación geostrófica, ya que el fluido tiende a desplazarse por superficies equipotenciales (de igual altura dinámica) (véase *Altura dinámica*).

Transecto.- Es la línea que resulta de unir varios sitios de muestreo a lo largo de la cual se quieren graficar y analizar los datos en forma independiente.

Transmitters.- Electronic device producing electromagnetic waves which travel a long way into space.

Trinchera.- Una depresión en el fondo marino, larga y angosta con pendientes pronunciadas a los lados. Este término está asociado con las regiones de mayor profundidad de los océanos, algunas exceden los 8000 metros de profundidad.

Umbral.- Una dorsal submarina de profundidad relativamente somera que separa cuencas.

Ups.- Abreviación de: unidades prácticas de salinidad. Unidades de una nueva definición de salinidad (UNESCO, 1978) basada en la razón entre la conductividad eléctrica de la muestra y una muestra estándar. Se conocen como unidades prácticas porque fueron definidas de tal manera que la nueva escala coincidiera con la antigua de partes por mil (ppm). La salinidad en ups es adimensional (UNESCO, 1985).

Zonal.- Se refiere a la dirección este-oeste a lo largo de un paralelo (véase *meridional*).

Apéndice F

MatLab

¹MatLab (MATrix LABoratory) es un sistema interactivo para realizar calculos sobre matrices. Tiene un lenguaje de mandos sencillo que permite facilmente multiplicar e invertir matrices, resolver sistemas de ecuaciones lineales y desarrollar un gran número de operaciones matemáticas especialmente en el campo de los números complejos y operar sobre arreglos de números. También es fácil visualizar datos en pantalla y enviarlos a la impresora o direccionarlos a memoria secundaria.

MATLAB contiene un lenguaje intuitivo y un ambiente de cómputo técnico. Provee de una suite de matemáticas y herramientas de graficación avanzada para análisis de datos, visualización y desarrollo de algoritmos y aplicaciones. Contienes más de 600 funciones de matemáticas, estadística e ingeniería.

Algunos toolboxes desarrollados son procesamiento de imágenes y señales, optimización, diseño de sistemas de control, ingeniería financiera, matemática simbolica, redes neuronales, y otros. Estos toolboxes están construidos dentro de MatLab, y pueden facilmente ser editados y modificados.

MATLAB es utilizado como si fuera una poderosa calculadora de mano sobre una computadora. También se puede usar en modo programable. Se pueden crear scripts o funciones con toda la familia de instrucciones de su propio lenguaje. Esos scripts, funciones o programas pueden ser invocados desde la línea de mandos o bien generar código ejecutable independiente de la plataforma².

MATLAB es toda una plataforma de lanzamiento de programas numéricos de aplicación científica. En el área de la Oceanografía Física goza de mucho prestigio este sistema. Puedes programar cualquier necesidad numérica o requerimiento computacional; visualizar datos en dos y tres dimensiones, analizar series de tiempo, crear animaciones, imprimir con calidad y trabajar sobre escalares, vectores o matrices. Dentro del paquete y dependiendo de los toolboxes que se adquieran, MATLAB potencialmente tiene las herramientas necesarias para aplicarse de acuerdo a las siguientes herramientas:

¹<http://www.mathworks.com>

²En las últimas versiones de MATLAB se pueden adquirir los toolboxes necesarios para crear las aplicaciones.

1. Aerospace Blockset
2. CDMA Reference Blockset
3. Communications Blockset
4. Communications Toolbox
5. Control System Toolbox
6. Curve Fitting Toolbox
7. Data Acquisition Toolbox
8. Database Toolbox
9. Datafeed Toolbox
10. Dials & Gauges Blockset
11. DSP Blockset
12. Embedded Target for Motorola[®] MPC555
13. Embedded Target for TI C6000[■] DSP
14. Excel Link
15. Filter Design Toolbox
16. Financial Toolbox
17. Financial Derivatives Toolbox
18. Financial Time Series Toolbox
19. Fixed-Point Blockset
20. Fuzzy Logic Toolbox
21. GARCH Toolbox
22. Image Processing Toolbox
23. Instrument Control Toolbox
24. LMI Control Toolbox

25. Mapping Toolbox
26. MATLAB
27. MATLAB COM Builder
28. MATLAB Compiler
29. MATLAB Excel Builder
30. MATLAB Link for Code Composer Studio ■ Development Tools
31. MATLAB Report Generator
32. MATLAB Runtime Server
33. MATLAB Student Version
34. MATLAB Web Server
35. MATRIXx Product Family
36. Model-Based Calibration Toolbox
37. Model Predictive Control Toolbox
38. μ -Analysis and Synthesis Toolbox
39. Neural Network Toolbox
40. Nonlinear Control Design Blockset
41. Optimization Toolbox
42. Partial Differential Equation Toolbox
43. Real-Time Windows Target
44. Real-Time Workshop
45. Real-Time Workshop Embedded Coder
46. Requirements Management Interface
47. Robust Control Toolbox
48. Signal Processing Toolbox

49. SimMechanics
50. SimPowerSystems
51. Simulink
52. Simulink Performance Tools
53. Simulink Report Generator
54. Spline Toolbox
55. Stateflow
56. Stateflow Coder
57. Statistics Toolbox
58. Symbolic/Extended Symbolic Math Toolbox
59. System Identification Toolbox
60. Third-Party Products and Services
61. Virtual Reality Toolbox
62. Wavelet Toolbox
63. xPC Target
64. xPC TargetBox
65. xPC Target Embedded Option