



Revista Cubana de Meteorología

ISSN: 0864-151X

ISSN: 2664-0880

Instituto de Meteorología

Carracedo-Hidalgo, Dayana; Reyes-Perdomo, Dailín; Calzada-Estrada, Amilcar; Chang-Domínguez, Dayron; Rodríguez-Pupo, Alejandro  
Caracterización de las corrientes marinas en mares  
adyacentes a Cuba. Principales tendencias en los últimos años  
Revista Cubana de Meteorología, vol. 25, núm. 3, e05, 2019  
Instituto de Meteorología

DOI: <https://doi.org/opn.to/a/NVxYB>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=701977491005>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEH  
redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc  
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso  
abierto

## Caracterización de las corrientes marinas en mares adyacentes a Cuba. Principales tendencias en los últimos años



### Characterization of sea currents in sea adjacent to Cuba. Main trends in the last years

<http://opn.to/a/NVxYB>

Dayana Carracedo-Hidalgo <sup>1\*</sup>, Dailín Reyes-Perdomo <sup>1\*</sup>, Amilcar Calzada-Estrada <sup>1</sup>,  
Dayron Chang-Domínguez <sup>1</sup>, Alejandro Rodríguez-Pupo <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba.

**RESUMEN:** El trabajo inicia con un análisis de los antecedentes del tema, procedente de expediciones y diagnósticos llevados a cabo por múltiples instituciones de la región. La estadística contiene los datos del proyecto de la NOAA, denominado COSTWATCH, que calcula la corriente marina geostrofica a partir de valores de altimetría. La descarga fue automatizada para reducir errores subjetivos y por medio de programas, diseñados por los autores (en lenguaje Python, con el IDE Pycharm Community 2019) se homogeneizó la población de datos. Se obtuvieron los promedios mensuales y se realizaron análisis dinámicos de cada uno, en armonía con los estudios previos. Adicionalmente, se profundizó en la tendencia de la magnitud de las corrientes marinas superficiales, identificando las principales zonas que experimentan cambios, así como las posibles explicaciones de cada hecho.

**Palabras Clave:** tendencia regional, magnitud de las corrientes marinas, corrientes geostroficas.

**ABSTRACT:** The work begins with an analysis of the background of the topic, from expeditions and diagnoses carried out by multiple institutions in the region. The statistic contains the data of the NOAA project, called COSTWATCH, which calculates the geostrophic marine current from altimetry values. The download was automated to reduce subjective errors and through programs, designed by the authors (in Python language, with the IDE Pycharm Community 2019) the data population was homogenized. The monthly averages were obtained and dynamic analyzes of each one were carried out, in harmony with the studies carried out. Additionally, the trend of the magnitude of surface marine currents was inquired, identifying the main areas undergoing changes, as well as the possible explanations for each event.

**Key Words:** regional trends, magnitude of marine currents, geostrophic circulation.

\*Autores para correspondencia: Dayana Carracedo-Hidalgo, Dailín Reyes-Perdomo. Email: [dayana.carracedo@insmet.cu](mailto:dayana.carracedo@insmet.cu), [dailin.reyes@insmet.cu](mailto:dailin.reyes@insmet.cu)

Recibido: 01/05/2019

Aceptado: 12/08/2019

## INTRODUCCIÓN

La región de los mares Intra-Americanos o Mediterráneo Americano, como también se le conoce, presenta un conjunto complejo de sistemas de corrientes marinas con vínculos particulares entre sus componentes y a su vez, con influencia en el clima de otras regiones del planeta. Son variados los autores que han profundizado en los estudios oceanográficos sobre sitios específicos para explicar sucesos climáticos en zonas adyacentes. El movimiento de larvas de especies marinas, así como de las sustancias contaminantes y otros objetos a la deriva, pueden ser analizados si contamos, principalmente, con los campos de la corriente marina y del viento de la zona en cuestión ([Haidvogel and Beckmann, 1999](#)). En lo adelante se hará un resumen de los sistemas de corrientes de la región dirigido a introducir las principales características dinámicas de cada zona.

La Corriente del Caribe, ubicada desde el arco de las Antillas Menores hasta las proximidades de la península de Yucatán ([Mitrani, 2017](#)) es altamente estratificada en profundidades inferiores a 1200 m, débilmente estratificada entre 1200 y 2000 m y casi homogénea a profundidades mayores de 2000 m.

El método geostrófico se emplea para estimar la circulación promedio en el Mar Caribe y aunque existe divergencia de criterios respecto a su dinámica, se ha concluido que establecer sus dimensiones, determinar su velocidad y su localización sólo es posible en términos estadísticos, debido a su gran variabilidad. A pesar de ello, se percibe que durante los meses de primavera-verano la corriente es más intensa y mejor definida, mientras que en otoño-invierno queda enmascarada por diversos procesos de mesoescala y otros procesos sinópticos extremos ([Gallegos and Czitrom, 1997](#)).

Se ha comprobado que de los 28 Sv (Sverdrup) que fluyen en su seno, 24 Sv lo hacen a través de las Antillas Menores. De éstos 24 Sv, 18 Sv lo hacen por los pasos de las islas Sotavento, quedándose 6 Sv para aquellos adyacentes a las islas Barlovento. El transporte de esta corriente está

dirigido hacia el noroeste, la fuente principal del sistema proviene del Océano Atlántico Ecuatorial, del norte de Brasil y de la corriente de las Guyanas. Un detalle interesante dentro del área que cubre, resulta la circulación en contra de las manecillas del reloj en el giro Panamá - Colombia ([Gyory et al., 2019a](#)).

El paso que conecta el mar Caribe y el golfo de México es conocido como Canal de Yucatán, aunque técnicamente no es lo suficientemente largo para ser un canal, ni lo suficiente angosto para ser un estrecho ([Ochoa et al., 2001](#)). A través de este pequeño paso fluye la corriente de Yucatán. Ésta provee la mayoría del flujo de entrada al golfo de México.

Pillsbury, mencionado por [Gyory et al., \(2019b\)](#) fue entre los primeros que tomó mediciones de corrientes directas en el lugar. Él reportó corrientes fuertes (170 cm/s a los 6.3 m de profundidad) fluyendo sobre la cara oeste y los flujos del sur sobre el lado este del canal. El flujo hacia el Norte sobre el lado Oeste es ahora conocido como la corriente de Yucatán y el flujo hacia el Sur sobre el lado Este fue nombrado Contracorriente Cubana.

Por debajo de la corriente de Yucatán existe una corriente submarina de Yucatán que forma parte importante del mecanismo de afloramiento del banco de Campeche ([Ochoa et al., 2001](#)).

El flujo con dirección a favor de las manecillas del reloj que une a la corriente de Yucatán y la de La Florida en la parte este del golfo, es conocida como La Corriente del Lazo. Su morfología e intrusión hacia el noroeste puede variar en respuesta a la variación anual de las corrientes superficiales del Canal de Yucatán y al ángulo de incidencia ([Monreal-Gómez et al., 2004](#)).

Históricamente, los valores promedios del transporte para estas tres corrientes han estado alrededor de 30 Sv, aunque mediciones recientes sostienen que el transporte medio es de 24 Sv. Las velocidades cerca de la superficie del mar se aproximan a 80 cm/s en la zona y han sido reportadas tan altas como 150 cm/s ([Gyory et al., 2019c](#)).

Unido al sistema anterior existe una corriente al oeste del golfo de México llamada Corriente de

México. Esta se encuentra en la parte occidental del flujo del golfo entre un par ciclónico/anticiclónico, el cual ha sido analizado en numerosos estudios, [Brooks y Legeckis \(Brooks and Legeckis, 1982\)](#), mencionado por Lie-Yauw ([Lie-Yauw, 2005](#)), encontraron un chorro fluyendo bajo la frontera entre el ciclón y el anticiclón. Ellos estimaron un transporte neto cruzando la sección de 8.9 Sv. Esto coincide con análisis hechos con anterioridad donde se estimaba la velocidad de 70 a 100 cm/sy un transporte de 10 Sv.

Algunos modelos numéricos sugieren que la presencia de este par se debe a los anillos anticiclónicos generados por la corriente del Lazo y a otros detalles en el campo de viento ([Gyory et al., 2019d](#); [Monreal-Gómez et al., 2004](#)).

La corriente de La Florida, concebida desde el estrecho de La Florida hasta el cabo Hatteras, puede ser considerada oficialmente el comienzo del sistema conocido como corriente del Golfo. Su flujo es constituido por dos fuentes principales: la corriente del Lazo y la corriente de las Antillas. En la literatura varios investigadores consideran su transporte alrededor de los 30 Sv. No obstante a ello, esta corriente se encuentra sujeta a una variabilidad interanual y estacional importante ([Gyory et al., 2019f](#)).

En el estrecho de La Florida, al norte de la península de Hicacos, la variabilidad temporal en la dirección de las corrientes no ha permitido establecer un patrón mensual hacia rumbos de componente Oeste ([Arriaza, 2018](#)). En este lado cubano, al alejarse la corriente de La Florida, se forman remolinos anticiclónicos, contribuyendo a aumentar la persistencia y velocidad con rumbo contrario a la circulación regional.

En una relación directa entre los sistemas de la zona, se tiene que el reforzamiento de la circulación ciclónica en la Corriente de Yucatán provoca desprendimientos de anticiclones de la Corriente del Lazo, y el paso de éstos por el Estrecho de La Florida acercan la Corriente de La Florida a Cuba, debilitando la Contracorriente Cubana. Lo contrario también es válido, formándose un movimiento continuo desde la

península de Hicacos hasta el cabo de San Antonio ([Arriaza, 2018](#)).

Asociado con la Corriente de La Florida (CF) y la curvatura anticlónica de la Corriente de Lazo (CL), en la entrada oeste del estrecho, existe el Vórtice Anticlónico de Mesoescala a lo largo de la costa norte cubana. Su dinámica e interacción con los sistemas de corrientes ha sido analizado por autores de la región empleando satélites, derivadores y datos de boyas ([Kourafalou et al., 2017](#)). Dos tipos de remolinos son caracterizados: una celda anticiclónica principal, dentro del núcleo de la Corriente del Lazo como una extensión (tipo A) y un remolino anticiclónico individual que saliendo del propio núcleo es desplazado hacia el este a lo largo de la costa norte cubana (tipo B).

La corriente de Las Antillas fue nombrada en 1986 por Krammel. Fluye hacia el norte, al este de las Antillas junto a la corriente de la Florida, pasando fuera de las Bahamas. Sus aguas son concentradas en un fuerte chorro hacia el norte de alrededor de 80 a 100 Km de ancho, centrándose en los 400 m de profundidad ([Lee et al., 1996](#)). Estos autores concluyeron que este sistema sirve para equilibrar la circulación interior de Sverdrup sin justificar por la corriente de la Florida y por ello no participa en el intercambio intercuenca. Adicionalmente, encontraron que no presenta un flujo continuo, sino que aparece como un campo turbulento a lo largo del arco de islas. Su velocidad media es de 4 cm/s y de una longitud de onda de 335 Km, consistente con la onda de Rossby baroclínica en la región.

El sistema de la corriente del Golfo es uno de los más intensamente estudiados del mundo, pues juega un importante papel en la transferencia de calor y sal hacia el polo. La región del sistema es altamente dinámica y está sujeta a cambios muy rápidos. El alto grado de actividad de mesoescala, con rápidos cambios espaciales hace de ésta una región muy difícil de estudiar.

Comienza corriente arriba del cabo Hatteras, donde la corriente de La Florida cesa para seguir a la plataforma continental. Comparado con su ancho (cerca de 100 y 200 Km) el rango de su variación (30 a 40 Km) es relativamente pequeño. Cambios

significativos en su transporte y estructura pueden ser observados de múltiples escalas de tiempo como su viaje al nordeste. Su fluctuación está mayormente confinada sobre los 200 a 300 metros de la columna de agua y es un resultado del calor estacional y la expansión de las aguas en superficie ([Gyory et al., 2019e](#)).

## **OBJETIVOS**

Calcular y visualizar los campos promedios mensuales de la circulación marina superficial de los mares Inter americanos.

Analizar la tendencia de la magnitud de las corrientes marinas superficiales en la región.

## **MATERIALES Y METODOS**

En el presente trabajo se realizó una caracterización del flujo de los principales sistemas de corrientes de la región, a partir de los datos provenientes del servicio COASTWATCH (CW), válidos desde el año 1993 hasta el 2018. En un primer estudio sólo se analizó la circulación superficial, aunque se considera la introducción de estudios subsuperficiales ([Trinanes and Goni, 2019](#)).

Con la idea de identificar los detalles del servicio, así como las principales fortalezas y limitaciones en sus aplicaciones, se realiza a continuación una breve descripción.

### **COASTWATCH como proyecto de la NOAA**

El CW es un proyecto de la NOAA (en sus siglas en inglés, National Oceanic and Atmospheric Administration) que proporciona datos satelitales y otros datos ambientales a través de sensores remotos, dirigido a los responsables gubernamentales de toma de decisiones, investigadores académicos y los sectores comerciales y públicos. El Nodo Regional del Caribe/Golfo de México, radicado en el AOML (por sus siglas en inglés, Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory) es uno de los mayormente establecidos para el procesamiento y distribución de la información en tiempo casi real ([PhOD, 2017](#)). El colectivo de autores emplea sus datos para considerar el campo de la circulación marina en los mares Intra - Americanos. No

obstante, la información del servicio se utiliza en una amplia variedad de propósitos: para monitorear la temperatura de la superficie del mar y las floraciones de algas, estudiar las distribuciones de peces y mamíferos marinos, y para ayudar en el pronóstico atmosférico. La fuente de datos primarios para el CW es el AVHRR (en sus siglas en inglés, Advanced Very High Resolution Radiometer) sobre los satélite del tiempo de órbita polar ([Keynotes, 2012](#)).

Fox y sus colaboradores emplearon el modelo OCCAM (por sus siglas en inglés, Ocean Circulation and Climate Advanced Modelling) por medio de un esquema de asimilación de datos altimétricos, muy atractivo por su amplia disponibilidad. El formato de experimentos gemelos y el esquema de desplazamiento de Cooper y Haines dieron muy buenos resultados en la mayoría de las regiones del océano mundial ([Fox et al., 2000a](#)). Sin embargo, los dos principales problemas de su empleo fueron que sólo proporcionaba información sobre las corrientes en la superficie, y que las corrientes medias no podían ser determinadas con precisión por no ser el Geóide totalmente conocido.

A partir de 1993 los mapas combinados de la variable anomalía del nivel del mar, reportada por altímetros de la TOPEX/POSEIDON y el ERS-1 son asimilados cada 10 días por el mencionado modelo hidrodinámico. Una vez que su uso se relacionó con la asimilación de datos provenientes de los ADCP (instrumentos hidroacústicos, cuyo nombre se refiere a sus siglas en inglés: Acoustic Doppler Current Profiler, se emplean para medir la velocidad de la corriente en una profundidad determinada) se obtuvieron resultados muy buenos. De esta manera, se consideró la circulación marina a diferentes niveles subsuperficiales con una exactitud considerablemente buena para análisis globales y regionales ([Fox et al., 2000b](#)).

Varios trabajos han sido llevados a cabo en regiones específicas, como por ejemplo la de Poulain y su equipo en el Mar Mediterráneo. En aquella investigación se obtuvo la representación esquemática de la circulación geostrofica media superficial, a partir de datos de altimetría y



derivadores, considerados en el Sistema AVISO (por sus siglas en inglés, Archiving, Validation, and Interpretation of Satellite Oceanographic data). Los resultados de la investigación armonizaron con varios detalles reflejados en expediciones y estudios anteriores ([Poulain et al., 2012](#)).

En el servicio actual se solicitan (a través de una web) las corrientes geostroficas que parten de valores de la altimetría del nivel del mar y el campo medio de la altura dinámica. Los valores de anomalía conciben la altura media de la superficie marina (AMM) de tres maneras.

La primera es resultado del empleo del modelo OCCAM con resolución espacial de  $0.25^\circ$  y 36 niveles en la profundidad. El campo es derivado de las corridas del modelo durante tres años, alimentadas con vientos reales del modelo atmosférico ECMWF (por sus siglas en inglés, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts). Los errores medios de la altura de la superficie del mar (mssh errores) en las fronteras donde convergen las corrientes, son eliminados empleando alturas climatológicas dinámicas basadas en las climatologías de Levitus ([Levitus, 1983](#)) y Lozier ([Lozier et al., 1995](#)).

Las otras opciones para medir la ANM son OCCAM\_XBT (que incluye además datos de la temperatura subsuperficial) y LEVITUS1000m (que mide la topografía dinámica media referida a los 1000 metros de profundidad). Los campos son atribuidos a las 00 UTC, siendo la resolución temporal de 24 horas.

### Descarga automatizada

Con el objetivo de homogeneizar la población de datos del COASTWATCH y evitar errores subjetivos se implementó un programa en el lenguaje de programación Python con el IDE Pycharm Community 2019. Esta aplicación es capaz de descargar archivos tipo imagen ([figura 1](#)) o tipo texto ([figura 2](#)), luego de seleccionar la profundidad (00m, 050m, 100m, 200m, 500m, 1000m y 2000m) la zona de trabajo y el rango de tiempo de interés (con la fecha de inicio y la final).

### Procedimiento para la obtención de los mapas mensuales

Para realizar este estudio se utilizaron 26 años de datos provenientes del mencionado servicio (del 1ro de enero del 1993 hasta el 31 de diciembre del 2018). La población de datos, a pesar de descargarse automáticamente, presentaba errores de edición, al parecer procedentes de propio servidor. Por ese motivo, se creó un programa denominado “ReconoceCiri.m” para subsanar el problema (en caso de errores pequeños) o eliminarlo (en caso de errores mayores).

Siendo así, se agruparon todos los datos diarios correspondientes a cada mes y se obtuvo una matriz promedio, resultante de la corrida de otro programa denominado “ProcessFile.py”. Este programa tiene la característica de implicar en los cálculos a todos los archivos que se encuentran en las carpetas, por ese motivo se debe tener cuidado a la hora de la distribución de los mismos. Luego de obtener las doce matrices, se creó un programa para visualizar los campos de corriente, empleando varias librerías del propio lenguaje (matplotlib, numpy, basemap y math), las cuales aportan funciones matemáticas, análisis de datos, generación de gráficos en 2D, trazado de contornos, imágenes, vectores, líneas o puntos en las coordenadas, etc.

### Procedimiento para la obtención de los mapas de tendencia

Con la intención de calcular la tendencia que ha presentado la magnitud de la velocidad de las corrientes marinas superficiales, se cambió la distribución de los datos diarios en nuevas carpetas y se promediaron nuevamente agrupados en cinco grupos. Estos nuevos grupos se correspondieron con los cinco quinquenios de la población (1993 - 1997, 1998 - 2002, 2003 - 2007, 2008 - 2012 y 2013 - 2017).

Se dispuso a realizar los cálculos de tendencia para cada nodo de las matrices considerada en CW. En la ecuación de la recta  $y = mx + b$ , se hizo énfasis en el cálculo de la pendiente que es la que define la tendencia directamente. El valor del intercepto sólo será útil para realizar en trabajos

futuros, algún pronóstico para próximos quinquenios.

Siendo así, la variable independiente  $x$  tomaría los valores de los cinco quinquenios  $x = 1, 2, 3, 4, 5$ . La variable dependiente para cada nodo sería el valor de la magnitud de la velocidad, contenido en cada una de las cinco matrices promediadas para cada quinquenio.

La siguiente [ecuación 1.1](#) muestra el cálculo de la pendiente de la recta "m":

$$m = \frac{\sum x \sum y - n \sum (xy)}{(\sum x)^2 - n \sum x^2}$$

donde,  $n$  es número de datos que conforma nuestra nueva población, que toma el valor 5 por la cantidad de intervalos analizados.

## ANÁLISIS Y RESULTADOS

El procesamiento realizado con la población de datos seleccionada ha mostrado múltiples detalles de interés, los que, en la generalidad de los casos, corroboran lo analizado en expediciones e investigaciones anteriores. Los sistemas de corrientes anteriormente mencionados son perfectamente visibles en las imágenes resultantes, comparados con su entorno cercano, incluyendo la Corriente de las Antillas que es la más débil de todas.

Se confirma que la corriente del Caribe es más intensa y mejor definida durante los meses de primavera-verano ([Figura 4](#) - [Figura 9](#)), mientras que en otoño ([Figura 10](#) - [Figura 12](#)) -invierno ([Figura 1](#) - [Figura 3](#)) queda discontinua y dispersa en varios sitios, como lo mencionaron ([Gallegos and Czitrom, 1997](#)). En el primer subgrupo el rumbo preferencial de su eje central está dirigido al noroeste. Resulta fácilmente visible la circulación en contra de las manecillas del reloj en el giro Panamá - Colombia (GCP) como fue argumentado por ([Gyory et al., 2019a](#)).

Los valores de la magnitud de la corriente son más fuertes en julio en la Corriente de Yucatán y los meses de agosto y junio le continúan, acorde a lo expresado. Se corrobora lo mencionado por Gyory ([Gyory et al., 2019b](#)) que las velocidades cerca de las superficies del mar se encuentran entre los 60 y los 80cm/s en la Corriente del Lazo, con mínimos en su porción norte. Además, durante el

verano, por la intensidad de la corriente de Yucatán, aumenta el desplazamiento del Lazo hacia el norte ([Figura 7](#) - [Figura 9](#)), suceso que es mejormente visible en agosto y julio.

En la corriente de Las Antillas se ratifica que la velocidad promedio es inferior a los 10 cm/s y su tránsito se dirige desde las Antillas Menores por el borde exterior de Las Bahamas.

Por otra parte, se analiza la Corriente de México y se determina que su velocidad promedio oscila sobre los 40 cm/s, valor que es inferior a lo reportado por ([Lie-Yauw, 2005](#)). Esta subestimación podría estar vinculada a la cercanía de este sistema de corriente con la costa, condición que se aleja con el modelo de la corriente geostrofica.

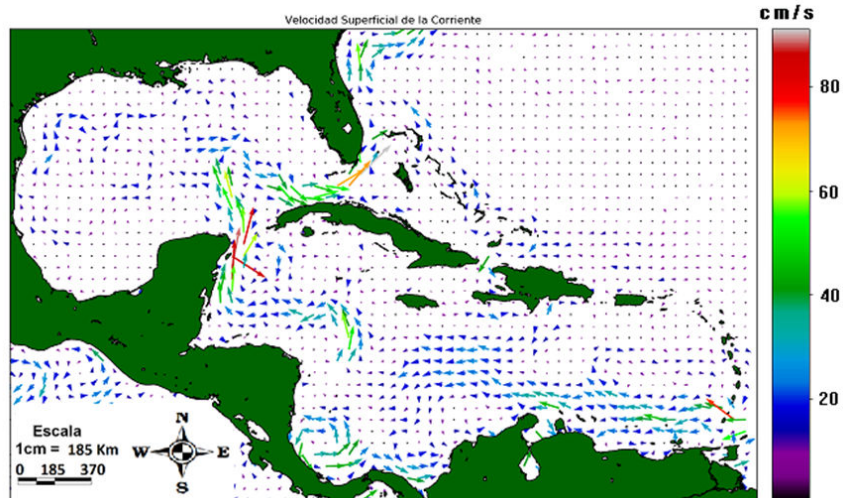
Se puede evidenciar que la mayor influencia de los sistemas de corrientes sobre las costas cubanas se encuentra en la parte Noroccidental, zona donde la Corriente de La Florida se acerca al norte de las provincias de La Habana, Mayabeque y Matanzas. El valor de la velocidad más cercana se encuentra entre los 40 - 60 cm/s, según el análisis del colectivo de autores.

A continuación se muestran las salidas gráficas obtenidas para la caracterización mensual.

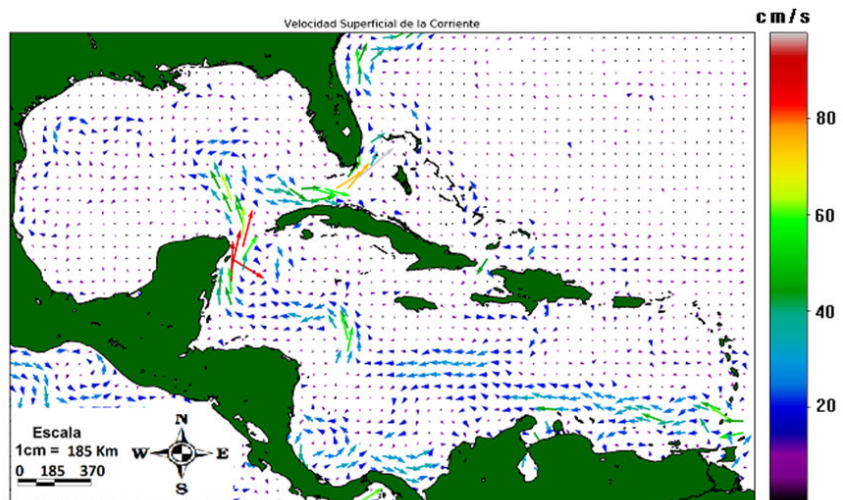
En el análisis de la tendencia de la magnitud de las corrientes marinas ([Figura 13](#)) ha sido interesante realizar una subdivisión a la región en tres zonas: Mar Caribe, Golfo de México y el Atlántico Cercano o Próximo. La [figura 13](#), resultado del procedimiento mencionado, es muy útil para identificar las zonas de cambio ascendente y descendente; incluso aquellas donde el cambio es significativo ( $-1.5 > m > 1.5$ ).

A modo general, es posible apreciar que en el Mar Caribe, el flujo marino tiende lentamente a disminuir en el transcurso del tiempo, prevaleciendo el rango comprendido entre 0 y -1.5 para la pendiente. En el Golfo de México y en el Atlántico Cercano, de otro modo existe tendencia al ligero aumento, extendiéndose mayormente en estas zonas el rango entre 0 y 1.5.

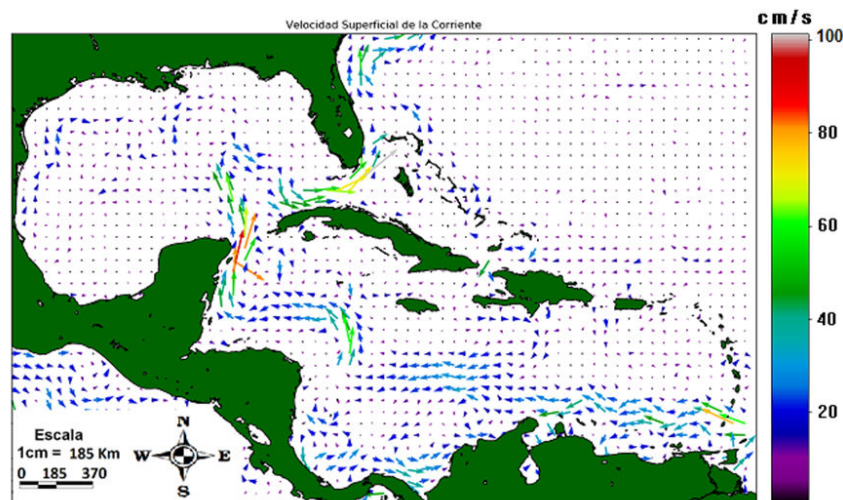
Las áreas donde existe una tendencia marcada a la disminución de la velocidad son en el golfo de Mosquitos y al norte de Cancún, en la península de



**Figura 1.** Promedio de la velocidad superficial de la corriente de enero.

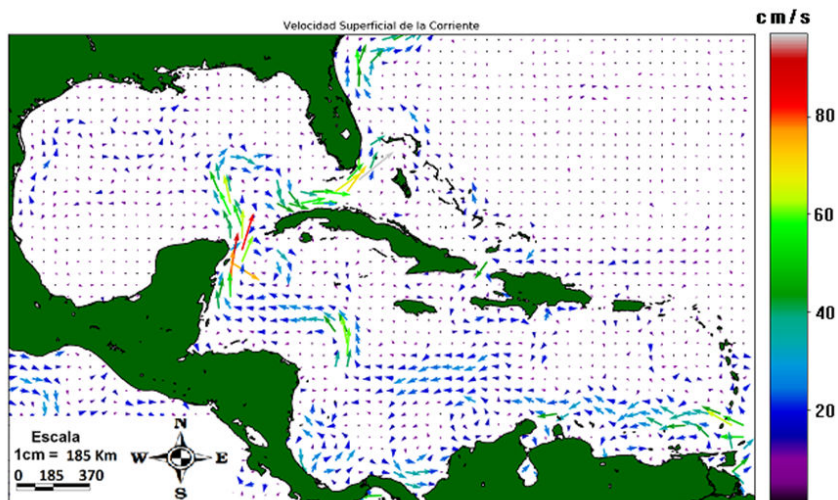


**Figura 2.** Promedio de la velocidad superficial de la corriente de febrero

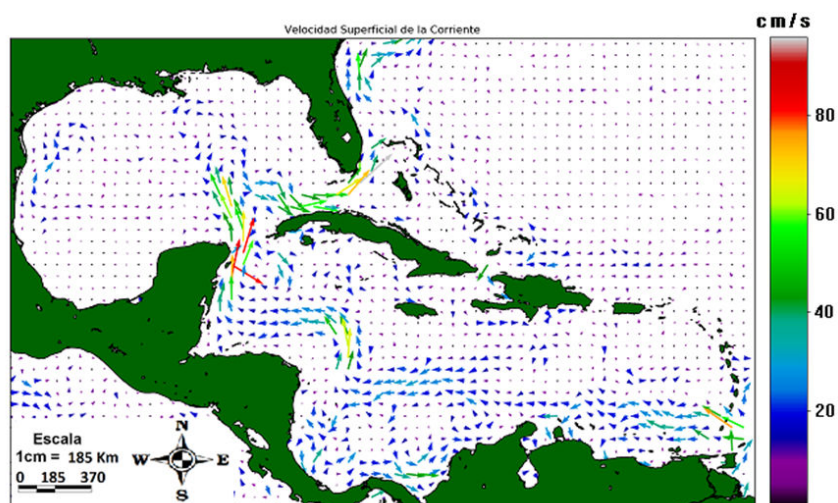


**Figura 3.** Promedio de la velocidad superficial de la corriente de marzo

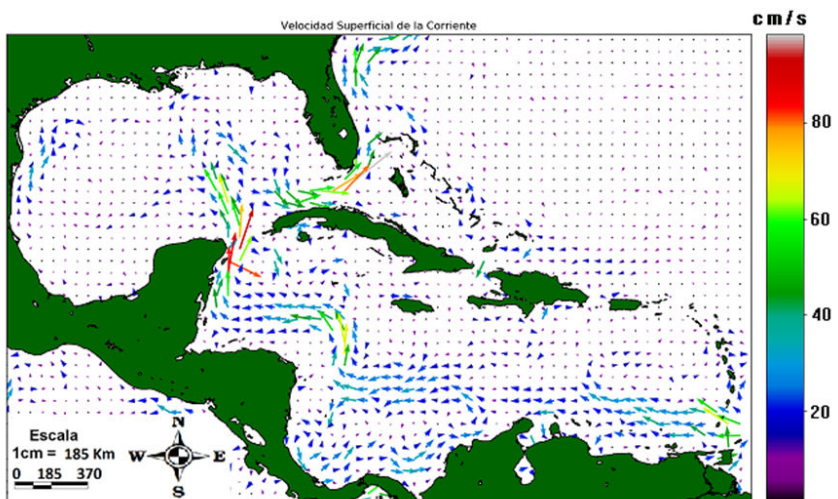




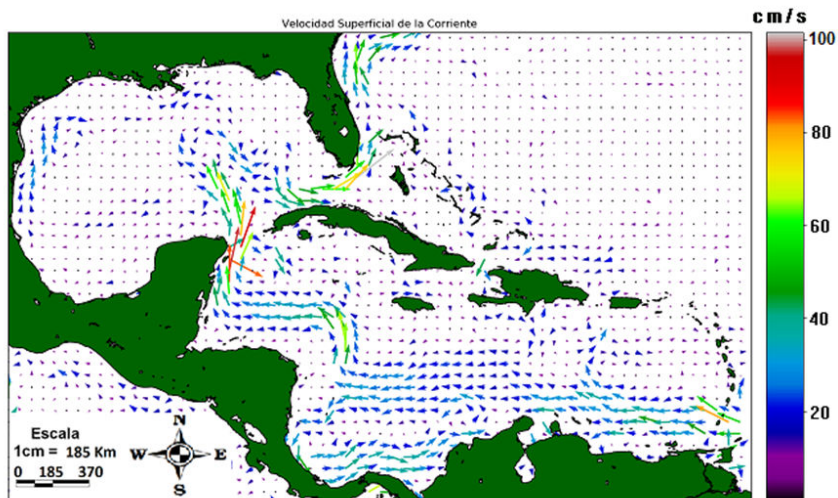
**Figura 4.** Promedio de la velocidad superficial de la corriente de abril



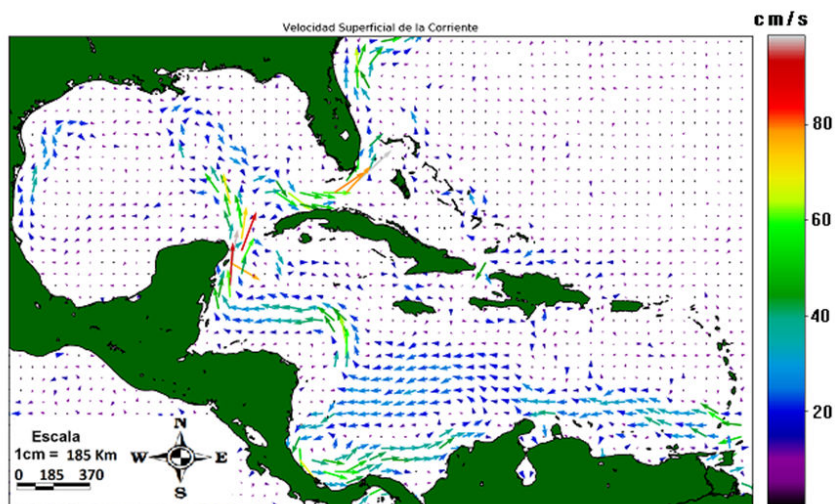
**Figura 5.** Promedio de la velocidad superficial de la corriente de mayo



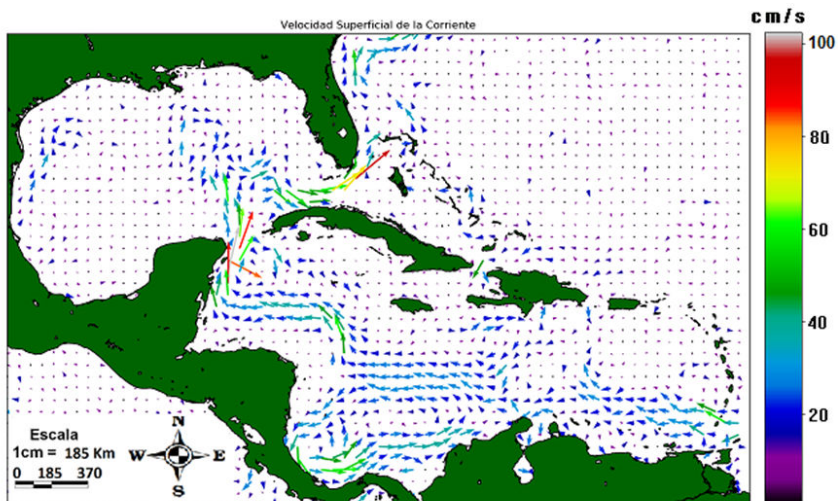
**Figura 6.** Promedio de la velocidad superficial de la corriente de junio



**Figura 7.** Promedio de la velocidad superficial de la corriente de julio



**Figura 8.** Promedio de la velocidad superficial de la corriente de agosto



**Figura 9.** Promedio de la velocidad superficial de la corriente de septiembre



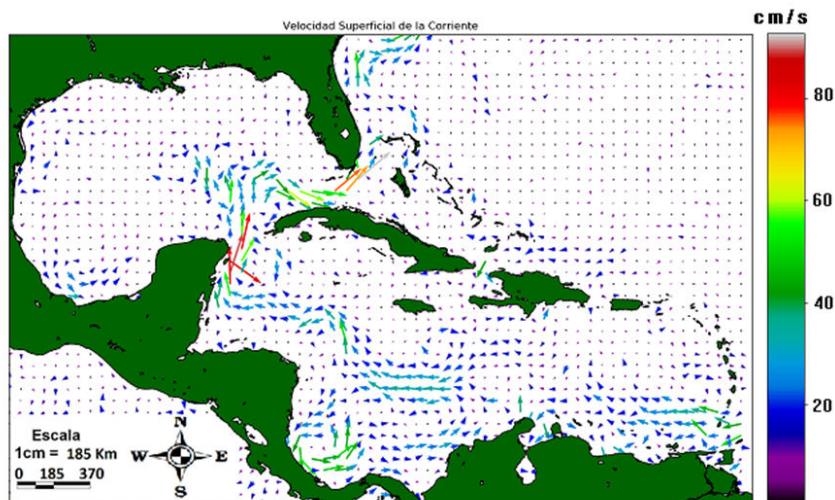


Figura 10. Promedio de la velocidad superficial de la corriente de octubre

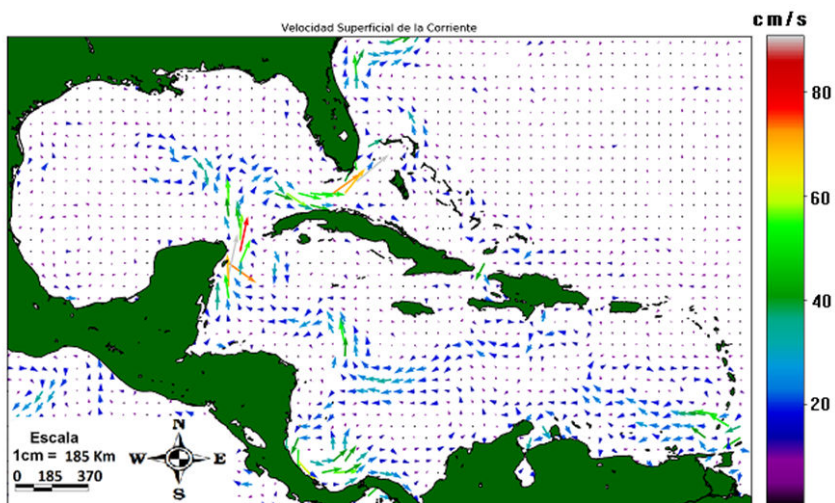


Figura 11. Promedio de la velocidad superficial de la corriente de noviembre

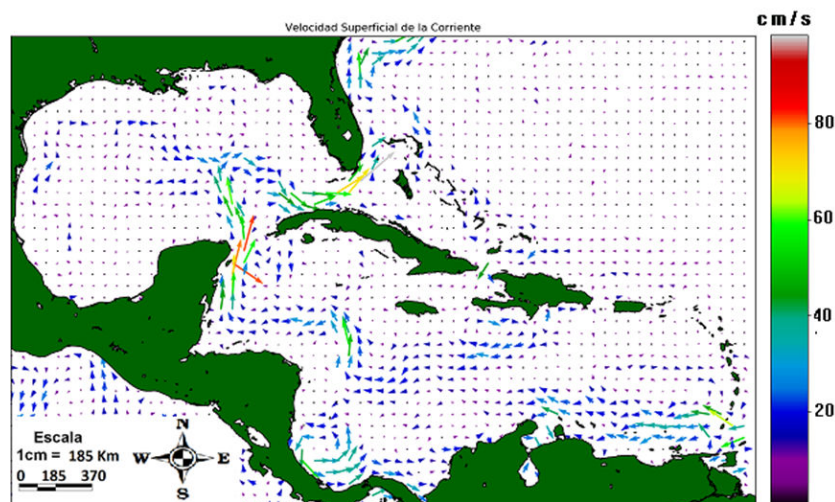
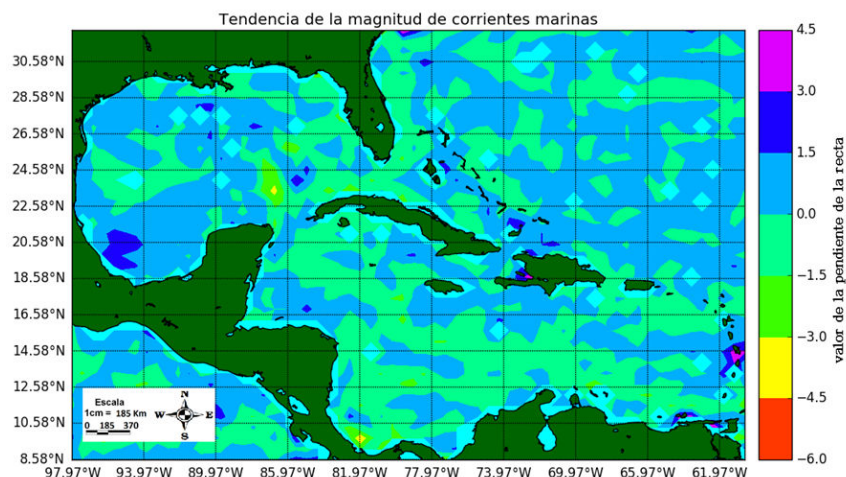


Figura 12. Promedio de la velocidad superficial de la corriente de diciembre



**Figura 13.** Tendencia de la magnitud de las corrientes marinas desde 1993-2018

Yucatán. De otro modo, la tendencia al aumento se sitúa en el golfo de Campeche, al norte del canal de Yucatán y en la parte central del golfo de México. Existe una situación bien interesante en esta salida gráfica y es la cercanía entre dos valores extremos negativos y positivos de la variable en cuestión al norte de la Corriente de Yucatán. Todo indica que este sistema de corrientes está rotando su eje central, inclinándolo al Nortenordeste.

En los sitios donde hay ausencia de datos (como en las áreas terrestres y otros lugares con pequeñas islas) Python consideró el valor “NAN”, es por ello que aparece en el mapa para las áreas cercanas a la costa un color azul claro y de igual manera los puntos aislados con esta característica son rodeados con un rombo del mismo color. Este detalle se ajusta muy bien al hecho que la corriente geostrofica no resulta válida para estos lugares.

### CONCLUSIONES

Se obtuvieron los mapas promedios mensuales para la región con detalles que entran en armonía con las investigaciones y expediciones precedentes.

Los valores inherentes a la Corriente de México se encuentran subestimados. Este hecho podría estar vinculado con la cercanía de este sistema a la costa, condición que se aleja con el modelo de la corriente geostrofica.

Es posible apreciar que en el Mar Caribe, el flujo marino ha tendido a una ligera disminución en su magnitud, en cambio en el Golfo de México y en el Atlántico Cercano, ha existido un leve aumento.

### REFERENCIAS

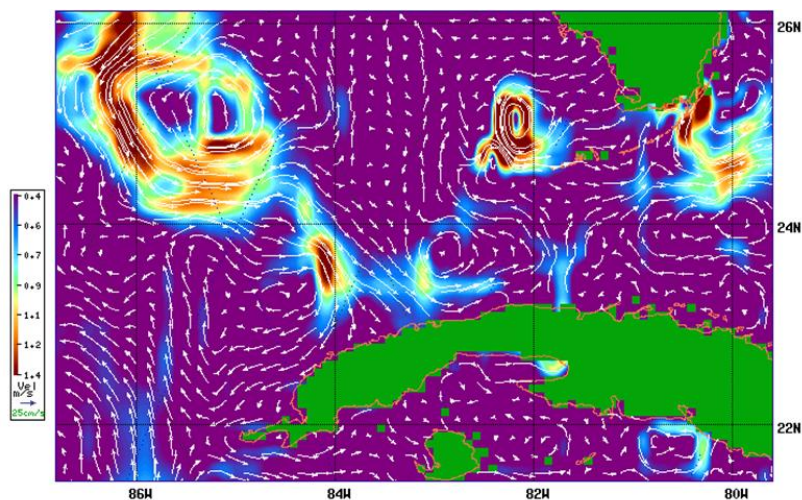
- Arriaza, L., 2018. CONECTIVIDAD DINÁMICA EN LAS AGUAS OCEANICAS ALREDEDOR DE CUBA: LA CONTRACORRIENTE CUBANA ENTRE CABO DE SAN ANTONIO Y PENÍNSULA DE HICACO. Presented at the MarCuba 2018, CITMATEL, La Habana.
- Brooks, D.A., Legeckis, R.V., 1982. A ship and satellite view of hydrographic features in the western Gulf of Mexico. J. Geophys. Res. Oceans 87, 4195-4206. <https://doi.org/10.1029/JC087iC06p04195>
- Fox, A.D., Haines, K., de Cuevas, B.A., Webb, D.J., 2000a. Altimeter assimilation in the OCCAM global model: Part I: A twin experiment. J. Mar. Syst. 26, 303-322. [https://doi.org/10.1016/S0924-7963\(00\)00043-9](https://doi.org/10.1016/S0924-7963(00)00043-9)
- Fox, A.D., Haines, K., de Cuevas, B.A., Webb, D.J., 2000b. Altimeter assimilation in the OCCAM global model Part II: TOPEX/POSEIDON and ERS-1 assimilation. J. Mar. Syst. 26, 323-347. [https://doi.org/10.1016/S0924-7963\(00\)00044-0](https://doi.org/10.1016/S0924-7963(00)00044-0)
- Gallegos, A., Czitrom, S., 1997. Aspectos de la oceanografía regional del Mar Caribe, Contribuciones a la Oceanografía Física de México.
- Gyory, J., Mariano, A.J., Ryan, E.H., 2019a. The Caribbean Current [WWW Document]. URL



- URL <https://oceancurrents.rsmas.miami.edu/caribbean/caribbean.html> (accessed 6.7.19).
- Gyory, J., Mariano, A.J., Ryan, E.H., 2019b. The Yucatan Current [WWW Document]. URL <https://oceancurrents.rsmas.miami.edu/caribbean/yucatan.html> (accessed 6.7.19).
- Gyory, J., Mariano, A.J., Ryan, E.H., 2019c. The Loop Current [WWW Document]. URL <https://oceancurrents.rsmas.miami.edu/atlantic/loop-current.html>
- Gyory, J., Mariano, A.J., Ryan, E.H., 2019d. The Mexican Current [WWW Document]. URL <https://oceancurrents.rsmas.miami.edu/caribbean/mexican.html>
- Gyory, J., Mariano, A.J., Ryan, E.H., 2019e. The Gulf Stream [WWW Document]. URL <https://oceancurrents.rsmas.miami.edu/atlantic/gulf-stream.html>
- Gyory, J., Mariano, A.J., Ryan, E.H., 2019f. The Florida Current [WWW Document]. URL <https://oceancurrents.rsmas.miami.edu/atlantic/florida.html>
- Haidvogel, D.B., Beckmann, A., 1999. The final frontier, in: Numerical Ocean Circulation Modeling, Series on Environmental Science and Management. IMPERIAL COLLEGE PRESS, pp. 283-286. [https://doi.org/10.1142/9781860943935\\_0008](https://doi.org/10.1142/9781860943935_0008)
- Keynotes, 2012. Keynotes [WWW Document]. URL <https://www.aoml.noaa.gov/keynotes/> (accessed 6.26.19).
- Kourafalou, V., Androulidakis, Y., Hénaff, M.L., Kang, H., 2017. The Dynamics of Cuba Anticyclones (CubANs) and Interaction With the Loop Current/Florida Current System. J. Geophys. Res. Oceans 122, 7897-7923. <https://doi.org/10.1002/2017JC012928>
- Lee, T.N., Johns, W.E., Zantopp, R.J., Fillenbaum, E.R., 1996. Moored observations of western boundary current variability and thermohaline circulation at 26.5°N in the subtropical North Atlantic. J Phys. Oceanogr. 26, 962-983.
- Levitus, S., 1983. Climatological Atlas of the World Ocean. Eos Trans. Am. Geophys. Union 64, 962-963. <https://doi.org/10.1029/EO064i049p00962-02>
- Lie-Yauw, O., 2005. A Circulation Model of the Gulf of Mexico and the Caribbean Sea.
- Lozier, M.S., Owens, W.B., Curry, R.G., 1995. The climatology of the North Atlantic. Prog. Oceanogr. 36, 1-44. [https://doi.org/10.1016/0079-6611\(95\)00013-5](https://doi.org/10.1016/0079-6611(95)00013-5)
- Mitrani, I., 2017. Meteorología Marina. CITMATEL.
- Monreal-Gómez, M.A., Salas-de-León, D.A., Velasco-Mendoza, H., Caso, M., Pisanty, I., Ezcurra, E., 2004. La hidrodinámica del Golfo de México. Diagnóstico Ambient. Golfo México 1, 47-68.
- Ochoa, J., Sheinbaum, J., Badan, A., Candela, J., Wilson, D., 2001. Geostrophy via potential vorticity inversion in the Yucatan Channel [WWW Document]. <https://doi.org/info:doi/10.1357/002224001762674917>
- PhOD, 2017. Physical Oceanography Division [WWW Document]. URL <https://www.aoml.noaa.gov/phod/index.php> (accessed 6.26.19).
- Poulain, P.-M., Menna, M., Mauri, E., 2012. Surface Geostrophic Circulation of the Mediterranean Sea Derived from Drifter and Satellite Altimeter Data. J. Phys. Oceanogr. 42, 973-990. <https://doi.org/10.1175/JPO-D-11-0159.1>
- Trinanes, J.A., Goni, G., 2019. Near Real-Time Altimeter-GTS Data [WWW Document]. URL <https://cwcaribbean.aoml.noaa.gov/CURRENTS/index.html> (accessed 6.10.19).

## ANEXO

Tipos de archivos entregados por el proyecto COASTWATCH, una vez que se seleccionan los datos de la web diseñada por la NOAA o se introducen en el archivo de configuración del programa creado por los autores.



**Figura I.** Campo de la corriente marina superficial calculada para un día.

| Latitud | Longitud | uv          |
|---------|----------|-------------|
| 32.33   | -80.75   | -5.0 -15.8  |
| 32.33   | -80.16   | -20.8 -11.0 |
| 32.33   | -79.57   | -12.1 -3.4  |
| 32.33   | -78.38   | 8.4 9.3     |
| 32.33   | -77.78   | 32.4 20.1   |
| 32.33   | -77.19   | 23.8 37.0   |
| 32.33   | -76.60   | 3.3 17.0    |
| 32.33   | -76.00   | -0.1 6.1    |
| 32.33   | -75.41   | -17.7 -8.1  |
| 32.33   | -74.82   | -0.9 -8.1   |
| 32.33   | -74.22   | 4.2 19.1    |
| 32.33   | -73.63   | 7.4 26.0    |
| 32.33   | -73.03   | 10.8 35.1   |
| 32.33   | -72.44   | -1.8 5.2    |
| 32.33   | -71.85   | 3.1 15.1    |
| 32.33   | -71.25   | 11.3 19.6   |
| 32.33   | -70.66   | 16.5 -12.0  |
| 32.33   | -70.07   | 9.8 -30.0   |
| 32.33   | -69.47   | 2.1 -20.1   |

**Figura II.** Estructura del dato tipo texto.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)