



Revista Cubana de Meteorología

ISSN: 2664-0880

Instituto de Meteorología

Sánchez Pérez, Enrique Omar; Arriaza Oliveros, Liliam; Rivero Ordaz, Laura;
Hernández González, Marcelino; Carrillo Betancourt, Yudelsy; Viamontes Fernández,
Jorge L.; Ochoa de La Torres, José Luis; Candela Pérez, Julio; Sheinbaum, Julio
Comportamiento de la Corriente de La Florida (81° W) en el periodo 2012-2018
Revista Cubana de Meteorología, vol. 29, núm. 2, e04, 2023
Instituto de Meteorología

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=701977564002>

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

UDEM
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

Comportamiento de la Corriente de La Florida (81° W) en el periodo 2012-2018



Florida Current (81° W) behavior between 2012 and 2018

<https://cu-id.com/2377/v29n2e04>

¹Enrique Omar Sánchez Pérez^{1*}, ²Liliam Arriaza Oliveros², ³Laura Rivero Ordaz³,
⁴Marcelino Hernández González⁴, ⁵Yudelsy Carrillo Betancourt⁴, Jorge L. Viamontes Fernández⁵,
⁶José Luis Ochoa de La Torres⁶, ⁶Julio Candela Pérez⁶, ⁶Julio Sheinbaum⁶

¹Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, México

²Instituto de Ciencias del Mar, La Habana, Cuba.

³Departamento de Química y Física Aplicada, Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales, Universidad de León, España.

⁴Instituto de Geografía Tropical, La Habana, Cuba

⁵Empresa GEOCUBA, Estudios Marinos, La Habana, Cuba

⁶Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), Baja California, México.

RESUMEN: Entre 2012 y 2018 se monitoreó el comportamiento de las corrientes marinas en el Estrecho de La Florida mediante mediciones directas en siete anclajes oceanográficos. Con los datos de uno de estos anclajes se analizó el comportamiento de la Corriente de La Florida durante dicho periodo. Los estadígrafos empleados en el estudio fueron: mínimo, máximo, media, desviación estándar, valores anómalos y coeficiente de correlación de Pearson. Se obtuvieron rosas de corrientes en diferentes profundidades con los datos filtrados con frecuencia de corte de 48 h⁻¹. Los valores máximos de magnitud de la Corriente de La Florida alcanzaron hasta 2 m/s, predominando el movimiento hacia el este-noreste o el este. Los valores absolutos de las anomalías en el periodo de estudio 2012 -2018 no superaron 0,15 m/s y los de las anomalías mensuales alternaron su signo en un periodo bianual o trianual. Se detectó una muy baja correlación lineal entre series anuales para todas las profundidades de análisis, con valores absolutos de correlación de Pearson inferiores a 0,31. Particularmente, entre agosto-2013 y agosto-2014, la Corriente de La Florida mostró una ligera tendencia a su ralentización; y en el lapso agosto-2015/agosto-2016, un predominio en su acercamiento a Cuba. No se encontró evidencia de un comportamiento anómalo de la Corriente de La Florida con respecto a su comportamiento histórico.

Palabras claves: Estrecho de La Florida, CANEK, variabilidad, anomalías.

ABSTRACT: The behavior of marine currents in the Florida Straits was sampled by seven oceanographic moorings between 2012 and 2018. Using data from one of these moorings, the behavior of the Florida Current during said period was analyzed. The statistical parameters used in the research were: minimum, maximum, mean, standard deviation, anomalous values, and Pearson's correlation coefficient. Current roses were obtained at different depths from the filtered data with a cut frequency of 48 hr⁻¹. The maximum magnitude values of the Florida Current reached up to 2 m/s, with a movement towards the east-northeast or east. Absolute values of the anomalies in the study period 2012 -2018 did not exceed 0.15 m/s, and those of monthly anomalies alternated their sign in a biannual or triannual period. An extremely low linear correlation was detected between annual series for all depths of the analysis, with absolute Pearson correlation values lower than 0.31. Particularly, between August-2013 and August-2014, the Florida Current showed a slight tendency to slow down; and in the period August-2015 // August-2016, a predominance in its proximity to Cuba. No evidence was found of anomalous behavior of the Florida Current with respect to its historical behavior.

Keywords: Florida Strait, CANEK, variability, anomalous values.

INTRODUCCIÓN

El Estrecho de La Florida en su porción este - oeste (81,08° - 81, 42° W y 23, 16° - 24,51° N), separa el archipiélago cubano del extremo sur de la península de La Florida, en los Estados Unidos, y conecta las

aguas del océano Atlántico al este, con las del golfo de México al oeste (Figura 1). Este estrecho tiene un ancho aproximado de 160 km entre Cayo Hueso, Estados Unidos, y la costa cubana con una profundidad de umbral de 850 m, al norte de Canasí, Cuba.

*Autor para correspondencia: enriqueosp@gmail.com

Recibido: 30/01/2023

Aceptado: 25/03/2023

En el Estrecho de La Florida circula la Corriente de Florida, una corriente proveniente del golfo de México que tiene su continuación en la Corriente del Golfo al este de la península de La Florida. 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, cuyo flujo está dado, fundamentalmente, por la convergencia de la Corriente del Lazo y la Corriente de las Antillas (Gyory et al., 2013). Recientemente, (Candela et al., 2019) demostraron que se transportan $27,6\text{Sv}$ ($1\text{Sv} = 10^6\text{m}^3\text{s}^{-1}$), en su porción al sur de la península de La Florida, y aproximadamente 30 Sv , al este de la propia península. Esta corriente se encuentra sujeta a una variabilidad interanual y estacional importante con valores máximos de velocidad en verano precedidos de mínimos en primavera y sucedido por máximos en otoño (Gyory et al., 2013; Hamilton et al., 2005; Rousset & Beal, 2010).

En el estrecho la corriente presenta oscilaciones de la posición de su eje principal entre la costa noroccidental de Cuba y la costa sur de la Florida. Estas oscilaciones están relacionadas a la variabilidad espacial de la Corriente del Lazo, en el golfo de México y a la presencia de remolinos anticiclónicos que se desarrollan y se liberan en la zona tanto dentro de la ramificación de la Corriente del Lazo al acercarse a Cuba, como remolinos independientes, fuera de la Corriente del Lazo, o como un caso mixto en que ambos tipos están presentes; los que ocurren cada aproximadamente dos meses (Androulidakis et al., 2020; Kourafalou et al., 2017).

En el sistema de corrientes marinas de escala regional alrededor de Cuba, particularmente para el Estrecho de La Florida, han sido reportadas variaciones de 50, 250 días, anuales y hasta dos años (Kourafalou et al., 2017). Sin embargo, las de menor periodo solo fueron detectadas en las aguas al sur del núcleo de la Corriente de La Florida, donde se originan los remolinos anticiclónicos denominados CUBAN'S por (Kourafalou et al., 2017).

A pesar de ser una región ampliamente estudiada por la importancia que tiene la Corriente del Golfo, en su conjunto, como reguladora del clima mundial; no se había contado previamente con datos de mediciones directas que describieran toda la columna de agua al sur de La Florida y/o que contaran con datos continuos por periodos de tiempo largos.

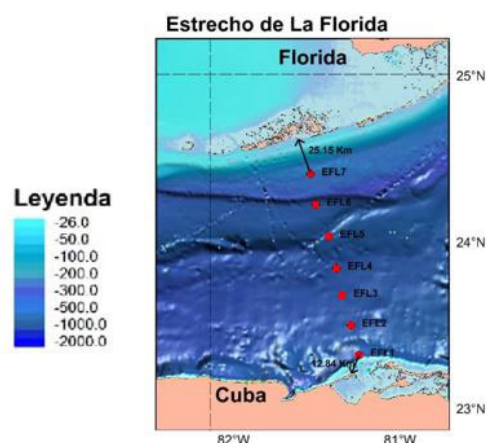


Figura 1. Estrecho de La Florida. Batimetría y ubicación de las mediciones actuales (ELF1 - ELF7)

En la investigación realizada se plantea como objetivo principal caracterizar el comportamiento oceanográfico de la Corriente de La Florida de acuerdo con su magnitud, rumbos y variabilidad espaciotemporal en la columna de agua, para el periodo agosto de 2012 a agosto de 2018. En específico, caracterizar estadísticamente la dinámica de las aguas a diferentes profundidades de la zona en estudio, determinar los principales rumbos que toma esta corriente y la frecuencia de estos, analizar el comportamiento promedio de la corriente marina en el periodo de estudio y determinar los valores de anomalías anuales y mensuales en la magnitud de la Corriente de La Florida.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y datos empleados

Se utilizaron los datos oceanográficos generados entre el 1 de agosto del 2012 y el 30 de julio del 2018 (Figura 1, Tabla 1), dentro del programa de mediciones “CANEK”, que ejecuta el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), Baja California, México; en el que participa el Instituto de Ciencias del Mar (ICIMAR), Cuba, gracias a un convenio bilateral de colaboración científica.

Los periodos de medición evaluados correspondieron con los últimos cinco cruceros del programa, datos continuos de seis años (Tabla 1). Se seleccionó el anclaje EFL5 como representativos de la circulación

Tabla 1. Periodos de medición del programa CANEK

Cruceros	Período con mediciones continuas	Intervalo de medición
CANEK 29	01 - 08 - 2012 hasta 31 - 05 - 2013	Una cada media hora
CANEK 34	01 - 07 - 2013 hasta 30 - 06 - 2014	Una cada media hora
CANEK 37	01 - 08 - 2014 hasta 30 - 06 - 2015	Una cada media hora
CANEK 39	01 - 08 - 2015 hasta 30 - 06 - 2016	Una cada media hora
CANEK 42	01 - 07 - 2016 hasta 30 - 07 - 2018	Una cada media hora

oceánica en el eje principal de la Corriente de La Florida, pues en este anclaje fue donde se detectó con mayor frecuencia de aparición dicho eje de acuerdo con las rosas de corriente analizadas y considerando la ubicación de la isoterma de 20°C a los 150 metros de profundidad sobre la longitud de 83°W. Durante el periodo de mediciones (2012-2015) esta isoterma se localizó, como promedio, en las posiciones (81,28°W; 24.04°N) y (81,40°W; 24,40°N), entre los 130 y 151 metros. Debe considerarse que dichas mediciones se ubican aproximadamente 2° al este de la zona que Kourafalou et al. (2017) denominan zona principal en la formación de los “CUBAN’s”.

Fueron utilizados perfiladores acústicos multicapas del tipo ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) de 150 kHz y correntómetros de la marca *Aanderaa*, de un nivel para realizar las mediciones (Aanderaa Products, 2020; Gordon, 2011). Las coordenadas de cada anclaje, la disposición, el tipo de equipo que se emplazó en cada profundidad que fueron utilizados en la investigación se organizaron en la Tabla 2 (Gallegos et al., 1998; Mamaev, 1970; Mitrani-Arenal & Díaz-Rodríguez, 2008).

Procesamiento de los datos

Los cálculos básicos y gráficos se obtuvieron con códigos computacionales desarrollados en Matlab por los autores. Se realizó un preprocesamiento donde fueron eliminados periodos y profundidades con datos erróneos o ausentes.

Se empleó la clasificación de las masas de agua (Mitrani-Arenal & Díaz-Rodríguez, 2008) para unificar profundidades con comportamiento hidrológico similar (Tabla 3) y en base a ello se tomaron las profundidades de 33 m, 164 m, 436 m, 613 m, 853 m y 1017 m como representativas de estas masas de agua en el análisis del anclaje oceanográfico EFL5, cuyos datos mostraron la mayor frecuencia de aparición de

magnitudes y rumbos característicos de la Corriente de La Florida.

Las distribuciones frecuenciales de magnitud de las corrientes marinas por rumbos o rosas de corrientes en las profundidades de 33 m, 164 m, 436 m y 613 m (Figura 3) permitieron completar la caracterización de las velocidades de la Corriente de La Florida en las aguas: superficial, sub - superficial y central; mientras las profundidades de 853 m y 1017 m (Figura 4) caracterizan las aguas intermedias y profundas, respectivamente.

Los estadígrafos empleados fueron: mínimo, máximo, media y desviación estándar, con el objetivo de hallar los valores extremos y determinar la dispersión de las series con respecto a sus valores centrales.

Se realizó un análisis estadístico de frecuencias (número de ocurrencia por unidad de tiempo) por rangos de direcciones y magnitud de las corrientes marinas mediante la elaboración de rosas de corrientes de 16 rumbos. Las rosas de corriente mostraron las distribuciones frecuenciales confeccionadas a partir de cada serie de datos, tomada en cada posición geográfica y en cada profundidad, conteniendo todo el periodo en estudio.

La serie de agosto-2012//agosto-2018 (Canek 29 hasta el 42) fue filtrada utilizando el filtro pasa - banda de *Lanczos*, con frecuencia de corte de 48 h⁻¹ y que tiene como ventaja que no se pierden tramos de la serie. El objetivo de su uso fue remover las oscilaciones de marea, las inerciales y otras altas frecuencias y con la descomposición en armónicos, de los coeficientes del filtrado, inferir los periodos en que ocurrieron diversos procesos según la energía que aportaron (Emery & Thomson, 2004). Los datos medidos entre 2012 y 2018 fueron reorganizados y promediados de forma horaria, comenzando por el mes de agosto, según la fecha de inicio y fin de las mediciones, con el objetivo de analizar el comportamiento de la corriente en un año promedio.

Tabla 2. Ubicación, tipo de equipo, configuración y profundidades medidas en los anclajes utilizados.

Anclaje	Equipo	Longitud (° E)	Latitud (° N)	Profundidad del equipo (m)	Posición	No. de profundidades
EFL5	ADCP	-81,289	24,024	104	Hacia arriba	8
				104	Hacia abajo	21
				573		16
	Correntómetro			1020	-	1

Tabla 3. Características de las masas de agua del Mediterráneo Americano

Nombre	Temperatura [°C]	Salinidad [ups]	Profundidad [m]
Agua Superficial Tropical (AST)	+ de 29	+ de 36	0 - 50
Agua Subsuperficial Subtropical del Atlántico Norte (ASSAN)	21.0 - 23.0	36.0 - 37.0	50 - 250
Agua Central del Atlántico Noroccidental (ACAN)	7.0 - 20.0	35.0 - 36.0	250 - 750
Agua Intermedia del Antártico (AIA)	2.0 - 6.0	33.8 - 34.8	750 - 950
Agua Profunda del Atlántico (APAN)	1.5 - 4.0	34.8 - 35.0	950 - fondo

Se determinaron las anomalías de cada año de medición, con inicio en el mes de agosto, respecto a la media de seis años de estudio (ago.-2012//ago.-2018) y se calculó el coeficiente de correlación de Pearson, con el propósito de explorar la variabilidad temporal de la magnitud y de los rumbos de las corrientes marinas. Con similar propósito, se calcularon las anomalías mensuales respecto a la media del correspondiente mes calendario en el ciclo anual medio para todo el periodo de mediciones (ago.-2012//ago.-2018).

RESULTADOS

Comportamiento de las corrientes marinas en el estrecho de La Florida

Los valores máximos de rapidez de la Corriente de La Florida a 33 m de profundidad aparecieron siempre en el trimestre julio-septiembre de cada año, con excepción del periodo 2017 - 2018 donde el máximo ocurrió en abril de 2018 (Tabla 4). El valor medio de rapidez entre 2012-2018 fue de 1,12 m/s, con una desviación estándar de 0,24 m/s. En los seis años de mediciones (2012-2018), el valor máximo absoluto de su rapidez (~2,00 m/s) aconteció en septiembre de 2016.

En la profundidad de 164 m los valores máximos se obtienen, mayormente, entre abril y septiembre (Tabla 4). El máximo absoluto de su magnitud fue 1,24 m/s, ocurrido en julio del 2013. El valor medio de rapidez para los seis años de estudio fue de 0,65 m/s con desviación estándar de 0,17 m/s.

En los 436 m el máximo valor de la magnitud de la Corriente de La Florida fue medido principalmente entre agosto y septiembre (Tabla 5). El máximo absoluto de rapidez en esta profundidad fue de 0,76 m/s en abril del 2014, con un valor medio de 0,28 m/s y desviación estándar de 0,10 m/s. En las aguas a 613 m de profundidad el máximo valor de rapidez fue de 0,63 m/s medido en septiembre de 2017, los valores máximos aparecieron en su mayoría entre agosto-septiembre de los años analizados; el valor medio de rapidez en el periodo de estudio fue de 0,18 m/s y su desviación estándar de 0,08 m/s.

En los 853 m de profundidad el máximo absoluto de 0,38 m/s, ocurrido en octubre de 2012, no sugiere una regularidad estacional en toda la columna de agua (Tabla 6). El valor medio de rapidez medido en esta última profundidad es alrededor de 0,09 m/s con desviación estándar de 0,06 m/s. En concordancia con lo anterior, en 1017 m de profundidad, los valores máximos para los diferentes años en estudio fueron aproximadamente iguales, con un valor alrededor de 0,20 m/s (Tabla 6). El valor medio de velocidad a esta profundidad fue de alrededor de 0,06 m/s con desviación estándar de 0,04 m/s. En ambas profundidades se apreció una alta dispersión de sus datos respecto a sus valores medios.

Los valores extremos mostraron un decrecimiento paulatino con el aumento de la profundidad de estudio. Estos extremos fueron medidos en igual mes para diferentes niveles de profundidad lo que evidenció la interrelación estrecha del movimiento en profundidades contiguas (Tabla 7).

Tabla 4. Valor máximo, medio y desviación estándar medidos en el anclaje EFL5 a 33 y 164 m de profundidad

Años de medición	Rapidez de la corriente (33 m)				Rapidez de la corriente (164 m)			
	Máximo		Medio	Des. Estándar	Máximos		Media	Des. Estándar
	[m/s]	Fechas	[m/s]	[m/s]	[m/s]	Fechas	[m/s]	[m/s]
2012-2013	1,72	ago.-12	1,12	0,23	1,24	jul.-13	0,67	0,19
2013-2014	1,95	jul.-14	1,14	0,23	1,11	jul.-14	0,67	0,16
2014-2015	1,79	sep.-14	1,14	0,24	1,14	abr.-15	0,62	0,14
2015-2016	1,81	ago.-15	1,16	0,26	1,07	ene.-16	0,67	0,16
2016-2017	1,96	sep.-16	1,16	0,23	1,01	may.-17	0,69	0,16
2017-2018	1,63	abr.-18	1,02	0,23	0,96	sep.-17	0,61	0,17
2012-2018	1,96	sep.-16	1,12	0,24	1,24	jul.-13	0,65	0,17

Tabla 5. Valor máximo, medio y desviación estándar medidos en el anclaje EFL5 a 436 y 613 m de profundidad.

Años de medición	Rapidez de la corriente (436 m)				Rapidez de la corriente (613 m)			
	Máximos		Media	Des. Estándar	Máximos		Media	Des. Estándar
	[m/s]	Fechas	[m/s]	[m/s]	[m/s]	Fechas	[m/s]	[m/s]
2012-2013	0,53	sep.-12	0,28	0,10	0,46	sep.-12	0,16	0,08
2013-2014	0,76	abr.-14	0,29	0,11	0,60	abr.-14	0,18	0,09
2014-2015	0,57	nov.-14	0,27	0,09	0,45	feb.-15	0,17	0,08
2015-2016	0,65	ago.-15	0,29	0,11	0,57	ago.-15	0,18	0,10
2016-2017	0,63	sep.-16	0,28	0,10	0,54	sep.-16	0,17	0,07
2017-2018	0,70	sep.-17	0,30	0,12	0,63	sep.-17	0,20	0,11
2012-2018	0,76	abr.-14	0,28	0,10	0,63	sep.-17	0,18	0,09

Tabla 6. Valor máximo, medio y desviación estándar medidos en el anclaje EFL5 a 853 y 1017 m de profundidad.

Años de medición	Rapidez de la corriente (853 m)				Rapidez de la corriente (1017 m)			
	Máximos		Media	Des. Estándar	Máximos		Media	Des. Estándar
	[m/s]	Fechas	[m/s]	[m/s]	[m/s]	Fechas	[m/s]	[m/s]
2016-2017	0,38	oct.-12	0,08	0,07	0,19	mar.-13	0,06	0,03
2017-2018	0,34	dic.-13	0,09	0,06	0,21	mar.-14	0,06	0,04
2012-2013	0,35	oct.-14	0,09	0,05	0,22	ago.-14	0,06	0,04
2013-2014	0,33	dic.-15	0,09	0,06	0,20	nov.-15	0,06	0,04
2014-2015	0,28	may.-17	0,08	0,05	0,22	may.-17	0,06	0,03
2015-2016	0,37	mar.-18	0,11	0,07	0,20	mar.-18	0,06	0,04
2012-2018	0,38	oct.-12	0,09	0,06	0,22	may.-17	0,06	0,04

Tabla 7. Valores extremos de rapidez reportados entre ago.-2012/ago.-2018 en 50 profundidades de medición de los ADCPs del anclaje EFL5

Prof.	Máximo				Prof.	Máximo				Mínimo
	2012-2018					2012-2018				
	[m]	[m/s]	Fecha	[m/s]		Fecha	[m]	[m/s]	Fecha	
33	1,96	sep.-16	0,1735	mar. -13	436	0,76	abr.-14	0,0040		abr.-17
41	1,93	jul. -14	0,1780	mar. -18	452	0,74	abr.-14	0,0029		abr.-16
49	1,90	jul. -14	0,1693	abr.-16	468	0,71	abr.-14	0,0004		abr.-16
57	1,85	jul. -14	0,1413	abr.-16	484	0,69	abr.-14	0,0001		mar. -16
65	1,79	jul. -14	0,1253	abr.-16	613	0,63	sep.-17	0,0051		abr.-13
73	1,73	jul. -14	0,1417	abr.-16	629	0,61	sep.-17	0,0017		mar. -13
81	1,62	jul. -14	0,1521	abr.-16	645	0,60	sep.-17	0,0006		ene. -17
89	1,48	may. -16	0,0754	abr.-16	661	0,59	sep.-17	0,0012		ene. -17
164	1,24	jul. -13	0,0055	abr.-17	677	0,59	sep.-17	0,0024		mar. -13
180	1,14	abr.-15	0,0320	abr.-17	693	0,58	sep.-17	0,0002		sep.-15
196	1,08	abr.-15	0,0048	abr.-13	709	0,58	sep.-17	0,0008		dic. -12
212	1,02	abr.-15	0,0063	jun.-15	725	0,57	sep.-17	0,0002		ene. -18
228	0,96	abr.-15	0,0086	oct.-17	741	0,56	sep.-17	0,0006		ene. -18
244	0,91	ene. -16	0,0077	abr.-16	757	0,54	sep.-17	0,0004		mar. -13
260	0,88	ene. -16	0,0061	feb. -14	773	0,51	sep.-17	0,0008		mar. -13
276	0,85	ene. -16	0,0098	feb. -14	789	0,44	sep.-17	0,0006		nov. -16
292	0,82	ene. -16	0,0025	abr.-17	805	0,41	oct.-12	0,0002		may. -16
308	0,79	sep.-17	0,0016	abr.-17	821	0,40	oct.-12	0,0005		ene. -13
324	0,80	sep.-17	0,0038	jul. -17	837	0,39	oct.-12	0,0003		feb. -15
340	0,78	sep.-17	0,0019	jul. -17	853	0,38	oct.-12	0,0004		oct.-12
356	0,78	abr.-14	0,0031	feb. -14	869	0,38	mar. -18	0,0003		ago. -12
372	0,79	abr.-14	0,0044	feb. -14	885	0,39	mar. -18	0,0005		oct.-16
388	0,79	abr.-14	0,0030	abr.-17	901	0,40	oct.-17	0,0004		ene. -13
404	0,79	abr.-14	0,0017	abr.-17	917	0,42	oct.-17	0,0003		mar. -16
420	0,77	abr.-14	0,0002	abr.-17	1017	0,22	may. -17	0,00002		sep.-12

Se estimó una débil estacionalidad, con valores extremos que no ocurren exactamente en el mismo mes o estación climática para los diferentes años de estudio (Figura 2). Sin embargo, se evidenció como promedio un máximo de rapidez entre la segunda quincena de junio y la primera de julio y un mínimo en la segunda quincena de abril desde superficie hasta ~600 m de profundidad. Dicho comportamiento medio es menos marcado con el aumento de la profundidad.

El análisis de la variabilidad de los valores de rapidez entre cada mes de los distintos años de estudio no evidenció un claro patrón interanual.

Por otra parte, en las rosas de corrientes se apreció un predominio del rumbo este noreste de la corriente en las profundidades de 33 y 164 m, con frecuencia de 40 y 43%, respectivamente, mientras en 436 m predominó el rumbo este con alrededor de un 33 % de ocurrencia (Figura 3 a-c). En las profundidades superiores a 613 m el rumbo con mayor frecuencia (33%), fue el este y a partir de esta profundidad comenzó a tomar relevancia los rumbos con componente oeste (Figura 3 d-f).

En todas las rosas de corriente elaboradas con los datos del anclaje ELF5, para las profundidades meno-

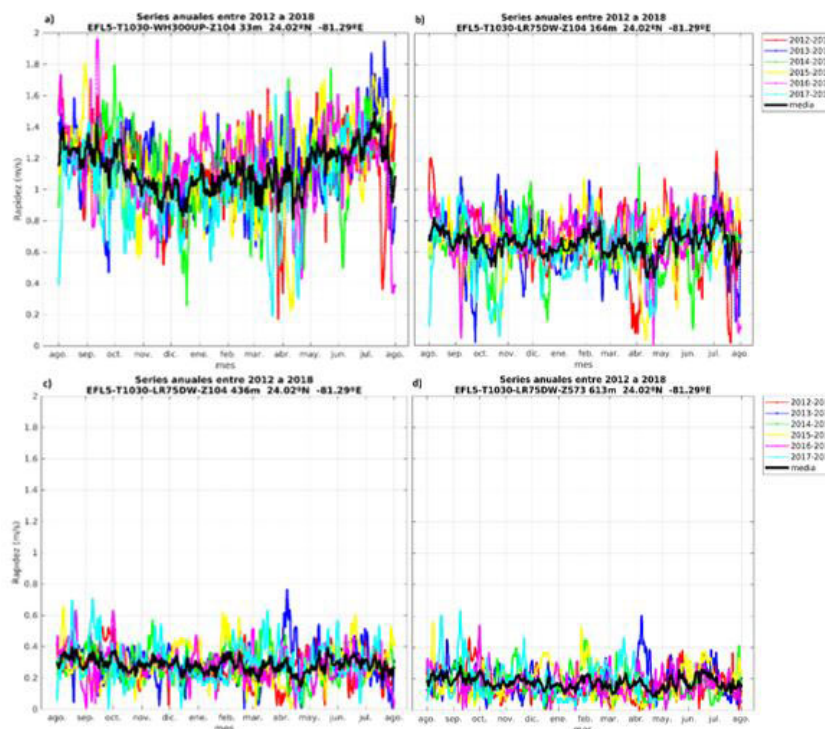


Figura 2. Cada línea representa la rapidez de las corrientes marinas en un año de mediciones, con inicio en el mes de agosto, para el periodo ago.-2012//ago.-2018 en el anclaje EFL5: a) 33 m, b) 164 m, c) 436 m y d) 613 m de profundidad. La curva negra representa la magnitud promedio de las corrientes marinas en el periodo de estudio.

res a 165 m no aparecieron corrientes de rumbo oeste. Las principales oscilaciones de los rumbos de la Corriente de la Florida fueron predominantes hacia el primer cuadrante (norte - este), con menor frecuencia hacia el segundo cuadrante (este - sur), desde superficie hasta los 613 m de profundidad (Figura 3 a-d).

A 853 m de profundidad predominó el rumbo este en la corriente medida, con frecuencia de alrededor de 17%, mientras que en el fondo (1017 m) fueron medidos tres rumbos predominantes: uno oeste, 14% de frecuencia, y dos opuestos en la dirección esteno-este-oestesuroeste, con frecuencias aproximadas de 13% (Figura 3 e-f).

Se estimó que la Corriente de la Florida alcanzó sus valores máximos promedio en el semestre más cálido del año (mayo-octubre) en el hemisferio norte, para toda la columna de agua, con la excepción del fondo: 1017 m en marzo. Los valores mínimos promedio en las profundidades entre 33 y 661 m fueron medidos en el mes de abril; los de las profundidades mayores de 677 m en mayo y julio (Tabla 8).

Se detectó una muy baja correlación lineal entre los valores medidos en un año y otro para todas las profundidades de análisis, con valores absolutos de correlación inferiores a 0,31. A modo de ejemplo se expone la matriz de correlación de Pearson para los datos medidos en los 33 m de profundidad en el anclaje EFL5 (Figura 4); los valores de rapidez de la corriente en esta profundidad se distribuyeron con mayor frecuencia entre los 0,80 y 1,30 m/s.

Anomalías anuales de la rapidez de la Corriente de La Florida

Las anomalías de la magnitud de la Corriente de La Florida en cada año de medición fueron bajas respecto a la media obtenida para el periodo 2012-2018 (Figura 5; Tabla 9). Las anomalías obtenidas disminuyeron con el aumento de la profundidad, en la mayoría de los casos. El valor máximo absoluto de anomalía fue de $\sim 0,1$ m/s.

En el 2013-2014, una anomalía positiva de la componente meridional anuló la anomalía negativa de la componente zonal, obteniéndose que la magnitud media de la corriente es muy cercana a la media aritmética del periodo de estudio, para toda la columna de agua analizada, mostrando una ligera tendencia a la ralentización de la Corriente de La Florida. Donde mejor se apreció el comportamiento antes descrito fue en las profundidades entre 0 y 250 m, donde la diferencia absoluta entre la anomalía meridional y la zonal fue de más del doble.

En el lapso 2015-2016, una anomalía positiva de la componente zonal anuló la anomalía negativa de la componente meridional, mostrando un predominio en el acercamiento de la Corriente de La Florida a Cuba. Para los casos donde el valor medio de la anomalía de la componente zonal y meridional en un año coinciden en signo, se obtuvo un ligero aumento en el valor absoluto de la anomalía de la magnitud de la corriente, respecto al valor de anomalía zonal, como se apreció en los años 2016-2017 y 2017-2018 (Figura 6 y Tabla 10).

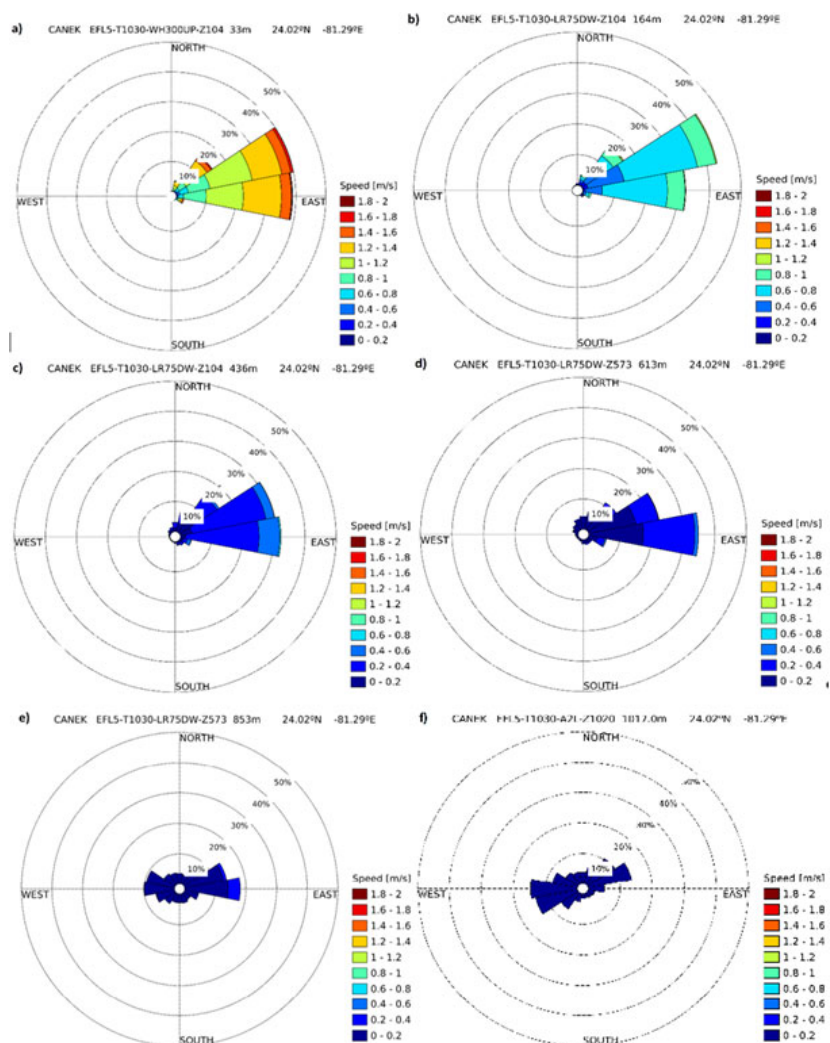


Figura 3. Rapidez y rumbos predominantes de la Corriente de La Florida medidas en el anclaje EFL5 entre ago.-2012/ago.-2018 a: a) 33 m, b) 164 m, c) 436 m, d) 613 m, e) 853 m y f) 1017 m de profundidad.

Anomalías mensuales de la rapidez de la Corriente de La Florida

El comportamiento medio mensual de la magnitud de la corriente por profundidad de estudio mostró sus valores máximos en el semestre mayo-octubre, mientras que los valores mínimos fueron obtenidos entre noviembre-abril (Tabla 11), hecho que ratifica lo encontrado en el análisis por profundidades en un año promedio de mediciones (Tabla 11).

El máximo valor de rapidez promedio mensual de la corriente se encontró en julio (1,28 m/s) en las aguas entre 0-50 m de profundidad, en las aguas adyacentes inferiores los máximos de la rapidez mensual promedio se encontraron en el mes de agosto, 0,84 m/s entre 50-250 m y 0,32 m/s entre 250-750 m de profundidad, en las aguas con profundidades entre 750-950 m el máximo promedio calculado fue de 0,13 m/s en el mes de septiembre. Los valores mínimos de rapidez media mensual se encontraron entre 0,96 m/s, en las aguas menos profundas, y los 0,08 m/s en las profundidades entre 750-950 m.

Los valores de anomalía de la magnitud de la corriente para cada mes en las profundidades entre 0 - 50 m tuvieron como valor máximo absoluto el de 0,18 m/s, medido en el mes de julio del 2013. El valor máximo de anomalía disminuyó su valor absoluto con el aumento de la profundidad, aunque este no coincidió en mes ni año para las distintas profundidades de estudio (Figura 7).

Se encontraron meses donde el valor de anomalía positiva se mantuvo en toda la columna de agua como fueron: octubre de 2012, septiembre de 2012 y 2014, abril de 2014, diciembre de 2015, febrero y junio de 2016 y enero entre 2015-2017; y otros donde la anomalía fue negativa en toda la columna: febrero de 2013, agosto de 2014, abril y noviembre de 2016, julio y diciembre de 2017 y enero de 2018. En el resto de los meses, la mayoría, el comportamiento de los valores de anomalía presentó un cambio de signo entre el que aparecía en las aguas de menor y las de mayor profundidad, en unos casos disminuyendo su valor absoluto y en otros aumentándolo.

Tabla 8. Meses donde aparecen los extremos para el año promedio obtenido con los datos medidos entre agosto-2012/agosto-2018 por profundidad

Prof.	Máximo promedio			Mínimo promedio		Prof.	Máximo promedio			Mínimo promedio	
	2012-2018						2012-2018				
[m]	[m/s]	Fecha	[m/s]	Fecha	[m]	[m/s]	Fecha	[m/s]	Fecha		
33	1,49	julio	0,81	abril	436	0,39	agosto	0,14	abril		
41	1,45	julio	0,80	abril	452	0,38	mayo	0,14	abril		
49	1,40	julio	0,77	abril	468	0,37	mayo	0,13	abril		
57	1,34	julio	0,76	abril	484	0,36	mayo	0,12	abril		
65	1,29	julio	0,72	abril	613	0,28	septiembre	0,08	abril		
73	1,24	julio	0,68	abril	629	0,28	septiembre	0,09	abril		
81	1,19	julio	0,66	abril	645	0,26	septiembre	0,08	abril		
89	1,15	julio	0,63	abril	661	0,25	septiembre	0,08	mayo		
164	0,86	julio	0,43	abril	677	0,24	septiembre	0,07	mayo		
180	0,81	mayo	0,40	abril	693	0,23	septiembre	0,07	mayo		
196	0,78	mayo	0,36	abril	709	0,23	septiembre	0,06	mayo		
212	0,73	mayo	0,36	abril	725	0,22	septiembre	0,05	mayo		
228	0,69	mayo	0,34	abril	741	0,21	septiembre	0,05	mayo		
244	0,67	mayo	0,32	abril	757	0,20	septiembre	0,04	mayo		
260	0,64	mayo	0,31	abril	773	0,19	septiembre	0,04	julio		
276	0,61	mayo	0,30	abril	789	0,18	septiembre	0,04	julio		
292	0,57	mayo	0,27	abril	805	0,16	septiembre	0,04	julio		
308	0,54	mayo	0,25	abril	821	0,16	septiembre	0,04	julio		
324	0,51	mayo	0,24	abril	837	0,15	septiembre	0,04	julio		
340	0,49	mayo	0,23	abril	853	0,15	septiembre	0,04	julio		
356	0,47	mayo	0,21	abril	869	0,16	septiembre	0,04	febrero		
372	0,45	agosto	0,18	abril	885	0,16	septiembre	0,04	febrero		
388	0,44	agosto	0,17	abril	901	0,15	septiembre	0,04	julio		
404	0,43	agosto	0,17	abril	917	0,16	octubre	0,04	enero		
420	0,42	agosto	0,16	abril	1017	0,11	marzo	0,02	mayo		

DISCUSIÓN

El mayor valor de rapidez de las corrientes marinas (1,99 m/s) es encontrado en los 33 m de profundidad, cerca de la superficie, y disminuye con la profundidad hasta los 1017 m, donde se mide un máximo de 0,2 m/s. Este resultado muestra que existe una fuerte corriente en superficie, la Corriente de La Florida, con un flujo continuo en toda la columna de agua hasta los 600 m; flujo que en profundidades mayores es de baja magnitud y alta variabilidad direccional. Este flujo profundo, por debajo de 800 m hacia el oeste se presenta de manera intermitente, alternado con el movimiento del agua hacia el primer y segundo cuadrante. Estos valores de rapidez fueron obtenidos luego de filtrar los datos de corriente marina, por lo que se puede afirmar que el movimiento del agua descrito hasta aquí es independiente de la influencia de la marea.

El comportamiento de la Corriente de La Florida está bien definido entre 33 y 436 m de profundidad. En estas aguas también es notable que el rumbo oeste, y sus derivados en el tercer y cuarto cuadrantes, muestran una frecuencia de aparición nula hasta los 164

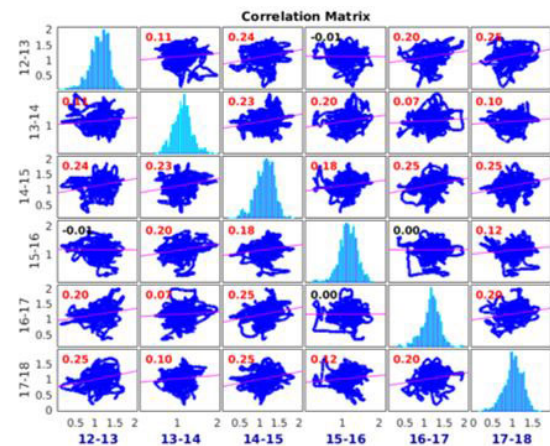


Figura 4. Correlación de Pearson entre los años de estudio para el periodo ago.-2012//ago.-2018. En la matriz cada celda muestra la correlación lineal existente entre las mediciones del año identificado al pie de cada columna de recuadros y el correspondiente identificado a la izquierda de cada fila de recuadros. En la diagonal principal se representa la distribución de los datos medidos en cada año, respectivamente.

m de profundidad, apareciendo discretamente en las aguas adyacentes inferiores con muy bajos valores de frecuencia y velocidad con respecto a las superiores.

A partir de las profundidades superiores a los 600 m es que puede hacerse referencia a una disminución notable de la frecuencia en el rumbo este de las corrientes marinas, que se traduce en un aumento de su frecuencia hacia el oeste.

El análisis de los valores máximos y mínimos promedio de su magnitud reafirma que el comportamiento temporal de la Corriente de la Florida no puede caracterizarse solo mediante su estacionalidad, esperando similitudes entre los ciclos anuales de los diferentes años para meses idénticos. Los bajos valores de correlación de Pearson (inferiores a 0,3) muestran que no existe una relación lineal significativa entre los valores de rapidez de la corriente medidos en diferentes años, por lo que sería necesario analizar la variabilidad de la corriente en mayor detalle, teniendo en cuenta una mayor cantidad de factores externos y así determinar cuáles son los que muestran mayores influencias. El comportamiento direccional encontrado en las aguas más profundas (880 m) podría ser descrito como una corriente de compensación, con rumbo oeste, por debajo del núcleo de la Corriente de La Florida. Tanto la existencia de esta corriente de compensación como las fluctuaciones de la magnitud de la Corriente de La Florida podrían estar asociadas a la influencia de la circulación marina en el Canal Viejo de Bahamas.

En adición a los anterior, los máximos absolutos obtenidos para todo el periodo de estudio permiten afirmar que, entre la superficie y los 164 m de profundidad, la Corriente de La Florida mantiene el comportamiento descrito por (Rousset & Beal, 2010) referente a los máximos en verano y mínimos en primavera,

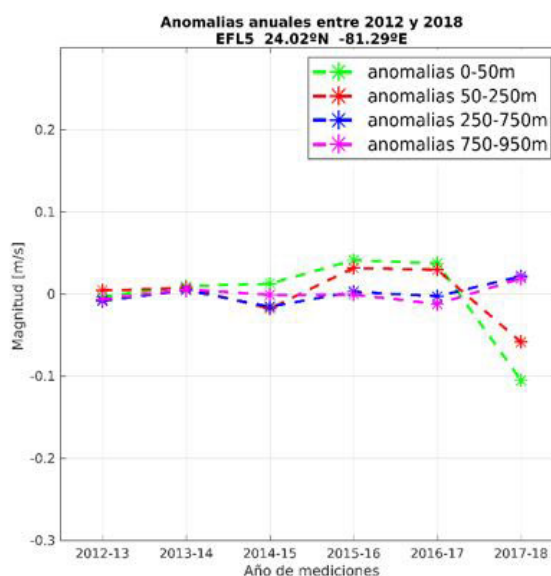


Figura 5. Anomalías de cada año de medición de la magnitud de la corriente de la Florida respecto a la media aritmética obtenida para los seis años de estudio agosto-2012//agosto-2018. Cada año se midió desde el 1 de agosto al 31 de julio del próximo año.

sin embargo, no permiten afirmar que mantenga exactamente ese comportamiento en toda la columna de agua todos los años.

Aunque, se aprecia como el máximo de rapidez ocurre por capas completas de la columna de agua en igual fecha, con los análisis realizados hasta aquí no se explica por qué el movimiento del agua de profundidades inferiores a 250 m alcanzó máxima rapidez en verano y primavera, mientras que, entre 260 y 300 m,

Tabla 9. Rapidez promedio de la Corriente de la Florida entre ago.-2012//ago.-2018 para las diferentes profundidades de estudio.

Periodo de medición	Rapidez media [m/s]			
	0-50 m	50-250 m	250-750 m	750-950 m
ago.-2012//ago.-2018	1,10	0,76	0,27	0,10

Tabla 10. Valores de anomalías de cada año de medición de las componentes y la magnitud de la corriente de la Florida respecto a la media aritmética obtenida para los seis años de estudio agosto-2012//agosto-2018

Año de medición	Anomalías [m/s]			
	0-50 m	50-250 m	250-750 m	750-950 m
2012-2013	-0,003	0,004	-0,008	-0,009
2013-2014	0,009	0,007	0,005	0,006
2014-2015	0,013	-0,018	-0,016	-0,001
2015-2016	0,041	0,032	0,003	0,001
2016-2017	0,037	0,029	-0,003	-0,013
2017-2018	-0,105	-0,058	0,022	0,021

Año de medición	Anomalía zonal [m/s]				Anomalía meridional [m/s]			
	0-50 m	50-250 m	250-750 m	750-950 m	0-50 m	50-250 m	250-750 m	750-950 m
2012-2013	-0,020	-0,013	-0,012	-0,004	0,036	0,042	0,017	0,001
2013-2014	-0,127	-0,068	-0,016	0,001	0,288	0,157	0,030	0,007
2014-2015	0,072	0,015	-0,008	-0,005	-0,106	-0,058	-0,017	-0,009
2015-2016	0,111	0,065	0,013	0,005	-0,221	-0,085	0,002	0,001
2016-2017	0,028	0,028	0,000	-0,011	0,077	0,029	0,003	0,007
2017-2018	-0,069	-0,029	0,027	0,019	-0,080	-0,090	-0,040	-0,010

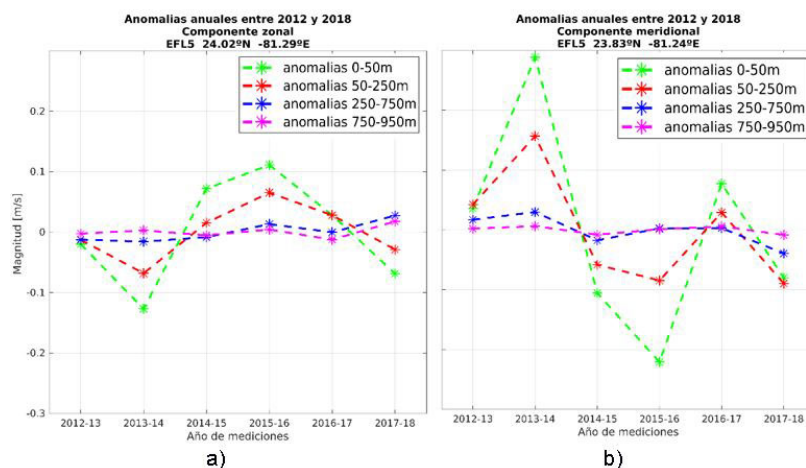


Figura 6. Anomalías de cada año de medición de las componentes de la magnitud de la corriente de la Florida respecto a la media aritmética obtenida para los seis años de estudio agosto-2012//agosto-2018: a) componente zonal, b) componente meridional. Cada año de medición se tomó desde el 1 de agosto de un año al 31 de julio del siguiente año, de acuerdo con la disponibilidad de datos y su serie de mediciones.

Tabla 11. Magnitudes promedio mensual de la Corriente de la Florida entre agosto-2012//agosto-2018 para las diferentes profundidades de estudio

Mes de medición	Magnitud promedio [m/s] periodo agosto-2012//agosto-2018			
	0-50 m	50-250 m	250-750 m	750-950 m
Enero	1,02	0,73	0,25	0,08
Febrero	1,06	0,76	0,28	0,09
Marzo	1,01	0,71	0,25	0,09
Abril	1,00	0,66	0,23	0,09
Mayo	1,19	0,81	0,29	0,10
Junio	1,21	0,81	0,30	0,10
Julio	1,28	0,83	0,29	0,08
agosto	1,22	0,84	0,32	0,12
septiembre	1,18	0,79	0,30	0,13
octubre	1,14	0,76	0,26	0,11
noviembre	0,99	0,76	0,28	0,10
diciembre	0,96	0,69	0,26	0,10

la rapidez máxima fue en invierno y entre de los 800 y 840 m en otoño. Con lo anterior, se puede suponer influencia del agua desde el océano Atlántico a través del Canal Viejo de Bahamas. La circulación marina en este último, podría contrarrestar en dirección, durante el verano y la primavera, el flujo subsuperficial de la Corriente del Lazo; debido a que el flujo neto por el centro del Canal Viejo de Bahamas hacia el noroeste, más estable y rápido entre los 200 m y el fondo (aproximadamente 400 m), y con velocidades mayores durante los meses de julio, agosto y septiembre (Arriaza-Oliveros et al., 2019), podría influir en la circulación de las aguas subsuperficiales del Estrecho de La Florida y ralentizar su movimiento cuando en la superficie la rapidez es máxima

Por otra parte, los valores de anomalías anuales de la Corriente de La Florida no evidencian una variabilidad significativa interanual en la magnitud. Sin embargo, el análisis de las anomalías anuales por componentes muestra que el aumento en magnitud de la corriente está relacionado con las oscilaciones

(norte-sur) de su eje principal. Particularmente, entre agosto-2013 y agosto-2014, la Corriente de La Florida mostró una ligera tendencia a su ralentización; y en el lapso 2015-2016, un predominio en su acercamiento a Cuba. Las anomalías encontradas en su componente zonal son las que más se asemejan a las variaciones que sufre la magnitud de la corriente analizada, lo cual es de esperar de acuerdo con las características físicas de este estrecho que favorecen el flujo oeste-este. Sin embargo, el comportamiento meridional de la corriente parece servir como complemento de las variaciones en la componente zonal, propiciando que esta se mantenga sin grandes desviaciones de su valor medio anual.

En sentido general, los valores de anomalía mensuales calculados no exhibieron un patrón claro de comportamiento diferenciado entre los distintos meses de un mismo año, en ninguna profundidad. Sin embargo, se detectó un comportamiento, mayormente, bianual y/o trianual con cambios de signo de la anomalía en los meses homólogos de los diferentes años. Un

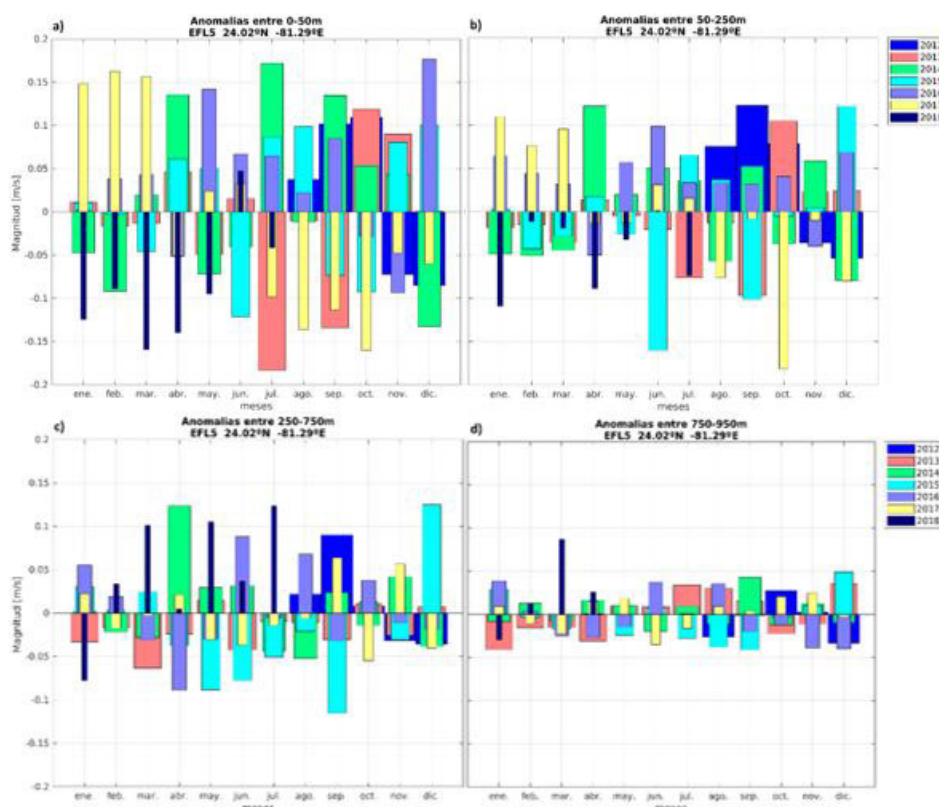


Figura 7. Anomalia mensual de la magnitud de la Corriente de La Florida medidas en el anclaje EFL5 entre agosto-2012/agosto-2018: a) 0-50 m de profundidad, b) 50-250 m de profundidad, c) 250-750 m de profundidad y d) 750-950 m de profundidad

caso particular fue el mes de septiembre, entre 0 y 250 m, el signo se alternó anualmente en el periodo de estudio. Los valores absolutos de anomalías son numéricamente mayores en las aguas menos profundas (0,001 - 0,183 m/s), sin embargo, la significación de estos valores no supera el 14,5 % del máximo valor de rapidez medida en esas aguas (1,28 m/s). Por otro lado, en la medida que aumenta la profundidad de las aguas los valores de anomalía son menores numéricamente: 0,001-0,181 m/s entre 50-250 m; 0,003-0,125 m/s entre 250-750 m; 0,001-0,091; pero muestran un mayor peso respecto a los máximos promedio de cada una de sus regiones de análisis: hasta 21,5 % de 0,84 m/s, hasta 39,5 % de 0,32 m/s y hasta 72,3 % de 0,13 m/s, respectivamente.

CONCLUSIONES

La rapidez máxima de la Corriente de La Florida se aproxima a 2,0 m/s en las aguas menos profundas. Su valor promedio anual es de aproximadamente 1,5 m/s con desviación estándar de hasta 0,25 m/s.

En la columna de agua, hasta los 600 m de profundidad predomina la Corriente de la Florida, y por debajo aparecen flujos intermitentes hacia el oeste que podrían estar relacionados con el comportamiento de la circulación marina en el Canal Viejo de Bahamas.

La Corriente de La Florida no mostró una marcada estacionalidad y presentó un comportamiento anual

no correlacionado interanualmente, sin embargo, se puede observar un máximo medio en los meses de julio-septiembre y un mínimo medio entre marzo-abril.

Las anomalías anuales son bajas para todos los años de análisis ($\sim 0,1$ m/s), ello evidencia la baja variabilidad interanual de la misma para toda la columna de agua. Las anomalías mensuales, por otro lado, son ligeramente superiores con valores de hasta 0,2 m/s. No se evidencia un patrón claro en la variación de la anomalía mensual en un mismo año, aunque se nota una variabilidad entre bianual y trianual del cambio de signo de los valores de anomalías mensuales.

Particularmente, entre agosto-2013 y agosto-2014, la Corriente de La Florida mostró una ligera tendencia a su ralentización, la cual es recomendable seguir monitoreando para profundizar en su relación con otros procesos regionales o planetarios. En el lapso 2015-2016, el predominio en su acercamiento a Cuba, característico del régimen de circulación regional, está asociado directamente al comportamiento de los CUBAN's.

BIBLIOGRAFÍA

Aanderaa Products. (2020). *Single-point Current Meter*. Aanderaa Products. <https://www.aanderaa.com/productsdetail.php?single-point-current-meter-30>

- Androulidakis, Y., Kourafalou, V., Le Hénaff, M., Kang, H., Ntaganou, N., & Hu, C. (2020). Gulf Stream evolution through the Straits of Florida: The role of eddies and upwelling near Cuba. *Ocean Dynamics*, 70(8), 1005-1032. <https://doi.org/10.1007/s10236-020-01381-5>
- Arriaza-Oliveros, L., Sánchez-Pérez, E. O., Rivero-Ordaz, L., Trincado-Ventura, J. A., Fernández, C. A., Benítez-Rodríguez, L., Carrillo-Betancourt, Y., Navarro-Padrón, J., Bolívar-Rodríguez, C., Almanza-Galván, D. O., Hernández-González, M., Pi-Martínez, Á., Viamontes-Fernández, J. L., Peña de la Cruz, N., Orduñez-Díaz, A., Ochoa, J. L., & Candela, J. (2019). *Circulación marina y conectividad dinámica en las aguas oceánicas alrededor del Cuba*. (Cambio climático en Cuba: impactos, mitigación y adaptación, pp. 1-154). Instituto de Ciencias del Mar (ICIMAR).
- Candela, J., Ochoa, J., Sheinbaum, J., López, M., Pérez-Brunius, P., Tenreiro, M., Pallás-Sanz, E., Athié, G., & Arriaza-Oliveros, L. (2019). The flow through the Gulf of Mexico. *Journal of Physical Oceanography*. <https://doi.org/10.1175/JPO-D-18-0189.1>
- Emery, W., & Thomson, R. (2004). Data Analysis Methods in Physical Oceanography: Third Edition. En *Eos, Transactions American Geophysical Union* (Vol. 80, p. 638). <https://doi.org/10.2307/1353059>
- Gallegos, A., Victoria, I., Zavala, J., Fernández, M., Barberán, J., Penié, I., Fernández, A., & C., M. (1998). *Condiciones oceánicas en el Canal de Yucatán, el Estrecho de la Florida (Cayo Hueso-La Habana), el Canal Viejo de Bahamas, el Paso de los Vientos, el Estrecho de Colón y el mar del Caimán, en noviembre de 1989 y abril de 1991* (Informe Final de Proyecto del ICML (UNAM, México DF) y del IDO (CITMA, La Habana), p. 46).
- Gordon, R. L. (2011). *Acoustic Doppler current profiler: Principles of operation, a practical primer*. (Vol. 00, Número January). <http://www.rdiinstruments.com>
- Gyory, J., Rowe, E., Mariano, A. J., & Ryan, E. H. (2013). *The Florida Current*. Ocean Surface Currents. <https://oceancurrents.rsmas.miami.edu/atlas/atlantic/florida.html>
- Hamilton, P., Larsen, J. C., Leaman, K. D., Lee, T. N., & Waddell, E. (2005). Transports through the Straits of Florida. *Journal of Physical Oceanography*, 35(3), 308-322. <https://doi.org/10.1175/JPO-2688.1>
- Kourafalou, V., Androulidakis, Y., Le Hénaff, M., & Kang, H. S. (2017). The Dynamics of Cuba Anticyclones (CubANs) and Interaction with the Loop Current/Florida Current System. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 122(10), 7897-7923. <https://doi.org/10.1002/2017JC012928>
- Mamaev, O. I. (1970). TS - análisis de las aguas del océano mundial. *Gidrometisdat*, 363.
- Mitrani-Arenal, I., & Díaz-Rodríguez, O. O. (2008). Particularidades de la estructura termohalina y sus tendencias en aguas cubanas. *Revista Cubana de Meteorología*, 14(1), Article 1.
- Rousset, C., & Beal, L. M. (2010). Observations of the Florida and Yucatan Currents from a Caribbean Cruise Ship. *Journal of Physical Oceanography*, 40(7), 1575-1581. <https://doi.org/10.1175/2010JPO4447.1>

Conflicto de interés: Declaramos, no tener ningún conflicto de interés.

Contribución de autoría: **Concepción de la idea:** Liliam Arriaza Oliveros, José Luis Ochoa de La Torres, Julio Candela Pérez, Julio Sheinbaum. **Manejo de los datos:** Enrique Omar Sánchez Pérez, Liliam Arriaza Oliveros, Laura Rivero Ordaz. **Análisis de los datos:** Enrique Omar Sánchez Pérez, Liliam Arriaza Oliveros, Laura Rivero Ordaz, Marcelino Hernández González, Jorge L. Viamontes Fernández, José Luis Ochoa de La Torres, Julio Candela Pérez, Julio Sheinbaum, Yudelsy Carrillo Betancourt. **Investigación:** Enrique Omar Sánchez Pérez, Liliam Arriaza Oliveros, Laura Rivero Ordaz, Marcelino Hernández González, Jorge L. Viamontes Fernández, José Luis Ochoa de La Torres, Julio Candela Pérez, Julio Sheinbaum, Yudelsy Carrillo Betancourt. **Metodología:** Liliam Arriaza Oliveros, Enrique Omar Sánchez Pérez, Laura Rivero Ordaz, Marcelino Hernández González, Jorge L. Viamontes Fernández, José Luis Ochoa de La Torres, Julio Candela Pérez, Julio Sheinbaum. **Supervisión:** Liliam Arriaza Oliveros, José Luis Ochoa de La Torres, Julio Candela Pérez, Julio Sheinbaum. **Validación de los resultados:** Enrique Omar Sánchez Pérez, Liliam Arriaza Oliveros, Laura Rivero Ordaz

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