

Temperatura y salinidad en las aguas cubanas, posible evolución futura e implicaciones

Temperature and salinity in Cuban waters, possible future evolution and implications



CU-ID: 2377/v27n4e11

[✉]Dra. Ida Mitrani Arenal*, [✉]MSc. Oscar Onoe Díaz Rodríguez, [✉]Lic. Alejandro Vichot Llamo, [✉]Lic. Javier Cabrales Infante, [✉]MSc. Arnoldo Bezanilla Morlot, [✉]MSc. Axel Hidalgo Mayo

Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba

RESUMEN: Se presenta una valoración de las tendencias hacia el aumento de la temperatura y la salinidad en las aguas aledañas a Cuba. Se utilizan proyecciones de los modelos climáticos globales HadGEM2-AO, HadGEM2-ES, HadGEM2-CC y el CNRC-CM5 en el escenario de forzamiento de CPR 4.5. La validez de los cambios identificados en las salidas de los modelos globales utilizados, se analiza en comparación con observaciones de expediciones en aguas cubanas, realizadas en 1966-2000. Los resultados muestran que los cambios proyectados para el siglo XXI pueden tener implicaciones adversas para el régimen de inundaciones costeras y los ecosistemas marinos en aguas cubanas.

Palabras clave: cambio climático, estructura termohalina, aguas cubanas.

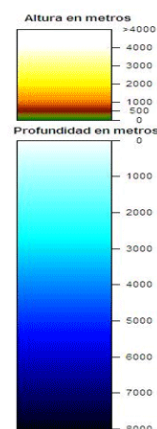
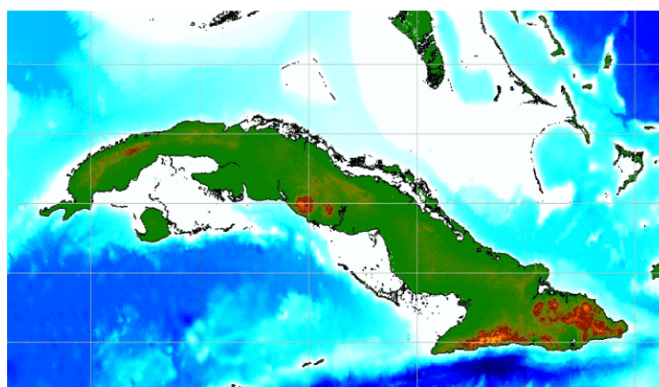
ABSTRACT: An assessment of the sea surface temperature and salinity increase on the sea waters around Cuba is presented. Projections from several global climate models, such as HadGEM2-AO, HadGEM2-ES, HadGEM2-CC and the CNRC under the CPR 4.5 forcing scenario, are used in this study. The identified changes on used global model -outputs are verified in comparison with oceanographical observations, corresponding to the period 1966-2000. The results show that the projected changes may have adverse implications for the coastal flooding regime and marine ecosystems in Cuban waters.

Key words: climate change, thermohaline structure, Cuban waters.

1. INTRODUCCIÓN

Es preocupación de la comunidad científica internacional, las implicaciones que pudiera tener el cambio climático esperado para el medio marino, en especial para la zona tropical, tanto para los seres vivos como para la intensificación de los procesos de interacción océano-atmósfera debido al aumento del contenido de calor, con el consiguiente incremento del poder destructivo de los ciclones tropicales (Anthes *et al.*, 2006; IPCC, 2013, 2021).

El territorio cubano es un archipiélago (Figura 1) con una superficie de 109 886,19 km², de los cuales 107 466,92 km² pertenecen a la isla de Cuba, 2 419,27 km² a la Isla de la Juventud y el resto a las llaves adyacentes (Iturralde, 2010). La Isla de Cuba es conocida como "La Llave del Golfo" desde la época colonial, debido a su posición geográfica a la entrada del Golfo de México (Torres & Loyola, 2001). Cuba ejerce jurisdicción marítima hasta 19,2 km y jurisdicción pesquera hasta 320 km (Iturralde, 2010)



Figuras 1. Batimetría en aguas aledañas a Cuba (GEBCO 2009)

*Autor para correspondencia: Ida Mitrani Arenal. E-mail: ida.mitrani@insmet.cu

Recibido: 12/09/2021

Aceptado: 27/01/2022

La posición geográfica del Archipiélago Cubano, casi en el centro de los Mares Interamericanos, es decisiva en el comportamiento de la circulación oceánica en esta región, especialmente a través del Canal de Yucatán, el Canal de la Florida y el Paso de los Vientos. Esta posición decide la definición del clima cubano como tropical húmedo con características semi-continuales (Vega *et al.*, 1990; Lecha *et al.*, 1994). El territorio cubano es a menudo afectado por fenómenos meteorológicos extremos, como huracanes, sistemas frontales y combinaciones de sistemas extra-tropicales, que producen graves inundaciones costeras, por lo que es necesario considerar el comportamiento temporal y espacial de las inundaciones costeras, los eventos que las generan y las tendencias climáticas, con énfasis en las áreas más sensibles a estos fenómenos. De particular interés es la evolución de la estructura termohalina en aguas cubanas, dada su influencia en el desarrollo de ciclones tropicales (Curry *et al.*, 2003; Anthes *et al.*, 2006) y en la tendencia del incremento del nivel del mar, lo que no sólo favorecería la invasión del agua en las tierras bajas, sino que aumentaría los efectos destructivos de las inundaciones costeras.

2. MATERIALES Y MÉTODOS.

El área de interés será el Archipiélago Cubano y mares adyacentes, específicamente entre los 18 y 30 °N y los 73 y 98 °W (Figura 1)

Se utilizan las siguientes fuentes de información:

- A. Observaciones oceanográficas desde buques (1966-2000), a la manera descrita por (Mitrani *et al.*, 2016).
- B. Cronología de inundaciones costeras en la ciudad de La Habana (1906-2016), de los archivos del Centro de Meteorología Marina del Instituto de Meteorología.
- C. Mapas de batimetría del Atlas GEBCO 2009
- D. Salidas de temperatura y salinidad superficiales de los modelos CNRM-CM5, HadGM2-CC y HadGM2-ES con los escenarios CPR 4.5 Los datos fueron descargados de la

página web http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/BrowseExperiments.jsp?key=CMIP5&proj=IPCC-AR5_CMIP5, (CERA, 2016) y sus características generales se asentaron en la tabla siguiente.

El análisis de la información se realizó utilizando métodos estadísticos clásicos, con elaboración de gráficos, mediante el uso del software GrADS, libremente disponible.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Evidencias observadas.

Las tendencias climáticas en el medio marino y costero cubano, que más daño pudieran causar a la población, sus objetos socioeconómicos y su biodiversidad, se concentran en tres aspectos fundamentales:

- a. El incremento del nivel del mar
- b. Los cambios en la estructura termohalina
- c. El aumento en frecuencia e intensidad, de las inundaciones costeras.

Investigaciones realizadas en el Instituto de Oceanología, a partir de registros de mareógrafos en el período 1966-2005, demuestran que el nivel medio del mar se ha incrementado durante los últimos 40 años entre 0.0 y 0.00214 m año⁻¹ (Hernández *et al.*, 2010), en correspondencia con el escenario mínimo de (IPCC, 2013, 2021), pero la posibilidad de cambio en las tendencias, que favorezca a la ocurrencia del escenario máximo, no debe ser ignorada.

Las inundaciones costeras son habitualmente causadas por eventos climáticos severos. Sobre el territorio cubano, el régimen habitual del viento está básicamente bajo la influencia de la circulación de los vientos Alisios. La velocidad media es de 2.8 m s⁻¹, mientras que en la dirección predominante es de 3.8 m s⁻¹ (Vega *et al.*, 1990; Lecha *et al.*, 1994). Este régimen normal suele ser alterado por los sistemas tropicales y continentales. Las inundaciones costeras más significativas son causadas por ciclones tropicales, sistemas frontales y vientos del sur asociados con circulaciones extra-tropicales de bajas presiones. Las zonas coste-

Tabla 1. Características temporales de los datos Tso y Sso, que son salida de modelos globales y cuya distribución espacial cubre en área de estudio.

	Salida de las variables	Intervalo de salida	Período pre-industrial	Período post-industrial
HadGM2-CC	Valor medio mensual, situado en el día 16 a las 00z de cada mes	Salida continua desde 1860 hasta 2100	1860-1899	1900-2100
HadGM2-ES	Valor medio mensual, situado en el día 16 a las 00z de cada mes	Salida continua desde 1860 hasta 2100	1860-1899	1900-2100
HadGM2-AO	Valor medio mensual, situado en el día 16 a las 00z de cada mes	Salida continua desde 1860 hasta 2100	1860-1899	1900-2100
CNRM-CM5	Valor medio mensual situado en el día 1 a las 00z de cada mes	Salida en paquetes decadales. Están ausentes las décadas de 1900-2005	1850-1899	2006-2100

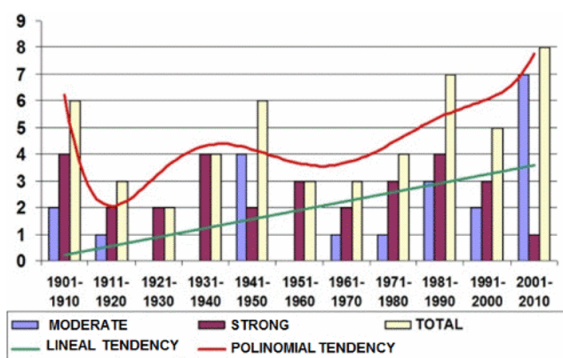


Figura 2. Tendencias de las inundaciones costeras en el Malecón Habanero.

ras más afectadas son las alledañas a la ciudad de La Habana y al Golfo de Batabanó, ubicadas en las regiones Norte y Sur de Cuba (Moreno, 1998; Mitrani *et al.*, 2001, 2012). Además, centros combinados de alta y baja presión con vientos del primer cuadrante, ocasionalmente generan inundaciones en áreas de la región nor-oriental de Cuba (Hidalgo, 2010). El comportamiento de las inundaciones costeras alrededor de Cuba muestra un aumento de frecuencia e intensidad en los últimos 40 años. El mejor ejemplo es la secuencia de inundaciones en La Habana, organizada por décadas de 1901 a 2015 (Mitrani *et al.*, 2016). En este sentido, (González, 1999; Hernández & García, 2011), muestran una confirmación de un aumento de la influencia de los frentes fríos en el territorio cubano durante las últimas décadas, mientras que (Pérez *et al.*, 1998, 2011) explican la existencia de la misma situación para la secuencia de eventos de huracanes, pero sin gran significación estadística. Ambos criterios se reflejan en el comportamiento de las inundaciones costeras, como se observa en la Figura 2.

La estructura termohalina fue analizada por (Mitrani & Díaz, 2008; Mitrani *et al.*, 2014, 2016), utilizando observaciones a niveles estándar, de 7614 estaciones oceanográficas, realizadas en 54 cruceros en el área comprendida entre los 73° y 87° W y entre los 18° y 25° N, a una distancia aproximada de 200 m de la línea de costa cubana, durante el período 1966-2000. Los cambios más importantes fueron los siguientes:

- a. Aumento de la temperatura de la superficie del mar en 0,7 °C, para una tendencia lineal de 0.02 °C/año
- b. Aumento del máximo de salinidad, situada entre 200 y 300 de profundidad, en 0,1 psu.

- c. Un aumento de algunas decenas en metros, de la profundidad de la capa mezclada.
- d. Un aumento de algunas decenas en metros, de la profundidad de la capa homogénea y de la isoterma de 26 °C.
- e. Aumento de la salinidad superficial entre 0.1 y 0.2 psu, para una tendencia lineal de 0.0028 a 0.0057 psu/año

La evolución de la masa de agua superficial y sub-superficial se obtuvo mediante el análisis de curvas TS y los valores numéricos se resumen en la tabla 2.

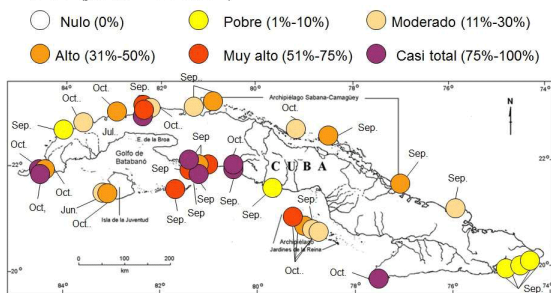
El aumento del máximo de salinidad, localizado habitualmente entre los 150 y 300 m, indica un aumento de la salinidad en las masas de aguas superficiales y sub-superficiales. Podría atribuirse a la disminución del volumen pluviométrico sobre el área estudiada en combinación con la disminución de la contribución del río Amazonas al sistema de corrientes Atlántico Central- Caribe (Mitrani & Díaz, 2008; Mitrani *et al.*, 2014, 2016). Los valores máximos de casi todos los parámetros de la estructura termohalina estudiados (temperatura de la superficie del mar, profundidad de la capa isotérmica, profundidad de la temperatura del mar 260 y profundidad máxima de la salinidad) se localizaron alrededor de la Región Occidental Cubana, coincidiendo con el área más favorable al desarrollo de ciclones tropicales. El mencionado cambio en la estructura termohalina ha producido algunos eventos de coral blanqueador alrededor de Cuba, detectados a partir de 1994 (Alcolado, 1999) (Aragón *et al.*, 2016).

Con respecto a las afectaciones biológicas en el medio marino, las evidencias más ilustrativas se aprecian en las investigaciones de blanqueamiento de corales (Alcolado y Rey-Villiers, 2016) y en las condiciones de existencia de las más importantes especies comerciales (Tabla 3 elaborada por el Msc. Rafael Tizol, del Centro de Investigaciones Pesqueras, para el Informe de Proyecto Collaborate-2016), que según datos tomados de (Carrodeaguas *et al.*, 2001) (Caballero *et al.*, 2016) suelen vivir en aguas poco profundas y temperaturas menores de 30 °C pero en las primeras décadas del siglo XXI ya se han registrado con frecuencia, temperaturas de más de 30 °C en las aguas de la plataforma cubana. Los cambios observados en el Siglo XX y los esperados, según se verá posteriormente en las salidas de los modelos numéricos, conducen a la extinción de las mencionadas especies.

Tabla 2. Análisis de la evolución de las masas de agua en el entorno cubano, en 1966-2000

	1966-1979		1980-1984		1985-1989		1990-2000	
	T [°C]	S [psu]	T [°C]	S [psu]	T [°C]	S [psu]	T [°C]	S [psu]
Masas de agua Superficiales locales	29-24	35.9-36.5	30-25	35.8-36.6	30-25	35.9-36.7	30-25	35.9-36.6
Sub-superficiales del Atlántico Norte Sub-Tropical	24-20	36.8-36.6	25-21	36.7-36.8	25-22	36.7-36.9	25-22	36.7-37.0
Intermedias del Atlántico Norte Central	20-8	36.6-35.0	21-8	36.6-35.1	22-8	36.7-35.1	22-8	36.7-35.1

Nivel de blanqueamiento de corales en Cuba 2015 (junio - octubre)



Red de Monitoreo Voluntario de Alerta Temprana en Arrecifes Coralinos

Figura 3. Reporte de blanqueamiento de corales (Acolado y Rey-Villiers 2016)

3.2 Salidas de modelos numéricos

Hace un par de décadas se analizó la posible influencia del incremento esperado del nivel del mar, en el área de la costa cubana, tomando en cuenta el escenario extremo del IPCC de 95 cm (IPCC, 1996), coincidente con los últimos informes (quinto y sexto) de esta organización (IPCC, 2013, 2021). Se utilizaron métodos numéricos para calcular los elementos de las olas y el aumento del nivel del mar, generados por eventos meteorológicos severos. Los resultados obtenidos en el Golfo de Batabanó y en el Golfo de Ana María, donde la plataforma insular es bastante amplia pero muy baja, mostraron un posible avance tierra adentro de la línea costera, desde 1 hasta 7 km (Mitrani et al., 2001). Otro problema serio se encontró en la Ciudad de La Habana, donde la línea de ruptura de las olas se acercaría al muro del Malecón de La Habana al menos en once metros, de modo que incluso las inundaciones clasificadas como moderadas, se comportarían como fuertes (Juantorena et al., 2000).

Estas tres áreas fueron identificadas como las más sensibles al cambio climático esperado y trabajos posteriores confirmaron este resultado, con la inclusión en cuarto lugar de la costa nororiental de Cuba (Hidalgo, 2010; Mitrani et al., 2016).

Los resultados experimentales del modelo climático regional RegCM mostraron un desplazamiento de la intensa actividad de huracanes del área del noroeste del Caribe hacia el sur del Golfo de México, sobre la piscina cálida ubicada cerca de la región cubana del noroeste (Martínez et al., 2011). Estos resultados demuestran que la zona más sensible al cambio climático esperado sería la Ciudad de La Habana, donde viven más de 2 millones de habitantes en la actualidad.

El promedio para la región (Figura 1) de los valores estimados, se muestran en la tabla 4, mientras que en la tabla 5, se incluye hasta finales del siglo XXI.

Se observa que para la Tos de las aguas cubanas, las salidas de los modelos globales indica un incremento entre 1,0 °C y 1,4 °C en los años 2030-2040, mientras para la salinidad, las salidas de los modelos son más discrepantes, indicando un incremento en el entorno de 0.2 a 0.55 psu, siendo HadGEM2-ES el de los mayores valores.

En el período posterior (2041-2100), para las aguas cubana hay una coincidencia entre todos los modelos de que Tos estaría incrementada en más de 1,4 pero solo HadGEM2-ES indica más de 2 °C de aumento de Tos para ese período. Con respecto a la salinidad, los tres modelos casi coinciden para este segundo período, con un incremento en el entorno de 0,45 a 0,55 psu.

Es conocido que la densidad del agua de mar, en latitudes tropicales depende con más fuerza de la temperatura del agua que de la salinidad, según se ha podido apreciar en los cálculos de densidad por datos de expediciones (Mitrani et al 2008 a,b), de modo que el efecto de contracción por aumento de densidad debido

Tabla 3. Principales especies comerciales de las aguas cubanas, localizables en aguas someras con temperaturas menores de 30°C.

Nombre común en español	Nombre común en inglés	Nombre científico
Langosta	Caribbean Spine Lobster	<i>Panulirus argus</i>
Camarón blanco y rosado	White and Southern pink shrimps	<i>Litopenaeus schmitti and farfantepenaeus notialis</i>
Pargo criollo	Mutton Snapper	<i>Lutjanus analis</i>
Biajaiba	Lane Snapper	<i>Lutjanus synagris</i>
Caballerote	Gray Snapper	<i>Lutjanus griseus</i>
Bonito	Skipjack Tuna	<i>Katsuwonus pelamis</i>
Atún de aleta negra	Blackfin Tuna	<i>Thunus Atlanticus</i>
Cherna Criolla	Nassau Grouper	<i>Epinephelus striatus</i>

Tabla 4. Los posibles cambios en temperatura (Tso) y salinidad (Sso) de la superficie marina, en (2030- 2040), en aguas aledañas a Cuba

	Período preindustrial		2030-2040		Incremento	
	Sos (psu)	Tos (°C)	Sos (psu)	Tos (°C)	ΔSos (psu)	ΔTos (°C)
CNRM-CM5	35,85	25,78	36,18	26,69	0,33	0,91
HadGEM2-CC	35,63	26,56	35,81	27,60	0,18	1,04
HadGEM2-ES	35,64	26,66	36,19	28,06	0,55	1,40
HadGEM2-AO	35,62	27,17	35,96	28,34	0,34	1,17

Tabla 5. Los posibles cambios en algunos parámetros desde 2041 hasta 2100.

	Período preindustrial		2041-2100		Incremento	
	Sos (psu)	Tos (°C)	Sos (psu)	Tos (°C)	ΔSos (psu)	ΔTos (°C)
CNRM-CM5	35,85	25,78	36,30	27,18	0,45	1,40
HadGEM2-CC	35,63	26,56	36,17	28,17	0,54	1,61
HadGEM2-ES	35,64	26,66	36,19	28,68	0,55	2,02
HadGEM2-AO	35,62	27,17	36,18	29,04	0,56	1,87

al aumento de salinidad no deberá influir con fuerza en la variación del nivel del mar. Sin embargo, este cambio es importante para la biodiversidad marina y además, porque favorece la acumulación de calor en las capas superficiales del océano, lo cual incrementaría el poder destructivo de los huracanes.

De los períodos analizados, todo parece indicar que el incremento de Tos durante el siglo XXI no es mucho mayor que los 2 °C y es de esperar que incrementos mayores aparezcan ya en el siglo XXII, según se muestra en la [tabla 6](#) para el año 2099.

Se realizaron algunos análisis de valores puntuales dentro de los núcleos cálidos de las aguas cubanas, resultando que en la piscina caliente al norte de la región occidental del Cuba, típica de intensificación de los ciclones tropicales cambio es significativo para al segunda mitad del siglo XXI. La salinidad aumentó durante 251 años, mostrada por los modelos de producción analizados de 1850 a 2100, y está entre 0,62 y 0,72 psu en 250 años. La tendencia, entre 0.0024 y 0.0029 psu año⁻¹ para todo el período analizado, es similar a la identificada por (Mitrani & Díaz, 2008) en el período 1966-2000 para la masa de agua superficial alrededor de Cuba.

Del análisis del CNRM-CM5, HadGM2-AO, HadGM2-CC y HadGM2-ES para la temperatura de la superficie marina (Tos) se pudo observar que el aumento de 1,0°C se alcanzará en el período 2030-2040, mientras que el valor sobre los 2°C se alcanzará ya a finales del siglo XXI y principios del XXII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En las aguas aledañas al Archipiélago Cubano, se han observado incrementos de salinidad y temperatura superficiales oceánicas (Tos y Sos) en los años 1966-2000, tanto con observaciones in situ, como en las salidas de los modelos globales HadGM2-AO, HadGEM2-CC y HadGEM2-ES. En coincidencia con lo observado, las salidas de los modelos

muestran que el incremento de Tos estaría en el entorno de 0.02 °C /año, mientras que para la salinidad, lo observado sería de 0.0028 a 0.0057 psu/año, semejante a los modelos que indican desde 0.002 a más de 0.005 psu/año.

- Según las salidas de los modelos estudiados (HadGM2-AO, HadGEM2-CC, HadGEM2-ES y CNRM-CM5), la temperatura de la superficie marina en aguas cubanas se incrementaría entre 0.4 y 1.0 °C y la salinidad, entre 0.4 y más de 0.6 psu hacia el período 2030-2040, mientras que hacia la segunda mitad del siglo XXI (2041-2100), la temperatura superficial oceánica aumentaría entre 1.4 y 2 °C y la salinidad, en el entorno de 0.5 psu.
- Es de esperar que el arribo del incremento de Tso a más de 2 °C sea durante o posterior a 2099, puesto que los modelos analizados muestran para este año el incremento de la temperatura superficial oceánica en aguas cubanas, en el entorno de los 2 °C. Para Sos, el posible incremento estaría en el orden de 0.5 a 0.8 psu
- En los puntos seleccionados como casos especiales en núcleos de las salidas de los modelos globales analizados, HadGM2-AO, HadGM2-CC y HadGM2-ES, para la temperatura de la superficie marina se observa una buena correspondencia con las tendencias temporales, determinadas por observaciones instrumentales por los autores, tanto para el período de los datos 1966-2000, como a partir del punto de cambio de la temperatura global (señalado por (Jones & Palutikov, 2005) a partir de 1980, donde la tendencia sería de 0.02°C /año, manteniéndose en el año 2000, de manera que para el año 2100 es muy probable arribo del incremento de Tos al entorno de los 2 °C, siendo esto de especial significación para las costas noroccidentales, hacia donde otros autores señalan un desplazamiento del máximo de afectación por huracanes.

Tabla 6. Los posibles cambios en algunos parámetros al final del siglo XXI

	Período preindustrial		2099		Incremento	
	Sos (psu)	Tos (°C)	Sos (psu)	Tos (°C)	ΔSos (psu)	ΔTos (°C)
CNRM-CM5	35,85	25,78	36,34	27,49	0,49	1,71
HadGEM2-CC	35,63	26,56	36,44	28,89	0,81	2,33
HadGEM2-ES	35,64	26,66	36,42	28,59	0,78	1,93
HadGEM2-AO	35,62	27,17	36,17	29,52	0,55	2,35

- Se considera que las tendencias calculadas por observaciones se corresponden mejor con HadGM2-CC, con forzamiento de concentración de gas carbónico y HadGM2-AO, para el período 1966-2000. El primero debe ser por la ausencia de otras interacciones del sistema tierra y el segundo, porque se afina la interacción océano-atmósfera, aunque no lo suficiente para el caso de la salinidad, que en las cercanías del territorio cubano, dependen mucho del transporte de las corrientes marinas. Los resultados más alejados de los observados en el período 1966-2000, son los de HadGM2-ES; en general esto puede deberse a la condición de insularidad del país, de ser un territorio reducido y situado en un área de mar casi cerrada, lo cual reduce las posibilidades de acción de otras componentes del sistema tierra como serían una gran cubierta vegetal, el aporte de agua fresca desde grandes ríos, la presencia significativas de otras emisiones químicas, entre otros.
- Las tendencias observadas en la estructura termohalina de las aguas cubanas, implicarían un aumento en frecuencia e intensidad de las inundaciones costeras en territorio nacional pero también significativas afectaciones en la vida marina, sobre todo en los corales y especies comerciales.

Como **recomendaciones** más importantes, los autores de este texto consideran lo siguiente:

- a. Monitoreo de los elementos oceanográficos, tanto in situ como por métodos a distancia, haciendo hincapié en la circulación oceánica, la estructura termohalina y el aumento del nivel del mar.
- b. Aplicación de modelos numéricos para investigar la evolución futura del clima y el entorno oceánico alrededor del Archipiélago cubano.
- c. Realizar estudios de sensibilidad de los modelos oceánicos a las diferentes formas de representación de los procesos de menor escala, teniendo en cuenta las particularidades de las aguas tropicales.
- d. Realizar acciones de intercambio y colaboración con países del Caribe para crear y enriquecer fuentes de información comunes.
- e. Aplicar los resultados obtenidos en la implementación de medidas de protección del medio marino y costero, en acciones de adaptación en los asentamientos costeros y en actividades socioeconómicas.

REFERENCIAS

Alcolado, P. 1999. "Arrecifes coralinos. Ecosistemas amenazados". *Revista Flora y Fauna*, 3(1): 8-13.

Anthes, R.; Corell, R. W.; Holland, G.; Hurrell, J. W.; MacCracken, M. A. & Trenberth, K. E. 2006. "Hurricanes and Global Warming-Potential

Linkages and Consequences, Comments". *Bulletin of American Meteorological Society*, 87: 623-628.

Caballero, H.; Alcolado, P.; Rey, N.; Perera, S. & González, J. 2016. "Coral communities condition in varying wave exposure: The gulf of Czones, Cuba". *International Journal of Tropical Biology*, 64(1): 95-109.

CERA. 2016. *Cluster Research Earth System Research / World Data Center for Climate*. Available: <http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/BrowseExperiments.jsp?key=CMIP5&proj=IPCC_AR5_CMIP5>, [Consulted: August 20, 2016].

Curry, R.; Dockson, B. & Yashaev, I. 2003. "A change in the freshwater balance of the Atlantic Ocean over the past four decades". *Nature*, 426: 826-829.

González, C. 1999. "Climatología de los frentes fríos que han afectado a Cuba desde 1916-1917 hasta 1996-1997". *Revista Cubana de Meteorología*, 6(1): 15-19.

Hernández, I. & García, E. 2011. "Inundaciones en la Ciudad de La Habana por sistemas frontales y su relación con ENOS. Influencia sobre la costa". In: *Memorias del V Congreso Cubano de Meteorología, SOMETCUBA 2011*, La Habana, ISBN: 978-959-7167-20-4.

Hernández, M.; Marzo, O. & Acanda, A. 2010. "Tendencia lineal del nivel medio del mar en algunas localidades del Archipiélago Cubano". *Serie Oceanológica*, 7, Available: <<http://www.ido.cu>>, [Consulted: August 21, 2013].

Hidalgo, A. 2010. "Características de las inundaciones costeras desde Gibara hasta Playa Guardalavaca". *Revista Ciencias-Holguín*, XVI(1).

IPCC 1996. *Segunda Evaluación Cambio Climático - 1995. Informe del grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio Climático*. OMM-UNEP-PNUMA ed., Ginebra, 71 p.

IPCC 2013. *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press, 203 p., ISBN: 978-92-9169-138-8.

IPCC 2021. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Iturralde, M. A. 2010. *Geología de Cuba para todos*. La Habana: Editorial Científico-Técnica, 250 p.

Juantorena, J.; Mitrani, I. & Beauballet, P. 2000. "Las inundaciones por oleaje en el Malecón Habanero con el escenario actual y el previsto por posible cambio climático". *Boletín SOMETCUBA*, 6(2), Available: <www.met.inf.cu>.

- Lecha, L. B.; Paz, L. R. & Lapinel, B. (eds.). 1994. *El Clima de Cuba*. La Habana: Editorial Academia, 186 p., ISBN: 959-02-0006-9.
- Martínez, D.; Borrajero, I.; Bezanilla, A. & Centella, A. 2011. "La ocurrencia de ciclones tropicales en el Caribe y México y el calentamiento global. Aplicación de un modelo climático regional". *Revista Ciencias de la Tierra y del Espacio*, 12(2): 17-30.
- Mitrani, I. & Díaz, O. O. 2008. "Particularidades de la estructura termohalina y sus tendencias en aguas Cubanas". *Revista Cubana de Meteorología*, 14(1): 54-73.
- Mitrani, I.; Díaz, O. O.; Vichot, A.; Hernández, I.; Hidalgo, A.; García, E. & Rodríguez, J. A. 2012. "Tendencias climáticas de las inundaciones costeras severas en áreas de Cuba". *Revista Ciencias de la Tierra y del Espacio*, 13(2): 68-84, ISSN: 1729-3790.
- Mitrani, I.; Díaz, O. O.; Vichot, A.; Rodríguez, J. A.; Martínez, D. & Vihalva, J. M. 2014. "Los eventos extremos, impactos en el Caribe y la lluvia en la Amazonia, Cuba a Brasil". *Seculo XXI*, 1(1): 75-80.
- Mitrani, I.; Hernández, I.; García, E.; Hidalgo, A.; Díaz, O. O.; Vichot, A. & Rodríguez, J. A. 2016. "The Coastal Flood Regime around Cuba, the Thermohaline Structure Influence and Its Climate Tendencies". *Environment and Ecology Research*, 4(2): 37-49, DOI: [10.13189/eer.2016.040201](https://doi.org/10.13189/eer.2016.040201).
- Mitrani, I.; Pérez, R.; García, O.; Salas, I.; Juantorena, J.; Ballester, M. & Beauballet, P. 2001. "The coastal floods in the Cuban territory, the most sensitive areas and the possible impact of the climate change". In: *Proceeding of the Open Meeting of the Human Dimensions of Global Environmental Change Research Community*, Rio de Janeiro, Brazil, Available: <http://sedac.ciesin.columbia.edu/openmeeting/1mtg/01info.html>, [Consulted: December 20, 2001].
- Moreno, A. 1998. *Desarrollo de las Técnicas de Predicción de las Inundaciones Costeras, Prevención y Reducción de su Acción Destructiva*. Informe Final del Proyecto Cuba 94/003, La Habana: Instituto de Meteorología, 172 p.
- Pérez, R.; Ballester, M.; González, C. & Limia, M. 1998. "Los ciclones tropicales de Cuba. Variaciones y tendencias observadas". In: *Memorias de la Conferencia Científica sobre Ciclones Tropicales 'Rodríguez in Memoriam'*, La Habana: WMO/SOMETCUBA/INSMET, pp. 30-33.
- Pérez, R.; Fonseca, C.; Lapinel, B.; González, C.; Planos, E. O.; Cutié, V.; Ballester, M.; Limia, M. & Vega, R. 2011. "Segunda Evaluación de las Variaciones y Tendencias del Clima en Cuba". In: *VIII Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo, II Congreso Internacional de Cambio Climático*, La Habana, p. 15.
- Torres, E. & Loyola, O. 2001. *Historia de Cuba: formación y liberación de la nación*. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 404 p., ISBN: 959-13-0746-2.
- Vega, R.; Sardiñas, M. E.; Nieves, M. E. & Centella, A. 1990. *Análisis estadístico - climatológico del régimen de la velocidad máxima del viento en Cuba*. Resultado Científico, INSMET.

Conflicto de intereses: Los autores no declaran conflictos de intereses.

Contribución de los autores: **Ida Mitrani-Arenal:** concibió la idea general del artículo. Organizó y dirigió toda la investigación científica. Realizó la búsqueda bibliográfica e indicó las características de la información necesaria. Elaboró los resultados finales y redactó el artículo. **Oscar Onoe Díaz-Rodríguez:** elaboró el análisis de masas de agua en el entorno cubano. **Alejandro Vichot-Llamo y Arnoldo Bezanilla-Morlot:** analizaron las salidas de los modelos globales disponibles, eligieron los más idóneos y capturaron los datos, en la forma adecuada para su posterior análisis. **Javier Cabrales Infante:** elaboró todos los algoritmos de procesamiento y pos-procesamiento de las salidas de los modelos globales. Analizó la calidad de los datos utilizados, en comparación con las observaciones in situ, realizadas en expediciones oceanográficas. **Axel Hidalgo Mayo:** participó en el análisis del comportamiento de las inundaciones costeras en Cuba durante los últimos 120 años.

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/)