



<i>Nombre asistente</i>	Marcelino Hernández
<i>País</i>	Cuba
<i>Institución</i>	Instituto de Oceanología
✓ Presentación disponible	



Presentación oral a realizarse el Miércoles 16 de Abril de 2003

"MEDICIONES Y TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DEL NIVEL DEL MAR EN CUBA"

Marcelino Hernández González y Georgina Díaz Llanes**.*

*Instituto de Oceanología.

** Agencia Geocuba Geodesia.

La variabilidad del nivel del mar se cuenta entre los procesos oceanográficos de mayor importancia para la actividad socio – económica en las zonas costeras y es una de las principales componentes del Clima Oceánico. Para los pequeños estados ribereños, como Cuba, con una fuerte y creciente dependencia de las actividades socio – económicas costeras y marítimas, resulta de vital importancia la medición, análisis y pronóstico de las variaciones del nivel del mar.

Desde comienzos del siglo XX hasta 1949, los trabajos hidrográficos que se realizaban en Cuba estaban a cargo del Servicio Hidrográfico de los Estados Unidos. En 1920 se instaló el primer mareógrafo en Cayo Largo. En 1922 se creó la Oficina Hidrográfica de la República de Cuba. Los registros mareográficos se extienden a la Base Naval de Guantánamo en 1938. En 1922, 21 puertos cubanos aparecían reflejados en las tablas de marea editadas en el Servicio Geodésico Inter-Americano. En 1947 se instalaron cinco mareógrafos. De todos ellos Casablanca, en la Bahía de La Habana, se constituyó en la Estación Patrón. Sus observaciones fueron referidas a la chapa nivelada CF-1, siendo seleccionada como valor inicial para la transmisión de alturas a las líneas de nivelación. En 1949 se inició la nivelación de alta precisión a partir de este mareógrafo. En 1958 la colisión de un barco destruyó la instalación mareográfica de Casablanca. La Red Mareográfica Nacional se reconstituyó progresivamente a partir de la década del 60 por el Instituto de Oceanología. En 1989 pasó al Instituto Cubano de Hidrografía y más tarde a la empresa Geocuba Geodesia al dejar de existir este último. En la actualidad Cuba cuenta, con 14 estaciones permanentes: Cabo de San Antonio, Siboney, La Habana, La Isabela, Nuevitas, Punta Prácticos, Puerto Padre, Gibara, Maisí, Santiago de Cuba, Cabo Cruz, Manzanillo, Santa Cruz del Sur, Casilda y Cienfuegos (Fig.1), cinco de las cuales poseen más de 30 años de observaciones: Cabo de San Antonio, Siboney, La Isabela, Gibara y Casilda, que tributan información al Permanent Service of Mean Sea Level. Se cuenta también con datos históricos de 60 estaciones que funcionaron temporalmente. Las Tablas de Mareas de las Costas de Cuba se editan anualmente con el pronóstico para 36 puertos y localidades de la nación.

Las estaciones mareográficas son monitoreadas anualmente por mediciones de desniveles de altura en un radio aproximada de 1.6 Km². El mareógrafo Siboney, que está ubicado en la cede del Instituto de Oceanología, en La Habana, es el datum altimétrico del país al que se enlazan las

"Taller de Entrenamiento en Observación y Análisis del Nivel Del Mar"



líneas que conforman la Red Altimétrica Nacional y esta a su vez, es monitoreada geodésicamente una vez al año.

Las mediciones sistemáticas de mayor longitud y calidad con que se cuentan en Cuba, se han realizado en el puesto mareográfico de Siboney, ubicado en La Habana en los 23° 05.6' de latitud Norte y los 82° 28.2' de longitud Oeste.

En el Instituto de Oceanología se ha venido trabajando desde hace más de diez años en el análisis de las variaciones del nivel del mar a partir de las series de datos de alturas horarias registradas por las estaciones de la Red Mareográfica Nacional. Los estudios realizados comprenden casi toda la escala espacio temporal, por cuanto las mediciones poseen ya una cobertura de varias décadas en algunos puntos. Los aspectos más avanzados en los estudios son las variaciones no periódicas de escala sinóptica, la variabilidad climática, la tendencia a largo plazo y el impacto sobre asentamientos humanos y los ecosistemas, ocasionados por estos fenómenos y procesos.

La mayor parte de los trabajos se han ejecutado y se desarrollan en la actualidad en estrecha colaboración con la Red mareográfica Nacional, la Oficina de Hidrografía y Geodesia de las Fuerzas Armadas, el Instituto de Meteorología así como con organizaciones e instituciones extranjeras entre las que se destacan la Universidad del Sur de La Florida.

Se han terminado o se ejecutan los siguientes proyectos de investigación y desarrollo:

- Instalación de seis nuevas estaciones mareográficas permanentes en el archipiélago Sabana-Camagüey en el marco del proyecto "Acciones prioritarias para la consolidación de la protección de la biodiversidad del Archipiélago Sabana-Camagüey". PNUD/GEF CUB/98/G32-CUB/99/G81 PNUD/GEF CUB/98/G32-CUB/99/G81.
- "Evaluación de la tasa de incremento del nivel medio del mar y su influencia sobre algunas características oceanográficas y de las áreas de manglares de la plataforma insular cubana", en el marco del Programa Nacional de Cambios Globales y Evaluación del Medio Ambiente Cubano (2002-2003).
- Instalación de estaciones automáticas en tiempo real en el marco del proyecto "Sistema de observación del nivel del mar para Yucatán en tiempo real" (2001-2002). (Universidad del Sur de La Florida, Instituto de Oceanología, Instituto de Meteorología, ICMYL, UNAM, UNH).
- "Obtención de modelos de pronóstico y de productos informáticos sobre procesos oceanográficos del océano y de la plataforma insular cubana" (2000 - 2002).
- "Variabilidad del Nivel del Mar en aguas de México y Cuba", (1998-1999), en el marco del Programa Nacional de Cambios Globales y Evaluación del Medio Ambiente Cubano.
- Capítulo Zonas Costeras y Recursos Marinos en el proyecto "Impactos del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba", (1998-1999), desarrollado en el marco del Programa Nacional de

"Taller de Entrenamiento en Observación y Análisis del Nivel Del Mar"



Cambios Globales y InsMet (Cuba) -PNUD.

- Capítulo "Las Variaciones del Nivel del Mar en los Tiempos Modernos" en el proyecto "Paleoclima del Cuaternario Cubano. Una Evaluación Cuantitativa" (IGA/1996-1997), desarrollado en el marco del Programa Nacional de Cambios Globales.
- Capítulo "La componente no periódica del nivel del mar en el dominio de las frecuencias medias" en el proyecto "Pronóstico de las Inundaciones Costeras. Prevención y Reducción de su Acción Destructiva", 1994-1997, InsMet (Cuba) -PNUD.
- Capítulo Nivel del Mar en el proyecto "Características Oceanográficas de la Fosa de Jagua y de la Zona Económica Exclusiva al Sur de Cuba" . Elaboración y redacción del capítulo "Nivel del Mar" del informe de dicho tema de investigación y participación en dos cruceros oceanográficos a la zona de trabajo.

Se ha estado monitoreando la tasa de incremento del nivel medio del mar a partir de mediciones directas en estrecha colaboración con La Red Mareográfica Nacional con el apoyo de la Oficina Nacional de Hidrografía y Geodesia. La tasa de incremento del nivel del mar es de 0.146 cm/año según el registro de la estación Siboney (Fig. 2).

A continuación se relacionan algunos de los principales impactos del incremento del nivel medio del mar durante el presente siglo en Cuba:

- Reducción de la variabilidad espacio temporal de la temperatura y la salinidad en la parte sur de la plataforma insular cubana.
- Redistribución de los sedimentos en algunas zonas de la plataforma insular.
- Reducción del área de las cayerías e islotes o desaparición de parte de los mismos. Aumento de la erosión costera e invasión por parte del mar de las zonas más bajas de la zona costera. Aumento del alcance de las inundaciones costeras producidas por eventos meteorológicos peligrosos.
- Amenaza para las tortugas marinas y las poblaciones de aves que anidan en los cayos bajos.

Se realizó una primera estimación de la tasa de incremento del nivel medio del mar en otras localidades del archipiélago cubano cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1. Tasa de incremento del nivel medio del mar en algunas localidades cubanas.

Puesto mareográfico	Latitud	Longitud	Tendencia [cm/año]
Los Morros	21° 54.0'	84° 54.4'	0.006
Siboney	23° 05.6'	82° 28.2'	0.146
La Isabela	22° 56.4'	80° 00.8'	0.124

"Taller de Entrenamiento en Observación y Análisis del Nivel Del Mar"



Gibara	21° 06.5'	76° 07.5'	-0.043
Casilda	21° 45.2'	79° 59.5'	-0.081

Las diferencias de signo pueden obedecer a la naturaleza de los movimientos verticales de la corteza terrestre, por lo que en el Instituto de Oceanología se ejecuta en la actualidad el proyecto "Evaluación de la tasa de incremento del nivel medio del mar y su influencia sobre algunas características oceanográficas y de las áreas de manglares, de la plataforma insular cubana" en el marco del Programa Nacional de Cambios Globales y Evolución del Medio Ambiente Cubano liderado por el Instituto de Oceanología, con la participación de la Red Mareográfica Nacional y otras instituciones en el cual se prevé determinar la tasa de incremento del nivel medio relativo del mar, considerando los movimientos verticales de la corteza terrestre y evaluar la influencia de este proceso sobre las principales características de la hidrología y dinámica de las aguas de la plataforma insular cubana y sobre los bosques de mangle y la biodiversidad asociada de algunas localidades, tomando en consideración la influencia de fenómenos atmosféricos y climatológicos. Los principales objetivos de este proyecto son los siguientes:

- 1) Determinar el incremento relativo del nivel medio del mar a partir de mediciones directas en algunas localidades del archipiélago cubano.
- 2) Analizar a través de los estudios geodinámicos la actividad de emersión y sumersión que tienen los bloques estructurales cercanos al litoral y determinar la componente vertical de los movimientos recientes de la corteza terrestre.
- 3) Evaluar cuantitativamente, la influencia a largo plazo del incremento relativo del nivel medio del mar sobre la distribución espacio temporal de la temperatura, la salinidad y la circulación del mar en la plataforma insular cubana tomando en consideración la influencia de procesos de mediano y corto plazos como el ENOS y los fenómenos atmosféricos severos.
- 4) Evaluar cuantitativamente, la influencia a largo plazo del incremento relativo del nivel medio del mar sobre la distribución espacial de los bosques de mangle y su biodiversidad asociada en algunas localidades costeras de Cuba.

Sobre los cambios a largo plazo del nivel medio del mar se superponen otras variaciones del nivel del mar de más corto período de no menor importancia, inducidas por el fenómeno El Niño Oscilación del Sur y por los fenómenos meteorológicos característicos de nuestra área geográfica, como los huracanes, las bajas extratropicales y los frentes fríos.

En este sentido se ha podido establecer, entre otros resultados que: Durante los años ENOS se producen fuertes alteraciones del patrón estacional del nivel del mar en Cuba, trasladándose las anomalías positivas más altas desde septiembre – octubre a junio y en un menor número de veces a los primeros meses del ciclo anual y se intensifican las variaciones del nivel del mar a causa de bajas extratropicales fundamentalmente, con impactos más severos sobre la zona costera (Fig.3). En sentido general, desde inicios de la década de los 80, se presentaron variaciones más intensas del nivel del mar, relacionadas con una mayor influencia de los fenómenos atmosféricos severos (Fig.4).

"Taller de Entrenamiento en Observación y Análisis del Nivel Del Mar"



Se están analizando las variaciones no periódicas de escala sinóptica del nivel del mar generadas por ciclones tropicales y por otros fenómenos meteorológicos peligrosos como los frentes fríos y las bajas extratropicales sobre la base de una extensa serie de productos oceanográficos que en un futuro cercano deben estar disponible a través de una página Web para la comunidad científica nacional e internacional (Figs.5 y 6), como parte del desarrollo de la Oceanografía Operacional en Cuba.

Se analiza la estructura espectral de las variaciones del nivel del mar con la finalidad de conocer y pronosticar las mismas, dado la importancia que tienen en el contexto de la dinámica de las aguas y la influencia de estas en el régimen biogeomorfológico (Fig.7).

Una de las zonas de mayor importancia del archipiélago cubano por su valor medio ambiental y socio-económico es el archipiélago Sabana-Camagüey (Fig.8). Una de las tareas del proyecto "Acciones prioritarias para la consolidación de la protección de la biodiversidad del Archipiélago Sabana-Camagüey" ha consistido en desarrollar una red de estaciones de monitoreo ambiental como complemento del monitoreo de la biodiversidad, que incluyen estaciones mareográficas que con carácter permanente medirán el nivel del mar en al menos cinco localidades de la zona. De esta forma se ampliarán las posibilidades de obtener más información sobre el nivel del mar en una parte del archipiélago cubano que debido a sus características físico-geográficas y geomorfológicas posee una elevada vulnerabilidad ante los cambios del nivel medio del mar y la ocurrencia de variaciones temporales extremas a causa de fenómenos atmosféricos peligrosos.

Se está trabajando en la instalación de dos estaciones automáticas en Siboney y en el Cabo de San Antonio (Fig. 1), para la medición y transmisión en tiempo real de datos de nivel del mar y de otros ocho parámetros oceanográficos y meteorológicos en tiempo real que brindará además la posibilidad de obtener diversos productos operacionales para el trabajo de los científicos y de los tomadores de decisión. Estas estaciones son el resultado de una fructífera colaboración con la Universidad del Sur de La Florida.

Gran parte de los resultados antes expuestos han sido publicados o se encuentran en vías de publicación:

1. Hernández M. y G. Díaz (en prensa): Algunas características espectrales de las variaciones no periódicas del nivel del mar en la plataforma sur oriental de Cuba. Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras.
2. Hernández M. y G. Díaz (2002): Algunas consideraciones sobre la variabilidad de la componente sinóptica del nivel del mar en el Golfo de Batabanó. Serie Oceanológica. Vol. 0, No. 1. WW:<http://www.ceniai.inf.cu/CIENCIACUBA/oceanologia/index.html>.
3. Hernández M. y G. Díaz (2001): Algunos aspectos de la variabilidad mensual del nivel del mar en. La Habana, Cuba. Afro América GLOSS news. UNESCO/ COI.

"Taller de Entrenamiento en Observación y Análisis del Nivel Del Mar"



<http://www.mares.io.usp.br/aagn/ind.html>.

4. Hernández M. y G. Díaz (2001): Influences of ENSO on seasonal and inter – annual sea level variability in the Cuban Archipelago. Serie Oceanológica. Vol. 0. No. 0. WWW:<http://www.ceniai.inf.cu/CIENCIACUBA/oceanologia/index.html>.
5. **Hernández M. , P. García, M. Izquierdo (2000): Preliminary considerations on the probable impact of sea level rise and water temperature in some localities of the coastal zone of the cuban archipelago. Proceedings of the Conference on National Assesment Results of Climate Change. San José, Costa Rica. Marzo 25 – 28, 1998. Págs. 183 – 202. Climate Change Impacts and Responses. Proceedings of the Conference on National Assesment Results of Climate Change. Edited by Nobuo Mimura. Printed by the Japan Environment Agency and Overseas Enviromental Cooperation Center. 751 páginas.**
6. Rodas L. y Hernández M. (1994): Análisis del comportamiento de los niveles medios y extremos del mar en la costa sur de Cuba. Ciencias de la Tierra y del Espacio, 23 – 24.
7. Hernández M. y J. Simanca (1998): La componente no periódica del nivel del mar en el dominio de las frecuencias medias. En Desarrollo de las Técnicas de Predicción de las Inundaciones Costeras, Prevención y Reducción de su Acción Destructiva. Páginas, de la 82 a la 89. 24 figuras en anexos. 172 págs. 5 tablas y 68 figuras en anexos. 200 ejemplares.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto se puede deducir que en Cuba se cuenta con una organización coherente de instituciones que trabajan intensamente con la finalidad de asegurar las mediciones, el análisis y los pronósticos relacionados con el nivel del mar y que se han obtenido resultados que hoy están en vías de implementarse de una forma accesible para todo el país y para la comunidad internacional. No obstante se tienen determinadas necesidades de instrumental en el área de las mediciones y en el área analítica. En este sentido, independientemente de las gestiones que se realizan, es necesario incrementar el número de estaciones automáticas, de acuerdo a los patrones tecnológicos que se difunden en la región geográfica en que se encuentra Cuba, con la finalidad de lograr una mejor inserción en el flujo de datos e información y satisfacer mejor los requerimientos nacionales e internacionales de los mismos.

Concretamente, resulta prioritario medir en los pasos y estrechos que rodean a Cuba: Estrecho de Yucatán, Paso de los Vientos, Estrecho de La Florida, así como, en al menos tres puntos de la costa Sur. Esta información no solo sería útil para la comunidad científica cubana sino también para la región, por cuanto alimentaría diversos modelos operacionales, brindaría información para sistemas de aviso o de alerta temprana, investigaciones climatológicas, etc. Otro de los temas importantes son los medios de cómputo y los periféricos, de los que no se disponen en la cantidad ni calidad adecuada, para la informatización del sistema de medición del nivel del mar.

Sobre las necesidades de entrenamiento y las posibilidades de brindar entrenamientos, se puede decir lo siguiente:

Se tiene la necesidad de entrenamientos en el manejo de las tecnologías de punta de medición y

"Taller de Entrenamiento en Observación y Análisis del Nivel Del Mar"



posicionamiento del nivel del mar lo cual está en una fase incipiente de desarrollo. Se requiere asesoría en los métodos de análisis a través de imágenes satelitarias y el uso de la información sobre nivel del mar en los modelos numéricos sobre las variaciones del mismo.

Sin embargo, dado que las mediciones con los métodos convencionales como los mareógrafos de flotador y contrapeso, deben continuarse, se ha acumulado una vasta experiencia en este tema en Cuba, no solo desde el punto de vista metodológico, sino también organizacional. También se cuenta con buena experiencia en el tema del tratamiento de series de tiempo, desde el filtrado numérico hasta la realización de pronósticos y en el análisis de los impactos sobre la zona costera. La coherencia de las organizaciones que en Cuba trabajan en lo relacionado con el nivel del mar nos da la posibilidad de brindar un escenario apropiado para impartir cursos regionales donde Cuba puede contribuir con los temas en que se cuanta con mayor fortaleza, si se halla una fuente de financiamiento que aporte al menos parte de los gastos necesarios, como el movimiento y alojamiento de estudiantes e instructores.

Conclusiones

1. En Cuba se cuenta con una Red Mareográfica que se extiende por las principales áreas de interés geofísico y que continúa expandiéndose en el sentido geográfico y tecnológico, con la finalidad de asegurar los datos e información para la comunidad nacional e internacional.
2. Se necesita financiamiento externo para acelerar el proceso del perfeccionamiento tecnológico de estaciones mareográficas que resultarían de interés regional.
3. Se tienen necesidades concretas de entrenamiento y asesoría pero al mismo tiempo se tienen posibilidades de contribuir a la difusión de conocimientos, incluso de ser sedes de entrenamientos y cursos internacionales.
4. Los resultados científicos obtenidos por el Instituto de Oceanología en colaboración con otras instituciones, se extienden a los campos de las variaciones no periódicas relacionadas con los fenómenos meteorológicos peligrosos y el incremento a largo plazo del nivel medio del mar, que están entre los procesos de mayor impacto sobre los ecosistemas costeros del país y de la región.

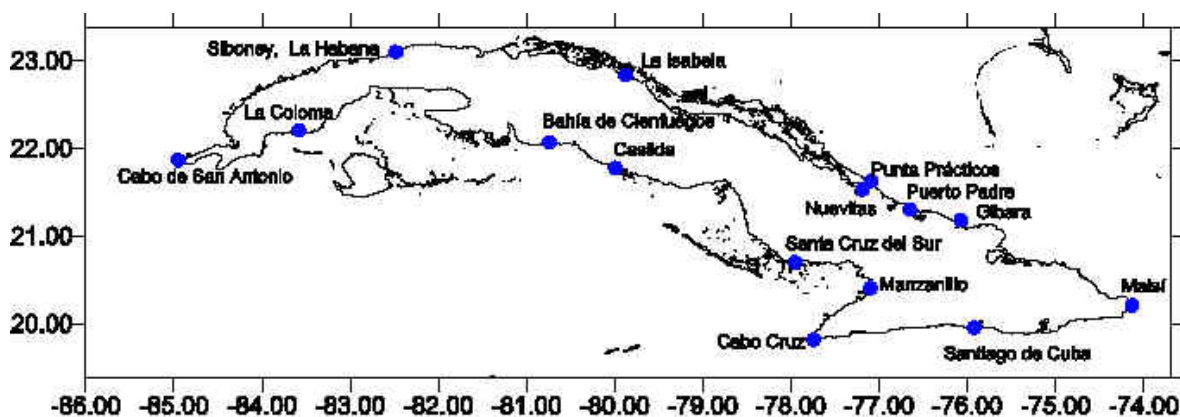


Fig. 1 – Distribución geográfica de las estaciones de la Red Mareográfica Nacional.

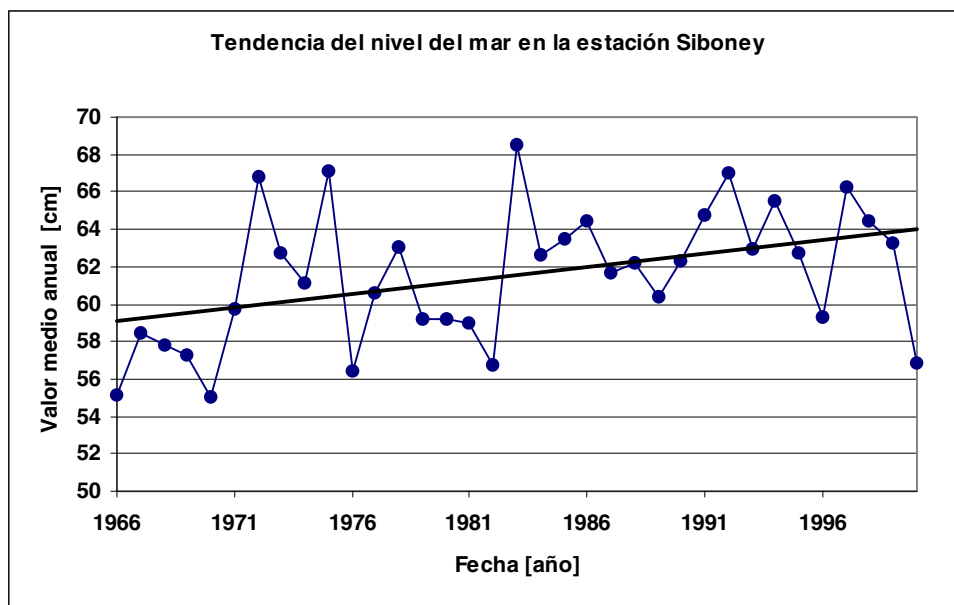


Fig. 2 – Tendencia del nivel del mar en Cuba según el registro de la estación mareográfica de Siboney, en Ciudad de La Habana, Cuba. La tasa de incremento del nivel medio del mar es 0.146 cm/año.

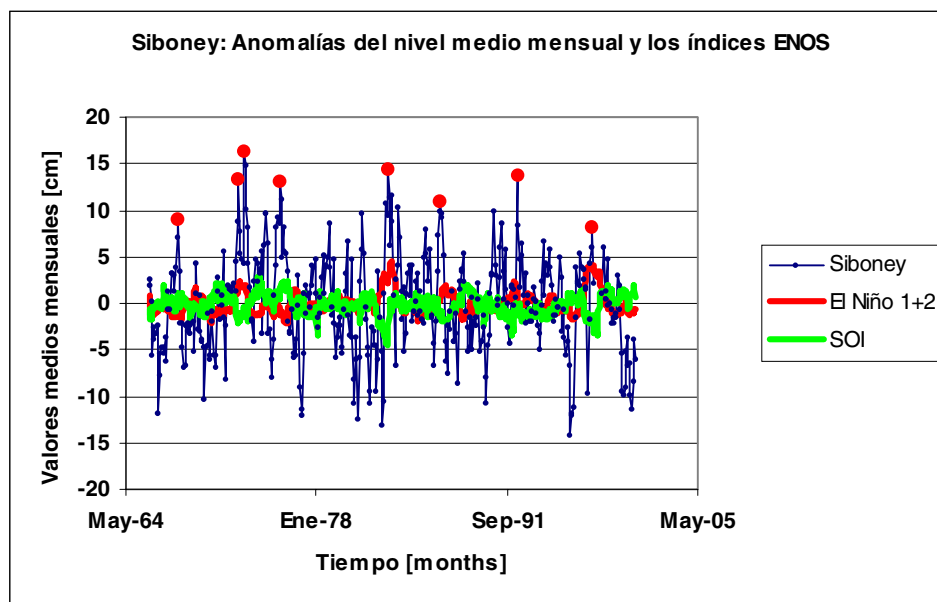


Fig. 3 – Anomalías positivas del nivel medio mensual del mar en presencia del ENOS.

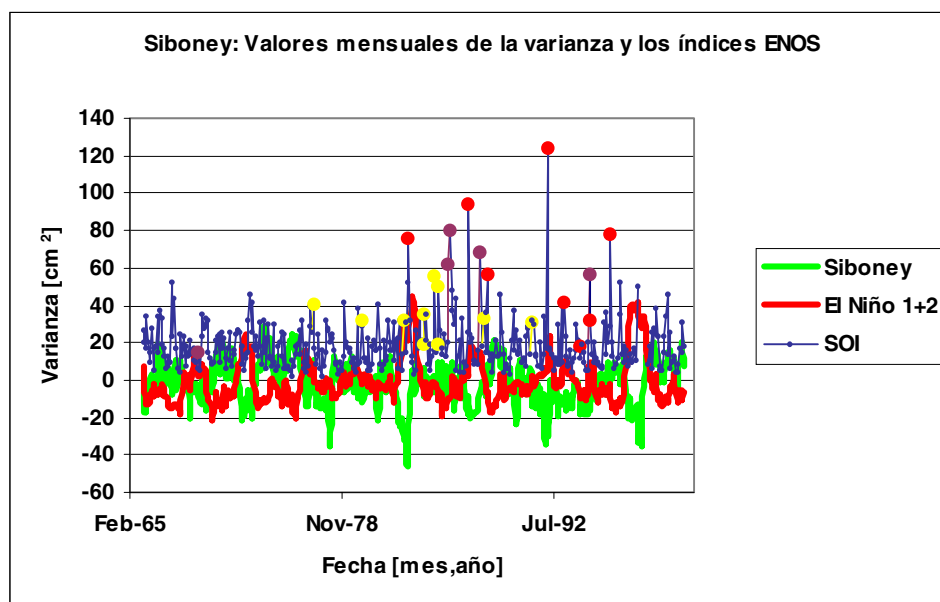


Fig. 4 – Anomalías mensuales de la intensidad de las variaciones del nivel del mar. Nótese el aumento de estas desde comienzos de la década de los 80.

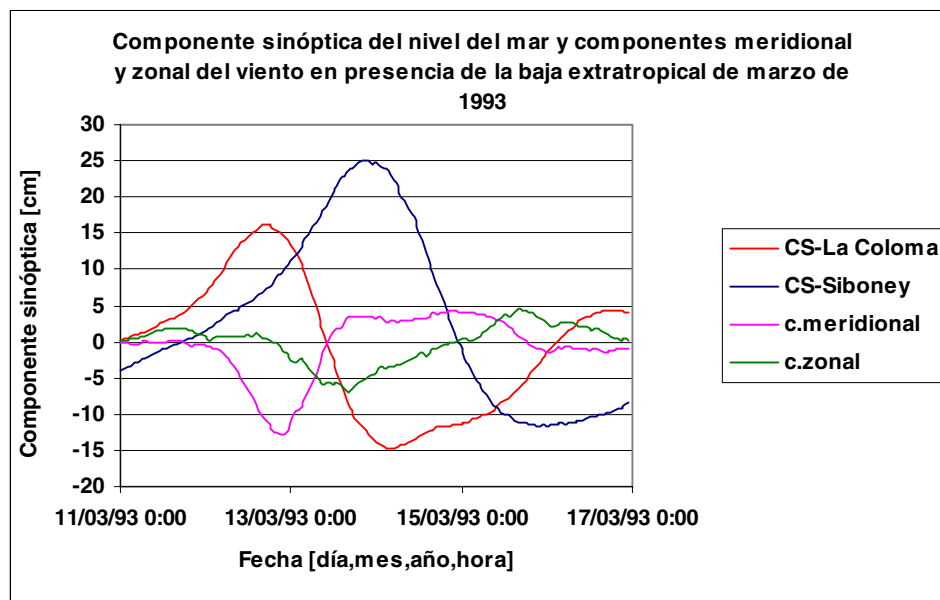


Fig.5 – Variaciones no periódicas en dos localidades de la zona costera cubana bajo la influencia de un mismo fenómeno meteorológico.

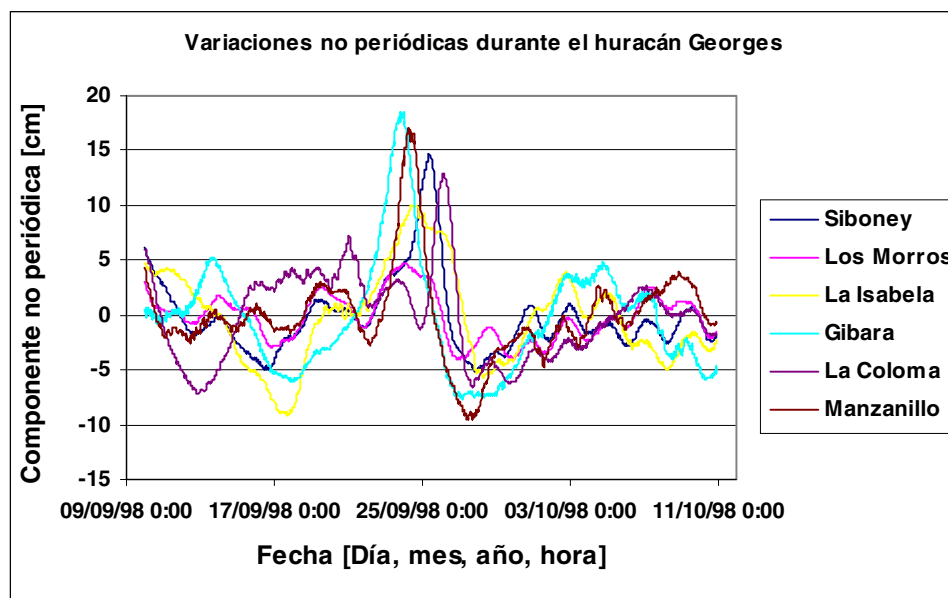


Fig. 6 – Variaciones no periódicas del nivel del mar bajo la influencia del huracán Georges (1998) al paso de este por las aguas al Norte de Cuba.

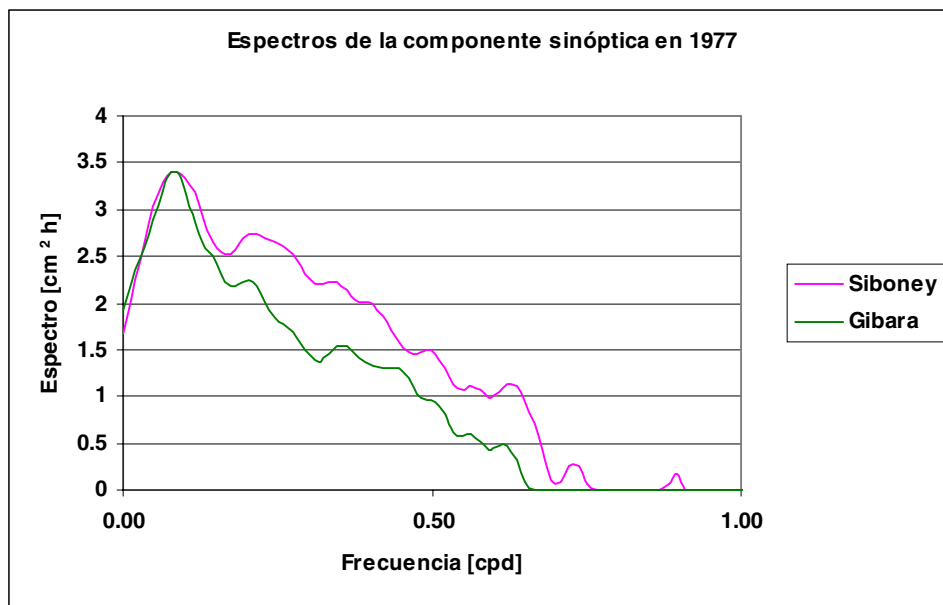


Fig. 7- Espectro de las variaciones no periódicas de escala sinóptica del nivel del mar en Siboney y Gibara en 1977.