

# “Las zonas más expuestas a las inundaciones costeras en el territorio cubano y su sensibilidad al posible incremento del nivel medio del mar por cambio climático”

**Autores:** IDA MITRANI ARENAL, RAFAEL PÉREZ PARRADO, OMAR GARCÍA CONCEPCIÓN, ISIDRO SALAS GARCÍA, YUNIT JUANTORENA ALLEN, MARITZA BALLESTER PÉREZ, PEDRO BEAUBALLET PADRÓN, ADA LUISA PÉREZ HERNÁNDEZ, CARLOS RODRÍGUEZ OTERO

Investigadores del Instituto de Meteorología  
Investigadores del Instituto de Planificación Física

---

## RESUMEN

*Se describen las afectaciones por inundaciones costeras en el territorio cubano y la posible influencia del incremento del nivel medio del mar por el cambio climático previsto. Como zonas más sensibles a estos efectos, se seleccionaron aquellos tramos costeros donde con mayor frecuencia ocurren inundaciones generadas por eventos meteorológicos de alta peligrosidad. Se estableció que estos son los tramos costeros correspondientes al Golfo de Batabanó, a Punta María Aguilar-Cabo Cruz y al Malecón Habanero. Durante el desarrollo del proyecto, se determinaron los regímenes de sobreelevación del nivel del mar por marea de tormenta, oleaje y arrastre del viento en las áreas de estudio seleccionadas, tomando en cuenta los escenarios actual y previstos. Se evaluó el posible impacto sobre los asentamientos y objetos económicos de cada área. Se plantea que de ocurrir el incremento del nivel medio del mar en el orden de 1m, los fenómenos de sobreelevación como fenómeno físico casi no sufren variación en sus dimensiones verticales. La afectación se manifestará en la dimensión horizontal, con adentramientos del orden de los kilómetros en las áreas de la costa sur y un acercamiento de más de una decena de metros de la zona de rompiente en el Malecón Habanero. Los resultados finales obrarán como información básica para los planes de medidas de mitigación de los posibles daños y de acciones en costas.*

## INTRODUCCIÓN

Las investigaciones realizadas por el Panel Intergubernamental de Cambios Climáticos (IPCC) en los años 90, han mostrado que un posible cambio climático ocasionaría un aumento del nivel del océano mundial, la sumersión de las tierras más bajas y el desplazamiento de la línea costera hacia tierra firme. Las más recientes evaluaciones (IPCC, 1996) indican un aumento del nivel del mar entre 15 y 95 cm para el año 2100, tomando como base 1990, si aumenta la concentración de los gases de invernadero en el planeta.

Entre las naciones que serían más afectadas por los posibles cambios globales, se encuentra Cuba, tomando en cuenta su condición insular, configuración físico - geográfica y la existencia de zonas bajas en gran parte de su perímetro costero. La mayoría de sus municipios poseen costas y en ellas se desarrollan importantes actividades portuarias, industriales, pesqueras y turísticas. En lo que respecta al hábitat humano, más del 10 % de la población vive a una distancia entre 0 y 1000 m de la línea costera, en asentamientos localizados fundamentalmente en zonas bajas, sujetos a los efectos de los eventos meteorológicos incidentes cada

año en las costas, que pueden incrementar su frecuencia e intensidad debido a los cambios climáticos globales. Importantes ciudades, con más de 20000 habitantes, también están potencialmente afectadas por el aumento del nivel del mar (Moreno et al. 1998).

Aparece la necesidad de valorar como se comportarían las penetraciones del mar por factores meteorológico en las zonas más expuestas a este fenómeno, de ocurrir el cambio climático previsto. Para dar respuesta a este problema, durante el período comprendido entre 1996 y 1999 se desarrolló en el Instituto de Meteorología (INSMET) del Ministerio de



Ciencias, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) de Cuba el proyecto: "Impacto Socioeconómico de los Cambios Climáticos Globales en las Zonas Costeras de Cuba", dentro del programa "Los Cambios Globales y la evolución del Medio Ambiente Cubano", en respuesta a la preocupación estatal acerca de las afectaciones que pudiera ocasionar en el país el incremento del nivel medio del mar por los cambios climáticos previstos. Este proyecto se trazó como principal objetivo la evaluación de las áreas de máxima afectación por penetraciones del mar en las costas cubanas y su evolución futura, tomando en cuenta el posible incremento del nivel medio del mar, con la finalidad de obtener una base científica que permitiese diseñar los planes de medidas para la mitigación de posibles daños.

## Las inundaciones costeras en el territorio cubano

Sobre el territorio cubano, el régimen de vientos habituales está conformado básicamente por la influencia los "alisios". La velocidad media es del orden de los 3 m/s, mientras que en la dirección predominante del este, es de hasta 4 m/s (Atlas Climático de Cuba, 1987). Como resultado, habitualmente hay condiciones de buen tiempo. Este régimen normal, con frecuencia se ve alterado por organismos tropicales (Huracanes, tormentas, depresiones, ondas tropicales) y continentales (Sistemas frontales asociados a bajas extratropicales). Otras causas identificadas han sido la acción combinada de altas y bajas presiones, las trombas marinas y los tornados. Las penetraciones del mar de mayor significación son producidas por los ciclones tropicales, los sistemas frontales y los vientos de región sur asociados a las bajas extratropicales. Estos fenómenos generan los vientos

más intensos de la región y las mayores alteraciones del nivel del mar en zona costera

Según datos recopilados en las oficinas del Instituto Nacional de Planificación Física (Moreno et al. 1998), los efectos de las penetraciones del mar en Cuba se incrementan debido a los siguientes factores:

- Predominio de costas bajas acumulativas.
- El 5,2 % del área total de Cuba está ocupada por zonas bajas y pantanosas.
- El 100 % de las 14 provincias tienen costas.
- El 65 % de los municipios tienen costas.
- El 10 % de la población habita en las mismas, distribuida en 232 asentamientos

**Los ciclones tropicales** se acompañan del fenómeno conocido como "Marea de tormenta" o "surgencia de huracán". Al desplazarse el ciclón tropical por aguas someras, la onda anemobárica que se genera sobre aguas profundas se amplifica por efecto de fondo; el nivel del mar aumenta en combinación con los efectos de apilamiento debido a la fuerza del viento y se produce una gran sobreelevación del nivel del mar. A este fenómeno son muy sensibles las costas del sur de Cuba, bajas y de pendiente suave, del tipo de los Golfos de Batabanó, Ana María y Guacanayabo.

**Las mayores inundaciones** por penetraciones del mar, sea por marea de tormenta, por arrastre del viento o por oleaje, han sido generadas por huracanes. Las mayores "mareas de tormenta" ocurridas en Cuba se registraron en 1932, al paso de un huracán con  $V_{max} = 69,5$  m/s por Santa Cruz del Sur y en 1944, al paso de un huracán con  $V_{max} > 70$  m/s en el Golfo de Batabanó, con una sobreelevación estimada en más de 6 m (Ortiz, 1980; García y Pérez Parrado, 1998). Por otra parte, los mayores oleajes observados en el

litoral, con alturas de más de 7 m, han sido generados por huracanes que han afectado a la ciudad de La Habana, entre los que se destacan los de 1926 y 1944 (Mitrani y Pérez Parrado, 1998). Por tal motivo, en los planes de contingencias por desastres naturales y de protección costera se han de tomar en cuenta en primer lugar a los ciclones tropicales.

**Los frentes fríos** que afectan a Cuba, se caracterizan por el avance de una masa de aire seco continental con vientos de región norte, que pueden ser muy fuertes (Llegando a huracanados ocasionalmente), acompañados de lluvias y marejadas. Los oleajes más peligrosos son generados por los vientos del noroeste, ya que en esta dirección se presenta el máximo fetch (alcance espacial) geográfico. Los meses de temporadas de frentes fríos son los comprendidos de octubre a abril, aunque se han registrado casos en septiembre y mayo. De la cronología de frentes fríos, elaborada por Rodríguez y González (1984), se puede apreciar que el promedio de afectación por cada temporada invernal es de unos 20 casos, presentándose la mayor frecuencia en los meses de diciembre, enero y febrero. Predominan los frentes clásicos, constituyendo el 84% de la muestra analizada, de moderada intensidad. La frecuencia de afectación sobre el territorio nacional disminuye de Oeste a Este, considerando el 100 % en las provincias occidentales. En el período analizado por los autores (1916-1983), se registraron al menos cinco frentes con vientos superiores a los 23 m/s. Si se le añade el de marzo de 1993, en 77 años suman al menos seis casos de frentes muy intensos que han generado oleajes mayores de 6 m en el Golfo de México y Estrecho de la Florida.

**Las inundaciones por oleaje** al paso de los sistemas frontales son notables por la magnitud de los daños económicos que ocasio-



nan al afectar a la zona costera correspondiente al Malecón Habanero. Aunque los mayores oleajes han sido ocasionados por los ciclones tropicales, las inundaciones por frentes fríos han causado un mayor volumen de daños porque son más frecuentes (Mitrani, 1997).

Los "sures" son vientos de región sur, asociados al paso de las bajas extratropicales que se desplazan sobre el Golfo de México y territorios adyacentes, precediendo a los frentes clásicos. Contribuye a su intensificación la presencia de altas presiones asociadas al anticiclón de las Azores. (Ballester, 1997). Afectan la costa sur de Cuba y con mayor fuerza a las provincias occidentales del País (Pinar del Río, La Habana, Matanzas e Isla de la Juventud) durante la temporada de frentes fríos. Presentan rumbos del S al SSW y velocidades que pueden ser mayores de 10 m/s.

**Las inundaciones por arrastre del viento** en presencia de "sures", se observan en las áreas de amplia plataforma localizadas en la costa sur del país, siendo más significativas en el tramo costero correspondiente al Golfo de Batabanó. La particularidad de ser un área abierta hacia el Sur, de presentar pendientes suaves y aguas poco profundas, favorece las inundaciones costeras por arrastre, que según testimonios de los vecinos del lugar, ocurren al menos una vez al año, pudiendo repetirse hasta cinco veces.

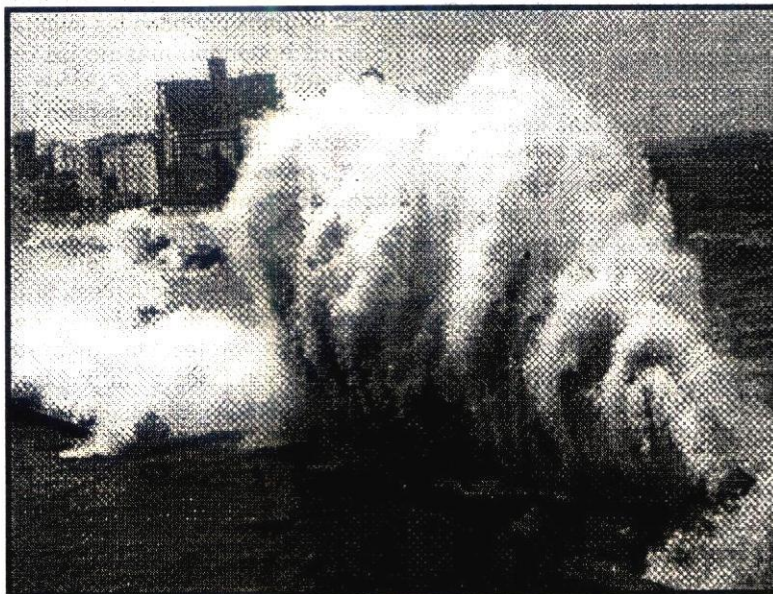
Luego de un análisis del comportamiento de las penetraciones del mar en todo el perímetro costero nacional, se convino en que las zonas más expuestas a los efectos negativos del incremento del nivel medio del mar, serían las que en la actualidad sufren los mayores embates de las penetraciones del mar: los tramos correspondientes al Golfo de Batabanó, al Malecón Habanero y el comprendido entre Cabo Cruz y Punta

María Aguilar, que incluye a los Golfos de Ana María y Guacanayabo, por lo que fueron tomados como casos de estudio en el desarrollo del proyecto, tomando en cuenta el escenario actual y los escenarios previstos.

### **Variabilidad de los eventos meteorológicos extremos que generan penetraciones del mar**

Se ha manifestado la existencia de un enlace entre la ocurrencia de las penetraciones del mar y la del evento ENOS, destacándose una correspondencia entre el aumento de intensidad registrado para este fenómeno en las dos últimas décadas y un incremento en la frecuencia e intensidad de las penetraciones del mar en la costa noroccidental de Cuba, en temporada invernal.

to y de los oleajes peligrosos, aumentando significativamente las penetraciones del mar en las costas occidentales (Pérez Parrado y Rego., 1995). El ejemplo más típico se tuvo en marzo de 1993, bajo la influencia del sistema conocido como "Tormenta del Siglo", que trajo inundaciones por arrastre del viento sur en la costa sur antes del paso del frente frío e inundaciones por la costa norte al girar los vientos al noroeste. Las inundaciones en la ciudad de La Habana y en particular, en la zona correspondiente al Malecón Habanero fueron realmente notables, con oleajes de más de 6 m (Figura 1), graves pérdidas económicas y deterioro de importantes objetos urbanísticos. Un incremento en la frecuencia del evento ENOS significaría un aumento en la frecuencia de penetraciones del mar en ambas costas de la región occidental.



En presencia del evento ENOS, las bajas extratropicales se desplazan hacia latitudes menores, acercándose el área de vientos máximos al territorio nacional. En las cercanías de las costas cubanas se intensifica la acción del vien-

*Figura 1. Inundación del Malecón Habanero el 13 de marzo de 1993 (Imagen tomada por especialistas del Instituto de Meteorología)*



Pero las mayores inundaciones ocurridas en Cuba, han sido generadas al paso de ciclones tropicales. La información disponible en la actualidad, no indica una variación en la frecuencia de ocurrencia de los ciclones tropicales por el cambio climático previsto. Sin embargo, es posible notar una tendencia variacional en la ciclogénesis del Atlántico Norte. Una disminución de la actividad ciclónica en el Mar Caribe (Ballester y González, 1997) con la tendencia de ocurrencia de recurva en longitudes más orientales (Ortiz, 1988), ha alejado a los huracanes de las costas de Cuba. A partir de 1953, se ha observado un aumento en la formación de ciclones tropicales por debajo de los 20° N y al oeste de los 55°W; sin embargo, es en la región caribeña al este de los 55° W donde se ha formado el 75% de los huracanes que han afectado a Cuba (Limia et al. 1998). Resulta de interés que entre 1910 y 1944 (35 años) ocurrieron 9 de los 10 huracanes más intensos que afectaron al país en el presente siglo y de forma similar entre 1844 y 1888 ocurrieron 5 de los 6 huracanes más intensos del pasado siglo; sin embargo, los años 20 y el período entre 1973 y 1995 sobresalen por su mínima actividad sobre el territorio nacional (Pérez Suárez et al. 1998).

El comportamiento del régimen de las inundaciones costeras en el territorio cubano responde a las tendencias antes expuestas. Las dos penetraciones del mar por surgencia ciclónica más intensas del presente siglo ocurrieron entre 1910 y 1944. La primera en 1932, al paso de un huracán con  $V_{max}=69,5$  m/s por Santa Cruz del Sur, en la mitad suroccidental del país (tramo Cabo Cruz - Punta María Aguilar); se borró totalmente el asentamiento costero y se registraron más de 3 000 víctimas mortales. Este ha sido el desastre natural mayor que ha ocurrido en Cuba, desde el punto de vista de pérdidas humanas. La segunda ocurrió en 1944, al

paso de un huracán con  $V_{max}>70$  m/s en el Golfo de Batabanó (mitad suroccidental) penetró por Playa Majana y barrió varios asentamientos poblacionales costeros situados a la derecha de su trayectoria. En Playa Guanamar el mar penetró hasta 12 Km. tierra adentro. Ambos eventos presentaron una sobre elevación estimada en más de 6 m (Ortiz, 1980; García y Pérez Parrado, 1998). Por otra parte, de los oleajes ocurridos en el tramo costero correspondiente a la ciudad de La Habana, también los más intensos se registran en la primera mitad del siglo XX, entre 1919 y 1944, y se corresponden con tres huracanes que afectaron a La Habana, generando oleajes de más de 7 m de altura significativa. (Mitrani 1997; Mitrani y Pérez Parrado, 1998).

De lo antes expuesto se aprecia que el régimen de inundaciones costeras varía a largo plazo en lo referente a causas y frecuencia de ocurrencia. Esto significa que en unos períodos las inundaciones dependen más de los organismos tropicales y entonces son menos frecuentes pero de mayor intensidad, mientras que en otros períodos la dependencia del comportamiento de las bajas extratropicales es mayor y por tanto las inundaciones son menos intensas pero más frecuentes. Si se pretende elaborar planes de contingencias, protección costera y planificación física a largo plazo (varias decenas de años), se debe tomar en cuenta toda la información histórica disponible acerca de las particularidades de las penetraciones del mar ocurridas en distintas épocas, de manera que se consideren los valores extremos posibles y las peculiaridades en la variación de las frecuencias de ocurrencia de los fenómenos.

## Resultados obtenidos

La variabilidad interanual y climática que presenta la frecuencia de afectación al territorio cu-

bano de ciclones tropicales, sistemas frontales y bajas extratropicales es determinante en la variabilidad de frecuencia de las inundaciones por penetraciones del mar. Por tal motivo, es imprescindible que esta variabilidad se tenga en cuenta en la elaboración de planes de contingencia, de manejo y de protección costera a largo plazo tomando toda la información disponible, incluso desde el siglo XIX.

La posible ocurrencia del escenario extremo planteado por IPCC, de un aumento del nivel medio del mar en el orden de 1 m, traería graves consecuencias para el perímetro costero cubano. Se sumergirían las tierras más bajas, localizadas en la costa sur de Cuba, ocupando el mar franjas de 2 a 5 Km en el tramo costero del Golfo de Batabanó y en el orden de 1 km en el tramo Cabo Cruz - Punta María Aguilar.

La zona de rompiente en el Malecón Habanero se acercaría a la actual línea costera en el orden de las decenas de metros, de manera que los oleajes de 4-5 m de altura significativa, que en la actualidad producen penetraciones del mar por rompiente de tipo "moderadas", generarían del tipo "fuertes".

Los cálculos de la sobre elevación del nivel del mar en presencia de los eventos "sures", indican que en el escenario actual se debe considerar que los vientos de del suroeste al sur con permanencia de más de seis horas y velocidades del orden de los 10 m/s ya pueden ocasionar inundaciones significativas, tomando en cuenta que los puntos de inundación con asentamientos poblacionales de la zona costera correspondiente al Golfo de Batabanó se encuentran muy por debajo de la cota de 1 m. Con sobre elevaciones de más de 0.5 m las aguas pueden penetrar entre 2 y 5 Km y esto ocurre con vientos de más de 13 m/s. En los escenarios previstos, los cambios significativos se apreciarían con



el valor extremo de IPCC, del orden de 1 m. La sobre elevación disminuiría ligeramente en su alcance vertical al desplazarse sobre un espesor mayor de agua, pero a partir de la nueva cota "cero" situada en la isolinia actual de 1 m, las aguas penetrarían aún de 1 a 3 Km más.

No se observó gran repercusión en lo referente a la surgencias como fenómeno físico que acompañan a los ciclones tropicales, ya que solamente se modificarían los valores estimados con respecto al escenario actual entre un 3 y un 5 % en los lugares de máxima elevación. El máximo obtenido para el Golfo de Batabanó, con retorno de una vez en 500 años, sería de 9.5 metros en escenario actual y 9.8 metros para el escenario del orden de 1 m. En el tramo Cabo Cruz-Punta María Aguilar, sería de 7.5 m y de 7.7 m respectivamente.

Lo preocupante será el alcance de la penetración en tierra. La zona de peligro de inundaciones se desplazaría considerablemente hacia el interior del país, entre las actuales cotas de 1 y 2.5 m; el nivel de 2.5 m se encuentra de 3 - 7 Km de distancia del cero actual. El mayor peligro se aprecia para los asentamientos adyacentes al Golfo de Batabanó, donde predominan las playas. En ocasiones la fuerza de las aguas ha destruido las viviendas y objetos económicos, arrastrando consigo rocas, árboles y todo lo que encuentren a su paso (Figura 2 y 3).

## Conclusiones y recomendaciones

Existen en el país 244 asentamientos en los que se concentra una población de 1,41 millones de habitantes que viven a una distancia entre 0 y 1000 metros de la costa, sometidos a los mas diversos grados de peligro. Alrededor de 42,000 habitantes viven por debajo de la cota de 1 metro. De ocurrir el escenario

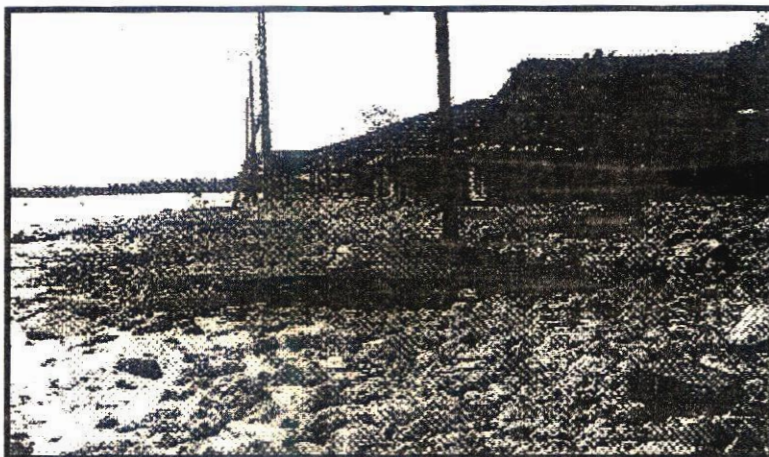


Figura 2. Estado en que quedó Playa Rosario (adyacente al Golfo de Batabanó) al paso del huracán "Irene" en Octubre de 1999. Obsérvese la cantidad de rocas en la orilla (Imagen tomada por especialistas del Instituto de Planificación Física)



Figura 3. Otra imagen del estado en que quedó el asentamiento poblacional de Playa Rosario (adyacente al Golfo de Batabanó) al paso del huracán "Irene" en Octubre de 1999. (Imagen tomada por especialistas del Instituto de Planificación Física)

máximo de ascenso de nivel del mar previsto por IPCC, estas poblaciones quedarían bajo el mar. Se sumergirían las tierras más bajas, localizadas en la costa sur de Cuba, ocupando el mar franjas de 2 a 5 Km en el tramo costero del Golfo de Batabanó y en el orden de 1 km en el tramo desde Cabo hasta Cruz Punta María Aguilar. De las áreas estudiadas como caso especiales, la expuesta al mayor peligro por inundaciones costeras es la zona del Golfo

de Batabanó, presentando 8 asentamientos poblacionales costeros por debajo de la cota de 1 m, la cual se aleja de la línea cero entre 2 y 5 Km.

Debido al interés que representa para la nación cubana el poder mitigar los posibles daños del incremento del nivel medio del mar por inundaciones costeras y por el cambio climático previsto, se recomienda la utilización de los resultados antes descritos en la



elaboración de los planes de contingencias y mitigación de los posibles efectos del incremento del nivel del mar.

## Bibliografía

Atlas Climático de Cuba (1987), Tomo I, INSMET, ACC.

Ballester M., (1997) "Los sucesos en la mitad occidental de Cuba: cronología actualizada, potencial de daños y tendencias" Boletín SOMETCUBA, Vol. 3, No. 2, Julio/97 (publicación electrónica: <http://www.met.inf.cu/>)

Ballester M., González C. (1997) Variaciones y Tendencias de la Ciclogénesis tropical en el Atlántico Norte. Bol. SOMETCUBA, Vol. 3 No. 1, La Habana (<http://www.met.inf.cu/>)

Blázquez M., Rodríguez J. (1991) "El ascenso del nivel del mar y algunas de sus posibles consecuencias para el archipiélago cubano" (Inédito) Instituto de Oceanología, La Habana, 22 pág.

García O., Pérez Parrado R. (1998) Modelo numérico para pronosticar la surgencia que provocan los huracanes en las costas de Cuba Conferencia Científica sobre Ciclones Tropicales "Rodríguez in Memoriam" (Memorias). WMO, SOMETCUBA, INSMET, La Habana, 74:80

IPCC (1996) Segunda Evaluación Cambio Climático - 1995. Informe del grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio Climático. OMM, UNEP, PNUMA, 71 pág.

Mitrani I. (1997) "Application of the Meteorological Information on Coastal Management in the Havana Mole" Boletín SOMETCUBA. Vol. 3, No. 2, INSMET, La Habana. (<http://www.met.inf.cu/>)

Mitrani I., Pérez Parrado R. (1998) "Influencia de los ciclones tropicales del régimen de oleaje en el litoral habanero". Conferencia Científica sobre Ciclones Tropicales "Rodríguez in Memoriam" (Memorias). WMO, SOMETCUBA, INSMET, La Habana, 138:144

Moreno A., Salas I., Pérez Parrado R., García O., Mitrani I., Rodríguez C., Pérez A. L., Juantorena Y. (1998) Desarrollo de la técnicas de predicción y las inundaciones costeras, prevención y reducción de su acción destructiva. Informe Técnico. PNUD., Defensa. Civil Provincia de La Habana, Editora del Instituto de Planificación Física. 1998, 200 pp

Ortiz R. (1980) "Huracanes notables" (Inédito), INSMET, ACC, La Habana, 92 pag.

Ortiz R. (1988) "Una observación sobre las trayectorias de los huracanes y perturbaciones ciclónicas" Rev. Cub. Met. Vol.1 , No. 1, 66:68

Pérez Parrado R., Rego J. García O. (1995) Efectos del evento ENOS durante la temporada invernal en Cuba. Boletín SOMETCUBA, (Publicación electrónica), Vol. 1, No.2, La Habana, Cuba.

Pérez Suárez R., Ballester M., González C., Limia M (1998) Los ciclones tropicales de Cuba. Variaciones y tendencias observadas. . Conferencia Científica sobre Ciclones Tropicales "Rodríguez in Memoriam" (Memorias). WMO, SOMETCUBA, INSMET, La Habana, 30:3

Rodríguez M., González C., Valdés J. (1984) "Cronología de los frentes fríos que han afectado a Cuba desde la temporada de 1916-1917 hasta la temporada de 1982-1983" Reporte de Investigación, INSMET, ACC, 15 pag.

## ABSTRACT

*The damages by coastal floods in the Cuban territory and the possible influence of the mean sea level rise by the expected climatic change are described. As more sensitive areas to these effects, were selected those coastal tracts where are more frequently the floods, generated by meteorological events of high danger. They are the coastal tracts corresponding to the Gulf of Batabanó, to Punta María Aguilar-Cabo Cruz and to the Havana Mole. The sea level rise regimes by storm surges, wind set up and wave set up were determined for the selected study areas, taking into account the current and foreseen scenarios. The possible impact on the establishments and economic objects of each area was evaluated. The occurrence of the mean sea level rise in the order of 1m, shows that the sea level rise by meteorological fact hardly suffers variation in its vertical dimensions. The alteration will occur in the horizontal dimension, with displacements inland of the danger fringe in the order of the kilometers in the south coastal areas and an approach of more than a dozen of meters of the reef area in the Havana Mole. The final results will be used as basic information for the plans of mitigation measures for the possible damages and coastal management.*