

LAS INUNDACIONES COSTERAS EN CUBA Y SU REPERCUSIÓN SOCIAL

Por: Ida Mitrani Arenal*



RESUMEN

Se presenta una investigación compleja realizada por especialistas del Instituto de Meteorología y del Instituto de Planificación Física, acerca de las inundaciones costeras en Cuba, las zonas más sensibles y su repercusión social. Se describen los eventos que generan inundaciones por penetraciones del mar y se particulariza en los que afectan a las costas de Cuba. Se valoran otros factores influyentes en el régimen de inundaciones, con énfasis en la variabilidad climática y el cambio climático previsto. Se enumeran las zonas más expuestas a las inundaciones costeras y se muestra la posible variación en las franjas de peligro, de ocurrir el escenario extremo de sobre elevación del nivel del mar anunciado por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC).

A modo de conclusión, se especifican las posibilidades de aplicación de los resultados de la investigación realizada y su dependencia de una armonía entre la comunidad y las entidades involucradas en la prevención y mitigación de daños por desastres naturales; se puntualiza que hay un conocimiento histórico de sucesos que ocurrieron alguna vez y que pudieran repetirse; por ello es recomendable siempre tenerlos presente en las medidas de prevención y mitigación de daños.

Palabras clave: Inundaciones costeras; calentamiento global; cambio climático; prevención de desastres.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas del siglo XX, aparece en la comunidad científica internacional la preocupación por los cambios en el clima global. Las observaciones instrumentales mostraron un aumento de la temperatura planetaria, unido a la ocurrencia de eventos meteorológicos peligrosos, con más frecuencia e intensidad de lo habitual. Además de las oscilaciones naturales que pudiera tener el clima, muchos científicos comenzaron a exponer sus ideas acerca de que las acciones de los propios hombres estaban acelerando esos procesos de cambio en forma nociva para la vida en la Tierra. Se planteó que, debido a la contaminación ambiental provocada por los escapes de gases de las industrias y del transporte automotriz, la composición del aire está sufriendo una alteración que pudiera conllevar al aumento de la temperatura planetaria. Es la presencia de los llamados "gases de invernadero", donde el agente más activo es el gas carbónico (Fig. 1).



Figura 1. Esquema del posible cambio climático y su influencia sobre el nivel medio del mar.

Desde finales del Siglo XIX y hasta 1975 (WMO1, 1996), en la tendencia de la temperatura planetaria se notaba un predominio de anomalías negativas; después esta tendencia se cambió a positiva y así se mantiene hasta el presente. Otro dato de importancia reside en que las anomalías positivas son mayores en latitudes bajas. Se registró un calentamiento de las aguas profundas del océano Atlántico entre 1957 y 1992 (WMO, 1998); las mediciones mostraron un aumento de la temperatura en 0.3° C para los niveles de 1 a 3 Km. de profundidad en los últimos 35 años y se asumió que correspondía a la variabilidad climática natural, porque se supone que a estas profundidades la influencia antrópica llega muy debilitada o simplemente, no llega. De continuar aumentando la temperatura, se espera un significativo aumento del nivel medio del mar por expansión térmica y por fusión de los hielos polares.

Para aunar esfuerzos en el estudio del problema, en 1988 la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) patrocinaron la fundación del Panel Intergubernamental de Expertos para el Cambio Climático (IPCC2). Desde entonces, este grupo ha sido el responsable de evaluar de forma objetiva los cambios globales a partir de la información científica disponible en todo el mundo y de divulgar sus resultados a todas las naciones. Por otra parte, se sugirió a todos los países que realizaran sus propios estudios a escala local.

El estado cubano no ha sido ajeno a esta preocupación internacional. Debido a la naturaleza insular del país, entre los aspectos a los que se presta particular atención se encuentran las afectaciones al medio marino y en particular, al posible incremento del nivel medio del mar, por los cambios climáticos previstos.

En el presente texto, se pretende mostrar algunas consideraciones acerca del efecto del cambio climático en zonas costeras y aguas aledañas al territorio cubano, a partir de investigaciones desarrolladas por especialistas del Instituto de Meteorología (INSMET) y del Instituto de Planificación Física (IPF). A continuación se describe la investigación desarrollada.

DESARROLLO

A) Materiales y métodos

Los materiales y métodos utilizados fueron:

- Datos provenientes de los archivos meteorológicos y de documentos históricos.
 - Encuestas populares.
 - Información físico-geográfica.
 - Modelación numérica.
 - Análisis estadístico de las muestras de eventos.
- Tomando en cuenta que se trata de un problema complejo, las investigaciones se organizaron atendiendo a los siguientes aspectos:
- Identificación de los fenómenos naturales que generan inundaciones costeras.
 - Localización de las zonas más sensibles.
 - Establecimiento de las particularidades de estos eventos en las zonas de interés.
 - Valoración de otros factores influyentes en el régimen de inundaciones.
- Se tomó como criterio de éxito, la repercusión social de los resultados, aplicables en las tareas de prevención y mitigación de daños, como son:
- Los pronósticos de las inundaciones.
 - La elaboración de los planes de contingencias.
 - La educación de la población.
 - El establecimiento de parámetros para un adecuado manejo costero, con utilización racional de recursos y en armonía con el desarrollo sostenible.

B) El problema del cambio global y el nivel medio del mar.

Para entender la cadena de sucesos que conducirá al aumento del nivel medio del mar, se acude a la representación de la circulación atmosférica y oceánica con modelos numéricos, a partir de diferentes condiciones iniciales, más conocidas con el término de escenarios.

Un modelo numérico es un complejo sistema de ecuaciones físico-matemáticas, que se resuelve con programas computarizados y donde las variables son los elementos meteorológicos y oceanográficos: la temperatura, la presión, la humedad, el viento, la velocidad de las corrientes marinas, el oleaje, la salinidad. Se introducen además, las componentes químicas más activas de ambos medios; entre las más importantes se encuentran el gas carbónico y el ozono. La aplicación de estos métodos de investigación, ha permitido establecer el posible enlace entre el incremento de las concentraciones de los gases de invernadero y el aumento de la temperatura global; esto conduciría a la expansión térmica del océano, a una alteración en el balance de lluvia y evaporación y a la fusión de los hielos polares, lo cual ocasionaría un aumento en el nivel medio del mar a escala planetaria.

Las evaluaciones de IPCC, se han basado en los resultados de los modelos numéricos y de las observaciones instrumentales, reportados por diferentes naciones. Ellas muestran amplios niveles de incertidumbre, pero siempre hacia el incremento de la temperatura planetaria y del nivel medio del mar. En el reporte de IPCC (1996), aparece la primera evaluación global, hecha en 1995 con año base en 1990 y hacia el 2100; se plantea un incremento de la temperatura entre 1.5° C y 3.0° C, con un aumento del nivel medio del mar entre los 0.15 y los 0.95 m. La evaluación más reciente, hecha en el 2001 y publicada por IPCC (2002) para el mismo periodo, se muestra un intervalo térmico de 1.4°C a 5.8°C, con 0.15 a 0.85 m para el nivel medio del mar. Por otra parte, cada nación realizó sus propios cálculos de incremento del nivel medio del mar. En Cuba, esta tarea ha correspondido a especialistas del IDO. Se determinó la tendencia del nivel del mar en las costas cubanas, a partir de registros de la red nacional de mareógrafos, realizados

desde 1966. La primera estima, obtenida por Blásquez y Rodríguez (1991) fue de 0.29 m hacia el 2100 y queda dentro del intervalo indicado por IPCC. La segunda evaluación, realizada en el 20043, indica un incremento de 01.m y este valor se sitúa por debajo del incremento mínimo dado por IPCC.

Aunque las evaluaciones para el territorio nacional son alentadoras, no debe descartarse la ocurrencia de escenarios extremos. Téngase en cuenta que estas se basan en las tendencias del nivel medio del mar para las últimas tres décadas y no hay ninguna garantía de que se mantengan en ese orden para los próximos cien años. 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 más diversos grados de peligro. Alrededor de 42,000 personas viven por debajo de la cota de 1 metro (PNUD 1998). De ocurrir el escenario máximo de ascenso de nivel del mar previsto por IPCC, estas poblaciones quedarían bajo el mar; las zonas costeras serían muy afectadas con un gran retroceso de sus límites tierra adentro. Por tales motivos, a partir de las investigaciones realizadas en el INSMET, se recomienda basar las medidas de mitigación en el criterio de una posible sobre elevación del orden de un metro, acorde con los escenarios extremos de IPCC para los próximos cien años.

No se cuenta en Cuba con datos de mediciones instrumentales de las alteraciones extremas del nivel del mar por causas meteorológicas en los puntos de inundación. Pero fue posible simular con modelos numéricos el alcance que pudieran tener las penetraciones en tierra de ocurrir los escenarios previstos.

C) Identificación de los fenómenos naturales que generan inundaciones costeras en Cuba.

Hasta el presente, todos los casos de inundación por penetraciones del mar ocurridos en las costas de Cuba de que se tiene noticia, y esto es desde los tiempos de la Conquista Española, se han identificado con eventos meteorológicos. No existen testimonios de inundaciones costeras por tsunamis en las costas cubanas. Los eventos meteorológicos que producen las inundaciones costeras más significativas en Cuba, tanto por su frecuencia como por su intensidad son los ciclones tropicales, los frentes fríos y "sures"⁴, asociados a las bajas extratropicales que se desplazan por el Golfo de México. La sobre elevación del nivel del mar que acompaña a la inundación, puede ocurrir por rompiente de oleaje, arrastre del viento y marea de huracán⁵. Aunque estos tres tipos de sobre elevación ocurren de forma combinada (el primero con el segundo o los tres juntos), predomina uno u otro en dependencia de la configuración costera y es importante su identificación para lograr elegir con acierto el modelo numérico que se pretende aplicar par la simulación y pronóstico de la inundación.

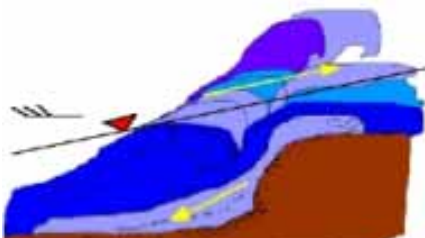


Figura 2. Esquema de la sobre elevación de nivel medio del mar por rompiente de oleaje.

La acumulación de agua en la línea costera por rompiente de oleaje (Fig. 2), ocurre cuando se rompe el equilibrio entre el movimiento superficial y el de retorno sobre el fondo marino. La masa de agua, al romper la ola, se vuelca sobre la costa; en condiciones habituales, se produce un efecto de cascada por la pendiente del fondo y las aguas regresan al mar, pero si vientos muy intensos generaron olas de grandes dimensiones, la velocidad en superficie es mucho mayor y el agua penetra tierra adentro; el proceso continúa hasta que el oleaje se amortigua. Puede ocurrir tanto por mar de viento como por mar de leva⁶. Este tipo de inundación es favorecida por las costas acantiladas, de pendientes muy abruptas; la situación se agrava en

presencia de obstáculos que deforman la dinámica de las aguas, con frecuencia creados por la mano del hombre (CEM 2001).

Para las sobre elevaciones por arrastre del viento (Fig.3), son favorables las costas de pendiente muy suave acompañadas por una amplia plataforma de fondo casi plano. La acumulación de agua en la costa se produce cuando la velocidad del movimiento generado por el viento en superficie es tal, que se rompe el equilibrio habitual de desagüe por la corriente del fondo. El avance de la masa de agua se prolonga tierra adentro y sólo comienza a amortiguarse cuando disminuye la velocidad del viento. (CEM 2001)..

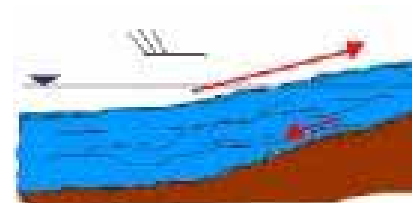


Figura 3 Esquema de la sobre elevación del nivel medio del mar por arrastre del viento.

La marea de tormenta (Fig.4) es una deformación de la superficie marina, que acompaña a las circulaciones ciclónicas. Es una onda larga generada al paso de la tormenta, que provoca una elevación anormal del

nivel del mar sobre la marea astronómica, y es causada por una combinación de la convergencia de los fuertes vientos con el efecto del gradiente de la presión atmosférica. Al desplazarse hacia la costa, la altura de la marea de tormenta se incrementa notablemente al sufrir el efecto del fondo marino⁷. A la vez que la marea de tormenta, ocurren sobre elevaciones por wind setup y wave setup, es decir, por la acción de las olas y del arrastre del viento. La resultante final es una sobre elevación de varios metros que puede generar peligrosas inundaciones costeras por penetración del mar (CEM 2001).



Figura 4 Esquema de una onda de marea de tormenta.

Entre las mareas de huracán más notables ocurridas en el planeta (Pérez Suárez 1998; Pérez Parrado 2002) se recuerdan las ocurridas en:

- El Golfo de Bengala, con más de 12 m, con fechas: 7/octubre/1737 y 1/noviembre/1876.
- Palm Cristi, Mississippi, el 17/agosto de 1969, producida por el huracán "Camille", con 7.2 m.
- Santa Cruz del Sur, Cuba, el 9/noviembre de 1932, con más de 6 m.
- El Golfo de Batabanó, Cuba, del 17 al 18 de octubre de 1944, con más de 6 m.

D) Las zonas más sensibles Las zonas costeras más expuestas a los daños por cambio climático, serían las que con cierta regularidad sufren inundaciones costeras por penetraciones del mar y esto ocurre por dos factores fundamentales:

- a) Frecuencia de afectación por eventos meteorológicos que generan fuertes vientos.
- b) Condiciones físico -geográficas de la zona costera.

Tomando en cuenta los criterios antes expuestos, en el marco de un proyecto desarrollado por científicos del INSMET y el IPF (PNUD, 19988, Mitrani et al 2000), se determinó cuales son las zonas más sensibles al cambio climático previsto (Fig.5) en las costas de Cuba:

I. La costa suroccidental, desde el oeste de la Ensenada de Cortés hasta Bahía de Cochinos, conteniendo al Golfo de Batabanó como el tramo de mayor afectación. Predominan las inundaciones por marea de tormenta y arrastre del viento, en presencia de ciclones tropicales y sures.

II. La costa sur central, desde la Punta María Aguilar a Cabo Cruz. Contiene los Golfos de Ana María y Guacanayabo. Predominan las inundaciones por surgencia ciclónica.

III. El litoral norte de la Ciudad de la Habana. Predominan las inundaciones por rompiente de oleaje en presencia de frentes fríos y ciclones tropicales.



Figura 5 . Las zonas más sensibles

E) El régimen de los eventos meteorológicos.

Es posible la existencia de un enlace entre las penetraciones del mar y la ocurrencia de distintos eventos relacionados con la variabilidad climática a gran escala. Si la actividad de los ciclones tropicales se relaciona con el comportamiento de la QBO y el ENOS9 (Pérez Suárez et al. 1998, Pérez Parrado et al 2004), el régimen de inundaciones costeras generadas por ellos también debe ser influenciado por sus distintas fases. Las fases negativa de QBO (flujo del Este) y positiva de ENOS (calentamiento anormal en el Pacífico) inhiben la actividad ciclónica en el Atlántico, por lo cual la probabilidad de ocurrencia de inundaciones costeras al paso de huracanes disminuye, mientras que con QBO positiva (flujo del Oeste) y ENOS neutral o presencia de La Niña, en el Atlántico y mares intra-americanos la actividad ciclónica se incrementa, favorecida por los patrones de circulación atmosférica.

Sin embargo, en la propia fase positiva de ENOS, se destaca una correspondencia entre el aumento de intensidad registrado para este fenómeno en las dos últimas décadas del Siglo XX y un incremento en la frecuencia e intensidad de las penetraciones del mar en la temporada invernal. En presencia del ENOS, las bajas extratropicales se desplazan hacia latitudes menores y se acerca el área de vientos máximos al territorio nacional. En las cercanías de las costas cubanas se intensifica la acción del viento y de los oleajes peligrosos, con aumento significativo de 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 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, fueron notables, con oleajes de más de 6 m, 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 de gran peligrosidad en ambas costas de la región occidental, en invierno.

La situación con los ciclones tropicales presenta una mayor incertidumbre. Con el nivel de información de que se dispone en la actualidad, no es posible prever 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 el Atlántico Norte. Una disminución de la actividad ciclónica en el Mar Caribe (Pérez Suárez et al 1998) con la tendencia de recurva en longitudes más orientales, alejó a los huracanes de las costas de Cuba en la segunda mitad del siglo XX. Resulta de interés que entre 1910 y 1944 (35 años) ocurrieron 9 de los 10 huracanes más intensos que afectaron al país en el Siglo XX y de forma similar entre 1844 y 1888 ocurrieron 5 de los 6 más intensos del Siglo XIX; sin embargo, los años 20 del Siglo XIX y el periodo entre 1973 y 1995 sobresalen por su mínima actividad sobre el territorio nacional (Pérez Suárez et al. 1998). Ya en los comienzos del siglo XXI, la situación es distinta; la actividad ciclónica está en alza y, con ella, aumentan las inundaciones por ciclones tropicales, que además son más intensas y ocurren en mayor cantidad de zonas del territorio nacional. A modo de ilustración, se pueden mencionar los huracanes más notables que han afectado a Cuba en los últimos 100 años y las velocidades de vientos máximos (V_{max}) registradas en kilómetros por hora (Km/h):

- El de 1926, con $V_{max} = 230$ Km/h registrada a su paso por La Habana. (Provincias Habaneras) 10.
- El de 1932, con $V_{max} = 252$ Km/h registrada a su paso por Santa Cruz del Sur (Provincia de Camagüey).
- El de 1944, con $V_{max} = 264$ Km/h registrada a su paso por Cabañas (Provincias Habaneras).
- El de 1948, con $V_{max} = 248$ Km/h registrada a su paso por La Habana. (Provincias Habaneras)
- El Michelle del 2001, con $V_{max} = 230$ Km/h registrada a su paso por Cayo Largo del Sur. (Provincias Centrales)
- El Dennis del 2005, con $V_{max} = 238$ Km/h registrada a su paso por Cabo Cruz (Provincias Orientales; sur de Camagüey) .

Es evidente que el comportamiento de las inundaciones costeras en el territorio cubano responde a las tendencias antes expuestas. Las dos penetraciones del mar por marea de tormenta más intensas del Siglo XX, ocurrieron en 1932 y 1944, así como los más intensos oleajes del tramo costero correspondiente a la Ciudad de La Habana, ocurridos entre 1919 y 1944, y se corresponden con tres huracanes que generaron olas de más de 7 m de altura significativa. (Mitrani et al. 2000).

En el Siglo XX1, el huracán Wilma , que afectó a Cuba entre el 20 y el 24 de octubre del 2005, generó una significativa inundación tanto por el norte como por el sur de las provincias habaneras; en algunos puntos de ambas costas, se estimó que la sobre elevación del nivel del mar estuvo en el entorno de los dos metros.

F) Las inundaciones en el escenario actual y el previsto.

En la región suroccidental de Cuba, es la región del Golfo de Batabanó entre el cayo Diego Pérez (22°03' N y 81°33'W) y Cabo Francés, la más afectada por inundaciones en todo el territorio nacional. El tramo costero presenta una longitud de 250 Km, donde se encuentran 8 asentamientos poblacionales por debajo de la cota de 1m. Sus características de recinto casi cerrado, fondo muy regular y poca profundidad (ICH, 1989), son muy favorables a las inundaciones por arrastre del viento y marea de tormenta. Las primeras, producidas por los sures, afectan al área de estudio de una a cinco veces al año con sobre elevaciones del nivel del mar de varias decenas de centímetros y ocasionalmente, de más de un metro. Las segundas, aunque menos frecuentes, se han generado con sobre elevaciones de varios metros. Por ejemplo, el ciclón de 1944, con velocidad máxima de más de 70 m/s, avanzó por el Golfo de Batabanó, penetró por Playa Majana y barrió varios asentamientos costeros situados a la derecha de su trayectoria. En Playa Guanímar el mar penetró hasta 12 Km. tierra adentro; el nivel medio del mar se elevó hasta 6 m (Ortiz, 1980).

En la costa suroccidental, los resultados mostraron que las diferencias en la dimensión vertical de la sobre elevación del nivel en el escenario actual y los previstos, no son significativas. En cuanto a las dimensiones horizontales, la mayor alteración se produciría en el alcance horizontal del fenómeno, de ocurrir el escenario extremo de 1 m. Existe en esta área una franja costera de 3 a 5 Km de ancho, que se encuentra por debajo de la cota de 1 m, seguida por otra franja de de 2 a 5 Km. por debajo de 2.5 m. Esto demuestra que el nivel del mar y la zona de peligro por inundaciones, se desplazarían varios Kilómetros tierra adentro, donde la nueva cota "cero" (la línea costera) sería la actual de 1m (Mitrani et al 2000, Mitrani et al 2000a).

El tramo comprendido entre Cabo Cruz y Punta María Aguilar, que contiene al Golfo de Guacanayabo y al Golfo de Ana María, se extiende por unos 353 Km y constituye la ciénaga litoral más extensa de Cuba (ICH,1989). Las inundaciones ocurren por las mismas causas que en el Golfo de Batabanó, pero con menos frecuencia. Las condiciones físico-geográficas y meteorológicas favorecen las inundaciones por arrastre del viento y por surgencia ciclónica. La zona se inunda al menos dos veces al año con niveles de agua de varias decenas de centímetros, evacuación de la población y daños en su estructura socioeconómica. Al paso de huracanes, el agua puede un metro y más. El peligro a que está expuesta el área, es alto y en el caso especial del asentamiento de Santa Cruz del Sur, se evalúa de muy alto; la inundación ocurrida allí el 9 de noviembre de 1932, ha sido considerada como el mayor desastre natural en la historia de la nación cubana. Se generó una sobre elevación de más de seis metros, el agua penetró hasta 20 Km y un pueblo de 3628 habitantes, fue borrado de la faz de la tierra. Se registraron más de 3500 muertes (Linares, 1976). Es importante destacar que el escenario máximo pronosticado por el IPCC no tiene gran repercusión en lo referente a la altura de la marea de tormenta por ciclones tropicales, ya que solamente se modifican los valores estimados con respecto al escenario actual entre un 3 –5 %. Sin embargo, en el plano horizontal el problema es más grave porque de ocurrir el escenario extremo, la nueva cota cero se desplazaría al menos entre 0.5 y 1 Km tierra adentro. En algunos puntos penetraría aún más (Mitrani et al 2000, Pérez Parrado et al. 2002).

Con respecto al tramo del Malecón Habanero, este se extiende unos 5.6 Km, desde la ensenada de La Chorrera, en la desembocadura del río Almendares, hasta la bahía de La Habana. Un muro de hormigón protege en alguna medida a la Ciudad de La Habana de los embates del oleaje. Está bordeado en su interior por una ancha avenida acompañada en el lado opuesto por edificios altos y medianos, monumentos y parques. La línea costera es rocosa y acantilada. En algunos tramos se observa un mínimo bajo costero arenoso de menos de 10 m de profundidad y menos de un cable de ancho (menos de 185 m) Existen tres niveles de terrazas submarinas, casi paralelas a la costa. Después de la tercera, las profundidades aumentan rápidamente, de manera que la profundidad de 200 m se localiza a menos de 2 Km. De la línea costera (ICH, 1989). Las particularidades de ser una franja acantilada, con brucas pendientes de fondo y estrecha plataforma insular, favorece que la zona de rompiente se encuentre muy cerca de la línea costera. También la intervención del hombre en la urbanización ha estropeado la dinámica de las aguas. Además, la orientación de gran parte de la costa hacia el Golfo de México, abierta a los intensos vientos del noroeste que acompañan a los frentes fríos, incide en la alta frecuencia de inundaciones por rompiente de oleaje.

De los experimentos realizados (Mitrani et al 2000), se pudo apreciar que los valores de altura de ola significativa y altura de rompiente no se diferencian mucho. Los cálculos muestran algunas diferencias en el

desplazamiento horizontal de la zona de rompiente, con 11 metros para el caso extremo. Esto indica que aumentaría el peligro en el Malecón Habanero, pues con alturas de ola que en el escenario actual generan una inundación ligera o moderada, se podrían alcanzar inundaciones más intensas y con mayores daños. Con alturas entre 4 y 5 metros ya se pudieran esperar inundaciones severas.

CONCLUSIONES

- Las zonas más sensibles al posible aumento del nivel medio del mar por cambio climático son aquellas que con mayor frecuencia sufren inundaciones por penetraciones del mar, correspondientes a los tramos costeros que incluyen al Golfo de Batabanó, al Malecón Habanero y desde Cabo Cruz a Punta María Aguilar con los Golfos de Ana María y Guacanayabo. Los asentamientos poblacionales más expuestos son los localizados en las cotas por debajo de 1m, del Golfo de Batabanó y del municipio de Santa Cruz del Sur. La posible ocurrencia del escenario extremo planteado por IPCC (1996), de un aumento del nivel medio del mar en casi 1 m, traería graves consecuencias para el perímetro costero cubano, como son:

- 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 de más 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 ya darían penetraciones del mar del tipo de "severas".

-La sobre elevación del nivel del mar por arrastre del viento en presencia de "sures" 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 actual de 1 m, las aguas penetrarían de 1 a 3 Km. más tierra adentro.

-La zona de peligro de inundaciones por surgencia ciclónica en los tramos costeros del Golfo de Batabanó y Cabo Cruz - Punta María Aguilar se desplazaría considerablemente hacia el interior del país, entre las actuales cotas de 1 y 2.5 m, teniendo en cuenta que la curva de nivel de 2.5 m se encuentra a 3 - 7 Km. de distancia del cero actual en el primer caso y a más de 1 Km. en el segundo.

- El régimen de inundaciones costeras varía a largo plazo en lo referente a causas y frecuencia de ocurrencia. En unos periodos las inundaciones dependen más de los ciclones tropicales y entonces son menos frecuentes pero de mayor intensidad, mientras que en otros la dependencia del comportamiento de los sistemas frontales 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.

BIBLIOGRAFÍA

- 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.
 - CEM (2001) "Coastal Engineering Manual", Part II, USACE
WES CHI web site: ceprofs.tamu.edu
 - ICH (1989) "Derrotero de las costas de Cuba" Editora Científico -Técnica, La Habana
 - IPCC (1996) Segunda Evaluación Cambio Climático - 1995. Informe del grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio Climático.
OMM, UNEP, PNUMA, 71pág.
 - IPCC (2002) Climate Change 2001. Synthesis Report. Contribution of working Groups I, II and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. OMM, UNEP, 387 pág.
 - Juantorena Y., 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, Vol. 6, No. 2 Publicación Electrónica; <http://www.met.inf.cu>
 - Linares E. (1976) "El huracán de Camaguey, de 1932" Crónica, INSMET- ACC, 32 pág.
 - Mitrani, I., R. Pérez, O. García, I. Salas, Y. Juantorena, M. Ballester y P. Beauballet, (2000): "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". Revista Cubana de Meteorología, Vol.7, No.1. 45:50
 - Mitrani I.; I. Salas; M. Ballester; Y. Juantorena (2000a) "Penetraciones del mar en la zona costera del Golfo de Batabanó por afectación de sures, con escenario actual y previstos por posible incremento del nivel medio del mar" Boletín SOMETCUBA, Vol. 6, No. 1 Publicación Electrónica; <http://www.met.inf.cu>
 - Pérez Parrado R., Salas I., Dole J, (2002) "Monografía sobre los modelos para pronosticar la surgencia provocada por los ciclones tropicales" (Inédito) Informe de Proyecto Científico, Biblioteca del INSMET, La Habana, 155 pág.
 - 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., M. Ballester, C. González, M. Limia (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
 - PNUD (1998) Desarrollo de las técnicas de predicción y las inundaciones costeras, prevención y reducción de su acción destructiva. Informe Técnico. PNUD-Defensa. Civil de la Ciudad de La Habana, Editora del Instituto de Planificación Física. 1998, 200 pp
 - Ortiz R. (1980) "Huracanes notables" (Inédito), INSMET, ACC, La Habana, 92 pag.
 - WMO (1996) "WMO statement on the status on the Global Climate in 1995" WMO No. 838, Geneva, Switzerland, 11 Pág.
 - WMO (1998) "The ocean and the climate" World Climate News No.12, Geneva, Switzerland, 12 pág.
- 1 WMO – World Meteorological Organization, nombre en Inglés de la OMM
 - 2 La sigla IPCC se corresponde con la denominación en inglés: Intergovernmental Panel on Climate Change.
 - 3 Comunicación personal del Ing. Marcelino Hernández, Investigador auxiliar del Instituto de Oceanología.
 - 4 Vientos de región sur que preceden a los frentes fríos.
 - 5 Estos fenómenos son más conocidos por su nomenclatura en inglés: wave setup, wind set up y storm surge.
 - 6 Se conoce por mar de leva al oleaje que no ha sido generado por el viento presente a escala local Pudo generarse en otra área y después trasladarse o en la misma área, pero por vientos muy intensos que ya dejaron de soplar.
 - 7 El efecto de fondo consiste en que la onda, al perder velocidad por la fricción del fondo marino, disminuye su longitud pero como presenta la tendencia a conservar su contenido de energía mecánica, aparece un aumento de la altura de la onda. Este efecto también se manifiesta en el caso de la rompiente de las olas.
 - 8 Este proyecto se realizó con financiamiento del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)
 - 9 QBO Es la oscilación de los vientos de aire superior en latitudes tropicales, que cada dos años aproximadamente cambian de orientación, de Este a Oeste y viceversa. ENOS- El Niño/Oscilación del Sur -Se refiere al calentamiento anormal que comienza en las aguas del Pacífico Ecuatorial, cada cierto tiempo se dispara y le da la vuelta al planeta. Se alterna con periodos neutros, seguidos por el enfriamiento anormal conocido como La Niña 10 Se estima que este huracán fue más intenso que el de 1944, pero no se cuenta con el verdadero valor de la Velocidad Viento Máximo a su paso por La Habana, porque el equipo de mediciones se rompió.

*Instituto de Meteorología (INSMET) Filiación: Instituto de Meteorología (INSMET), Apdo. 17032, Loma de Casablanca, Regla, CP. 11700, La Habana, CUBA Teléfono: (537) 867 07 11 Fax: (537) 867 07 10 e-mail: imitrani@met.inf.cu