

Aplicación del modelo dinámico de alta resolución «MONSAC 3» durante las temporadas ciclónicas de los años 2001 y 2002. Archipiélago de los Canarreos.

Autores: : ISIDRO SALAS GARCÍA*, RAFAEL PÉREZ PARRADO*, SANDRA SAMPER TRIMIÑO*, JESÚS DOLE CHÁVEZ, ADA L. PÉREZ HERNÁNDEZ**, CARLOS RODRÍGUEZ OTERO** y BORIS PANTALEÓN OROZCO**

*Centro de Automatización, Instituto de Meteorología. **Instituto de Planificación Física. Ministerio de Economía y Planificación.

Resumen.

En este trabajo se da inicio a las investigaciones que se realizan en el Proyecto "Impacto de la surgencia en el archipiélago cubano, considerando los cambios climáticos", perteneciente al Programa Nacional de Ciencia y Técnica de los Cambios Globales en Cuba. El fenómeno más dañino asociado a un huracán es la surgencia, siendo ella la causante del mayor desastre natural ocurrido en Cuba el 9 de noviembre de 1932 en el Asentamiento Costero de Santa Cruz del Sur, provincia de Camagüey. En el estudio se analizan las características físico-geográficas del archipiélago de los Canarreos y la sobre elevación del nivel medio del mar provocado por la surgencia asociada a los huracanes Michelle de noviembre del 2001 e Isidore y Lili de septiembre y octubre del 2002 respectivamente, a su paso por la región de estudio. Para la investigación se utilizaron las bases de datos de ciclones tropicales pertenecientes al Instituto de Meteorología, y el Modelo Dinámico de Alta Resolución para el cálculo de la surgencia "MONSAC3", este último confeccionado para ser aplicado en las condiciones específicas de la cayería insular cubana. Se concluye que la región oceánica de los Canarreos puede ser valorada como una zona de Peligro Muy Alto al paso de los ciclones tropicales, pudiendo provocar surgencias devastadoras. Se debe prestar especial atención a los resultados alcanzados y a las investigaciones que se obtengan del Proyecto, en lo referente al Planeamiento y Ordenamiento Territorial que se planifique en la región de estudio.

Introducción.

Con el aumento y la diversificación del turismo se ha iniciado un amplio e impetuoso desarrollo de la zona costera y cayería insular del archipiélago cubano, el cual posee más de 5 700 km. de costas con cientos de kilómetros de playas naturales, muchas de las cuales están en la región oceánica de «Los Canarreos».

Por su posición geográfica Cuba sufre periódicamente el impacto de los ciclones tropicales (CT), estos organismos producen con frecuencia pérdidas de vidas y cuantiosos daños materiales. Las estadísticas demuestran que las inundaciones por surgencia asociada a los ciclones tropicales en las costas bajas y los cayos de la plataforma insular son un fenómeno relativamente frecuente y de gran peligro. Así podemos citar como ejemplo de estas, las producidas por algunos ciclones tropicales del siglo XX que afectaron el archipiélago cubano: huracán de octubre de 1926, huracán del 9 de noviembre de 1932, huracán de septiembre de 1933, huracán de octubre de 1944 y el huracán Kate de noviembre de 1985.

En fechas más recientes el huracán Lili de octubre de 1996 ocasionó grandes afectaciones en la duna de arena de Cayo Largo del Sur, la cual es vital para su desarrollo turístico. Posteriormente el huracán Irene de octubre de 1999 impactó el sur de la provincia La Habana, destruyendo el 18 % de las viviendas en el asentamiento costero de Playa Rosario y produjo inundaciones en Playa Caimito,

arrojando más de 3 000 m³ de arena sobre dicho asentamiento. En noviembre del 2001 el huracán Michelle produjo una surgencia que afectó severamente el archipiélago de Los Canarreos, especialmente Cayo Largo del sur, y parte de la costa sur de la isla de Cuba, desde Bahía de Cochinos hasta el Golfo de Ana María.

Por último durante el año 2002 se tuvieron afectaciones por surgencia al paso de los huracanes Isidore en septiembre y Lili en octubre con solo diez días de diferencia y zonas geográficas de impacto muy próximas una de la otra. La sobre elevación del nivel medio del mar provocada por la surgencia de estos organismos afectó el archipiélago de los Canarreos y la costa sur de la provincia de Pinar del Río, en su extremo más occidental.

Objetivos.

En Cuba se ha trabajado arduamente en esta temática y se han desarrollado proyectos para la obtención de Modelos Físico – Matemáticos que permitan el cálculo de la altura de la surgencia, confeccionándose Mapas de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo sobre este fenómeno para Cuba y la Isla de la Juventud (Pérez Parrado y García, 1995, Pérez Parrado et. al., 1998 y Salas et. al., 1999).

No obstante los avances logrados, esta problemática no ha sido objeto de estudio en las condiciones particulares de las cayerías norte y sur del archipiélago cubano, donde por sus dimensiones, peque-

ña altura sobre el nivel medio del mar, poca pendiente marina y constituir el frente exterior de las costas cubanas, solo protegidas en determinados sectores por barreras de arrecifes coralinos, se encuentran sometidos a la acción de estos fenómenos con una mayor intensidad.

Resulta evidente la importancia que tienen estos estudios en la cayería insular, donde se está desarrollando desde la década de los años 90 del siglo XX el turismo como modalidad de desarrollo sostenible. En esta región oceánica se están gestando infraestructuras hoteleras, viales, aeropuertos, entre otros, que apuntan al desarrollo de una actividad de potencialidades estimadas en capacidades superiores a las 50 000 habitaciones, con más de 100 000 turistas integrados en un total de 22 polos turísticos. A este número de turistas, que ya pernoctan en las cayerías, debe adicionarse la existencia de un personal que en magnitud similar es encargado de satisfacer los servicios que requiere este tipo de actividad (IPF, 1997).

En este estudio se analizan la surgencias asociadas a los huracanes Michelle de noviembre del 2001 e Isidore y Lili de septiembre y octubre del 2002 respectivamente, a su paso por el archipiélago de los Canarreos y especialmente en Cayo Largo del Sur. La presente investigación está enmarcada en el Proyecto «Impacto de la surgencia en el archipiélago cubano, considerando los cambios climáticos», el cual se desarrolla como parte del Programa Nacional de Ciencia y Técnica de los Cambios Globales en Cuba. Este trabajo constituye uno de los primeros pasos que se dan para alcanzar los objetivos fundamentales que se persiguen en dicho Proyecto:

- ▷ Perfeccionar los Modelos de Predicción de la Surgencia
- ▷ Confección de los Mapas de Peligro y Vulnerabilidad
- ▷ Evaluación del impacto de los cambios climáticos sobre el sistema socioeconómico de los cayos, planteando la estrategia a seguir para el ordenamiento territorial y la toma de medidas de adaptación en la cayería insular cubana

Materiales y métodos.

Características físico - geográficas del archipiélago de los Canarreos.

El archipiélago de los Canarreos, del cual forma parte Cayo Largo del Sur, está localizado al sudeste de la Isla de Cuba; limitando al Norte con el Golfo de Batabanó y al Sudeste y Oeste con el Mar Caribe. El Cayo dista 180 km. de la Ciudad de La Habana, 170 km. de Varadero, 110 km. de Cienfuegos y 60 km. de Playa Girón.

Dicha región abarca un territorio emergido de más de 2 300 km², conformado por la Isla de la Juventud y las pequeñas islas del grupo insular nombrado Jardines y Jardinillos, que se extienden aproximadamente 155 km, medidos entre Punta del Este (extremo oriental de la Isla de la Juventud) y Cayo Guano del Este.

Las coordenadas geográficas lo sitúan entre los 21° 30' y los 21° 40' de latitud norte y los 81° 34' y los 82° 28' de longitud oeste. Cayo Matías, Hicacos, Cam-



Figura 1. Archipiélago de los Canarreos, del cual forma parte Cayo Largo del Sur.

Fuente: Imagen de alta resolución del Satélite TERRA, Sensor MODIS. Fuente: Página Web MODIS.

peñan un papel fundamental el tiempo sobre la plataforma, ángulo de incidencia entre la trayectoria del ciclón y la costa, viento máximo, radio y presión central, además influye la batimetría, la topografía del terreno y la configuración de la costa, las construcciones y edificaciones en el litoral, la vegetación existente, etc. Las características espaciales del fondo oceánico es en particular el factor más importante en la generación de la surgencia, las mayores se originan en regiones con plataformas amplias y poco profundas, contribuyendo a ello la morfología de la costa. En este último aspecto desempeña un papel muy importante el tipo de costa y su pendiente tierra adentro.

La respuesta del océano a la presencia de un ciclón tropical es diferente en aguas profundas y en aguas poco profundas. En aguas profundas, lejos de la costa, la tensión del viento sobre la superficie oceánica crea un amontonamiento rotatorio de agua llamado vórtice. La elevación del nivel del agua es pequeña, aproximadamente equivalente a la elevación hidrostática en respuesta al centro de bajas presiones, lo cual es conocido como efecto de barómetro invertido, y en menor cuantía al efecto del término de Coriolis. Los efectos dinámicos se vuelven predominantes a medida que el CT se acerca a la costa y la conservación de la vorticidad potencial del vórtice requiere del desarrollo de una marcada divergencia. Los canales y la reflexión de la costa también contribuyen substancialmente a amplificar la surgencia (Jelesnianski, 1993).

En aguas poco profundas la onda gravitacional comienza a sentir el efecto del fondo oceánico amplificándose y alcanza su máximo absoluto sobre la costa, a la derecha del punto de llegada del ciclón tropical a tierra y muy próximo al radio de vientos máximos.

Otro aspecto importante a considerar en el estudio de esta cayería lo constituye el conocimiento del peligro por penetración del mar debido a fenómenos meteorológicos severos, tales como: ciclones tropicales, frentes fríos y vientos de región sur, los cuales con cierta periodicidad afectan esta región oceánica. De estos fenómenos meteorológicos los CT son los que impactan con mayor severidad con la surgencia asociada a ellos, siendo su efecto el más destructivo, por lo que resulta imprescindible conocer a profundidad este fenómeno y pronosticar su comportamiento.

Por todo ello resulta necesario efectuar estudios particulares como el que aquí se presenta para valorar la posible incidencia en Cayo Largo del Sur de estos parámetros sobre su litoral, teniendo en cuenta que se encuentra situado en el sector costero occidental meridional del archipiélago cubano, el cual se ve afectado periódicamente por el paso de los CT.

Para el análisis de los CT se utilizó el Sistema de Información Estadístico del Instituto de Meteorología "SIE" (García y Beaubalet, 1994); el cual cubre el período que va desde 1881 al año 1991.

Para los cálculos de la altura de la surgencia, al paso de los huracanes Michelle, Isidore y Lili, se utilizó el Modelo Dinámico de Alta Resolución "MONSAC3" diseñado por Pérez Parrado et. al., 2002. La batimetría fue tomada de las cartas topográficas de escala 1: 10 000, confeccionadas por el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía en el año 1990.

Resultados.

A partir del "SIE" y trazando un radio de un grado con centro en el extremo oeste de Cayo Largo del sur, se tuvo que este ha sido afectado por 37 CT (tabla 1).

Tabla 1. Cayo Largo del Sur ha sido afectado por 37 CT en el período comprendido entre los años 1881 y 1991. Fuente: «SIE», (García y Beaubalet, 1994)

Mes	Cantidad de CT
Junio	1
Julio	2
Agosto	8
Septiembre	10
Octubre	13
Noviembre	3
Total	37

La información fue actualizada hasta el año 2002 con los CT Lili de 1996, Irene de 1999, Michelle de 2001 e Isidore y Lili del 2002, los cuales afectaron la región de estudio. Todo ello hace un total de afectación de 42 CT en la región de estudio, con una probabilidad de afectación de un organismo cada tres años.

Las trayectorias de los organismos analizados aparecen en las figuras 3, 4 y 5 respectivamente.

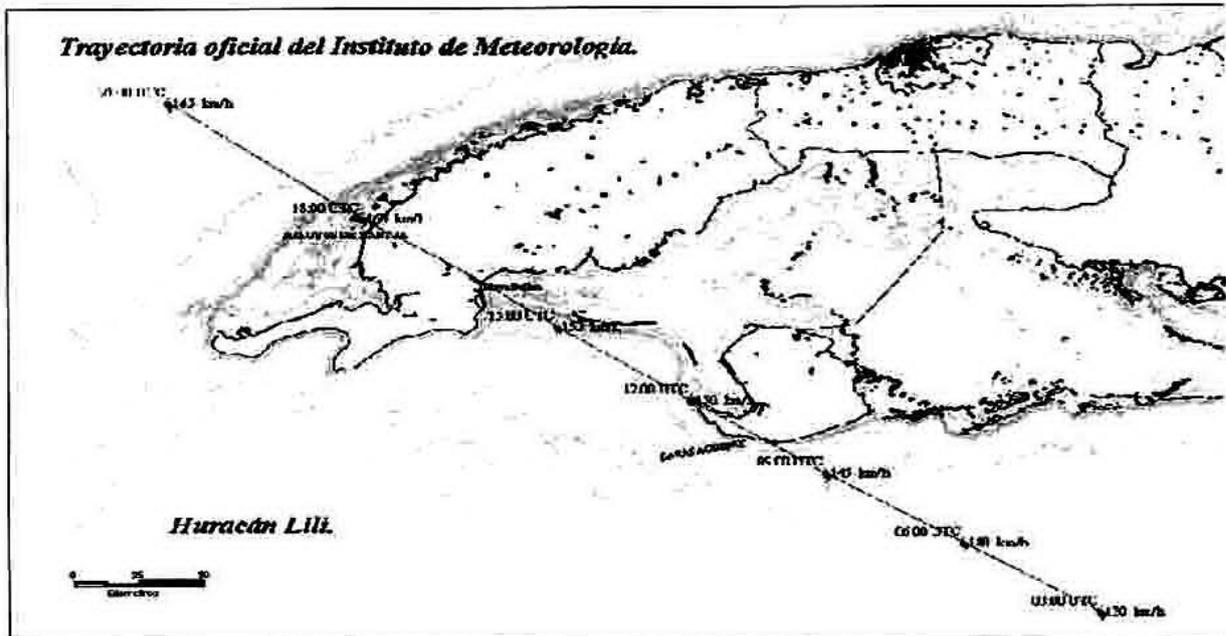


Figura 5. Trayectoria del huracán Lili de octubre del 2002 a su paso por el Archipiélago Cubano. Fuente: Centro de Pronósticos del Instituto de Meteorología.

La surgencia originada por "Michelle" causó severos daños en el archipiélago de los Canarreos y parte de la costa sur de la Isla de Cuba, la Modelación Matemática de este fenómeno puede verse en la figura 6, donde se aprecian afectaciones en toda la región costera hacia el Este de la zona de impacto del huracán en la Isla de Cuba con valores superiores a los 3,0 m. en Bahía de Cochinos, pasando por Cienfuegos con una surgencia de 1,3 m. hasta el Golfo de Ana María con una altura de 0,5 m.

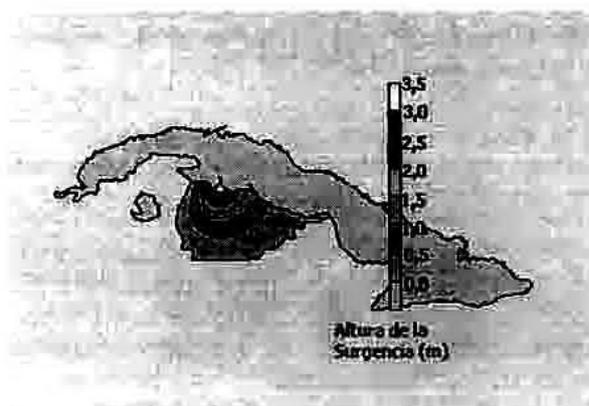


Figura 6. Modelación Matemática («MONSAC3») de la surgencia al impactar «Michelle» la costa sur de la isla de Cuba. Día 4 de noviembre del 2001.

Los valores alcanzados por la surgencia, superiores a los 3,0 m., a la derecha de la trayectoria de "Michelle" y próximo a la zona del litoral por donde penetró en tierra en la costa sur de la isla de Cuba, se deben a las características físico-geográficas de la zona afectada, las cuales son propicias para que la onda de la surgencia se amplifique e impacte bruscamente contra el litoral.

De acuerdo con observaciones realizadas, después del paso de "Michelle", se comprobó que la altura de la surgencia en la bahía de Cienfuegos fue de 1,5 m. (Fernández A., Comunicación Personal), lo cual corrobora los cálculos realizados a través de la Modelación Matemática con valores de 1,3 m.

En Cayo Largo del Sur la surgencia alcanzó valores entre 1,2 y 1,6 m. de sobre elevación del nivel medio del mar, de acuerdo a los resultados obtenidos de la Modelación Matemática, los mayores efectos se produjeron en la región oceánica al Oeste del archipiélago, donde el mar alcanzó una altura de 2,4 m. e impactó a los cayos Del Rosario y Campos, entre otros, afectando severamente sus dunas de arena, y la flora y fauna de estos territorios insulares. En esta zona la surgencia fue menor en comparación a los valores alcanzados en la región geográfica próxima a Bahía de Cochinos, dadas las características de la plataforma insular de esta región y de la morfología costera (figura 7).

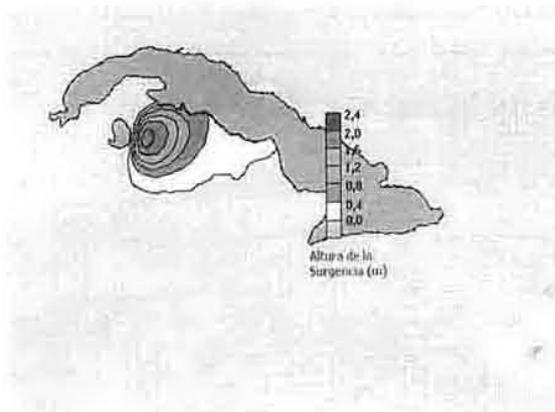


Figura 7. Modelación Matemática («MONSAC3») de la surgencia al paso de «Michelle» por el archipiélago de los Canarreos. Día 4 de noviembre del 2001.

Según testigos presenciales, en Cayo Largo el nivel medio del mar alcanzó en la pista de aterrizaje hasta 1,0 m., lanzando un contenedor del puerto sobre la pista (Rodríguez Otero C., Comunicación Personal). Debe señalarse que la pista, de acuerdo a las cartas topográficas de escala 1: 10 000 del Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía del año 1990, se encuentra situada en la altura altimétrica de 0,5 m., por lo tanto la surgencia en ese lugar fue de 1,5 m. En una casa del aeropuerto el agua alcanzó 0,80 m., teniendo en cuenta que esa casa tiene dos escalones de 0,16 m. cada uno (Rubiera Torres J., Comunicación Personal) y considerando el valor altimétrico de 0,5 m. hace un total de 1,62 m. Al comparar estos valores observados con los calculados a través de la Modelación Matemática de 1,2 a 1,6 m. se puede apreciar la confiabilidad que tienen los resultados alcanzados.

Algunas de las afectaciones provocadas por la surgencia en el Archipiélago de los Canarreos pueden verse en las figuras 8 y 9.



Figura 8. Afectaciones en el acceso a Villa Capricho (Cayo Largo del Sur, figura 2) por la surgencia asociada al huracán Michelle del 2001. Fuente: Instituto de Planificación Física.



Figura 9. Afectaciones a la duna de arena de Playa Paraíso (Cayo Largo del Sur, figura 2) por la surgencia asociada al huracán Michelle del 2001. Fuente: Instituto de Planificación Física.

El huracán "Isidore" no cruzó directamente sobre el territorio del Archipiélago de los Canarreos, mientras que "Lili" sí pasó sobre la Isla de la Juventud la cual pertenece a dicha región geográfica (Figuras 4 y 5). La surgencia asociada a ellos (figuras 10 y 11) afectó esta zona, pero en una magnitud inferior a la provocada por "Michelle".

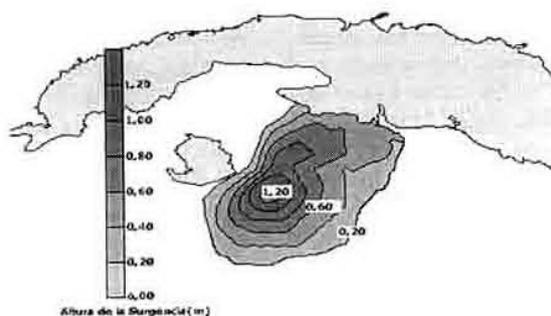


Figura 10. Afectación por surgencia, asociada al huracán Isidore, en el archipiélago de los Canarreos. Modelación Matemática («MONSAC3»). Día 19 de septiembre del 2002 a las 18:00 hora local.

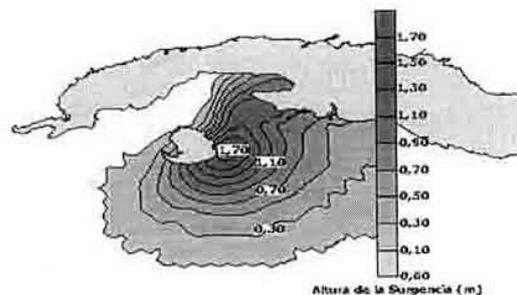


Figura 11. Afectación por surgencia, asociada al huracán Lili, en el archipiélago de los Canarreos. Modelación Matemática («MONSAC3»). Día 1 de octubre del 2002 a las 06:00 hora local.

Como puede apreciarse en las figuras 10 y 11 en ambos casos la surgencia asociada a estos organismos tropicales afectó el archipiélago de los Canarreos, aunque con valores en su altura inferiores a la surgencia provocada por el huracán Michelle del 2001. En el caso de "Isidore" la sobre elevación del nivel medio del mar en la región de Cayo Largo del Sur alcanzó valores entre 0,40 y 0,60 m., mientras que la mayor surgencia (1,00-1,20 m.) impactó los cayos Hicacos, Campos, Aguardientes y Avalos, los cuales se encuentran situados entre Cayo Largo del Sur y la Isla de la Juventud. Con respecto a los efectos de la surgencia de "Lili", esta fue de 0,70 m. valor algo superior al que se pronosticó para "Isidore". Los mayores valores fueron próximos a Punta del Este en el extremo más oriental de la Isla de la Juventud, coincidiendo con los cayos Matías, Hicacos y Campos.

Conclusiones.

La sobre elevación del nivel medio del mar al paso del huracán Michelle del 2001 afectó severamente el archipiélago de los Canarreos y en especial a Cayo Largo del Sur; lo cual corrobora la importancia que tiene el Proyecto Investigativo que ha comenzado a desarrollarse en la cayería insular cubana sobre esta temática y de la que forma parte este estudio.

Los huracanes Isidore y Lili provocaron surgencias que también afectaron este archipiélago, pero con valores inferiores a los pronosticados y observados en el "Michelle".

El turismo ha experimentado gran auge como modalidad de desarrollo sostenible en este archipiélago, donde los turistas, personal vinculado a los mismos y las instalaciones están sometidos al riesgo que representa el ascenso del nivel medio del mar producto de la surgencia. En particular, en esta región oceánica, se ven bajo la influencia de este fenómeno natural las actividades de salvamento de vidas y bienes económicos en caso de producirse situaciones extremas como las ocurridas al paso del huracán Michelle del 2001, las cuales pueden conducir a un desastre.

Todo ello lleva a la necesidad de pronosticar y evaluar el carácter del impacto esperado, para proteger las instalaciones y garantizar mediante el Planeamiento y Ordenamiento Territorial las medidas particulares para un uso racional de los territorios costeros en cuestión.

Debe prestarse especial atención, por parte de las personas encargadas de la toma de decisiones, a los resultados alcanzados en la Modelación Matemática de la surgencia en Cayo Largo del sur. Dada su posición geográfica, esa región se valora como de Peligro Muy Alto al paso de los ciclones tropicales, con condiciones físico - geográficas favorables para producir surgencias devastadoras, debiendo in-

cluirse las variables analizadas en los Proyectos Constructivos que se ejecuten y en los ya existentes en esa región oceánica.

Bibliografía.

Fernández A. (2001): Comunicación Personal. Jefe del Centro Provincial de Meteorología de la provincia de Cienfuegos. Cuba

García A. y P. Beaubalet (1994): Sistema de Información Estadístico para los ciclones tropicales. UDICT. Instituto de Meteorología. La Habana. Cuba

IPF (1997): Esquema para el Desarrollo Turístico del Sur de la Isla de la Juventud y el Archipiélago de los Canarreos. Instituto de Planificación Física (IPF). La Habana. Cuba

IPF (1992): Esquema de Desarrollo de Cayo Largo del Sur. Instituto de Planificación Física. La Habana. Cuba

Jelesnianski, C. P., 1993: Global Guide to Tropical Cyclone Forecasting. "Chapter 4". The Habitation Layer, WMO/TD No. 560

Pérez Parrado R. y O. García (1995): Modelación numérica de las surgencias alrededor de Cuba "Monsac1". Proceeding del Segundo Congreso de Meteorología. Brasil, 1995

Pérez Parrado R. O. García, e I. Salas (1998): Aplicaciones del Monsac-2 en las Costas de Cuba. Memorias de la Conferencia Científica sobre ciclones tropicales "Rodríguez Ramírez in Memoriam" .7-9 de Mayo de 1998. La Habana. Cuba. pp. 81-85

Pérez Parrado, R., I. Salas y J. Dole 2002: Monografía sobre los Modelos para pronosticar la surgencia provocada por los Ciclones tropicales (Inédito). Instituto de Meteorología. La Habana. Cuba. pp. 92

Rodríguez Otero C. (2001): Comunicación Personal. Especialista del Instituto de Planificación Física (IPF). La Habana. Cuba

Rubiera Torres J. M. (2001): Comunicación Personal. Jefe del Centro de Pronósticos del Instituto de Meteorología. Cuba

Salas I., R. Pérez Parrado y O. García (1999): Mapa de Peligro por surgencia de ciclones tropicales. Rev. Cub. de Met. V.6, N.1. La Habana. Cuba

Abstract:

With this article, start the project "Impact of the Storm surge on the Cuban Archipelago, taking into account the Climate Changes". The project is included in the National Program about Science and Technology on Climate Changes in Cuba. The most dangerous phenomena associated to the tropical cyclones, is the storm surge, which caused the worst natural disaster in Santa Cruz del Sur Cuba, on 9th September 1932. The Geographical characteristics of the Canarreos Archipelago and the sea rise level due to storm surge in hurricane Michelle (September, 2001), Lili and Isidore (September-October 2002) are studied, the storm surge was modeled by mean of the "MONSAC3" high resolution model. The database used was the Tropical Cyclone records of the Cuban Institute of Meteorology. Is concluded that the Canarreos region is a very high risk zone for storm surge impact due to hurricanes and that particular attention to should be paid in order to implement the territorial planning and arrangement.

Key Words: Hurricanes, Surge, hazard, Territorial Planning