

Desarrollo de las Técnicas de Predicción de las Inundaciones Costeras, Prevención y Reducción de su Acción Destructiva

Informe Técnico

Proyecto Cuba/94/003

**Desarrollo de las Técnicas de Predicción
de las Inundaciones Costeras, Prevención
y Reducción de su Acción Destructiva**

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
Ministerio Inversión Extranjera y la Colaboración
Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente
Instituto de Meteorología
Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil
Instituto de Planificación Física
Instituto de Geografía Tropical
Instituto de Oceanología

PROYECTO CUBA/94/003

**DESARROLLO DE LAS TECNICAS DE PREDICCIÓN
DE LAS INUNDACIONES COSTERAS, PREVENCIÓN
Y REDUCCIÓN DE SU ACCIÓN DESTRUCTIVA**

**LA HABANA, CUBA
FEBRERO DE 1998**

COMITE DE REDACCION Y REVISION

ALFREDO MORENO RODRIGUEZ
MIGUEL PORTELA SANTIAGO
ISIDRO SALAS GARCIA
ADA LUISA PEREZ HERNANDEZ
CARLOS RODRIGUEZ OTERO

EDICION

GRUPO DE PUBLICACIONES
INSTITUTO DE PLANIFICACION FISICA

INSTITUTO DE METEOROLOGIA
APARTADO 17032, HABANA 17, CUBA
TELEF. : (537) 61-7500
FAX: (537) 33-8010 (537) 61-7168
EMAIL: METEORO@CENIA.INF.CU

Foto tomada por
Antonio del Cristo Zerquera
Malecón habanero, Marzo de 1993

Director del Proyecto:

ALFREDO MORENO RODRIGUEZ
Instituto de Meteorología

Autores:

Instituto de Meteorología

RAFAEL PEREZ PARRADO
OMAR GARCIA CONCEPCION
MIGUEL PORTELA SANTIAGO
ISIDRO SALAS GARCIA
IDA MITRANI ARENAL
REYNALDO CASALS TAYLOR

Estado Mayor Nac. Defensa Civil

JORGE PEGUERO MORALES
JOSE LLANES GUERRA

Instituto de Oceanología

MARCELINO HERNANDEZ GONZALEZ
JAQUELINE CIMANTA CARDENAS

Instituto de Planificación Física

ADA LUISA PEREZ HERNANDEZ
CARLOS RODRIGUEZ OTERO

Instituto de Geografía Tropical

JOSE LUIS BATISTA SILVA
MIGUEL ANGEL SANCHEZ CELADA

Colaboradores:

Instituto de Meteorología

MARVELYS LOPEZ CABRERA
MARIA JOSEFA FIALLO
JESUS DOLE CHAVEZ
ISRAEL BORRAJERO MONTEJO
MAYRA PEREZ ALMEIDA
MILAGROS SARMIENTOS SCULL
CARIDAD IRAOLA RAMIREZ

Estado Mayor Nac. Defensa Civil

ASTUL CASTELLANOS PEREZ
ROBERTO RIOS GARCIA
ALBERTO LEWIS CONCEPCIÓN
JOSE REYES DELGADO

Sistema de la Planificación Física

LUCIA FAVIER GONZALEZ
JOSE GERHARTZ MURO
LUIS ENRIQUE IZQUIERDO
OSVALDO VILLEGAS MORET
JUANA ROSA ORAMAS GONZALEZ
MARTA RIBERO MEDERO
NORMA MORALES PORTAL
YAMILE LEON RAMIREZ
IDALMIS VALDIVIA PEREZ
FELIX HERNANDEZ RUBIO
RIDER PORTELA PAZ
RAFAEL DRIGG
MARIA ESPINOSA MIRANDA
MARILYN GONZALEZ SILVA
MANUEL DE LA RIVA
JUANA TEJERA
JOSE FONSECA
EDGAR IVONETT

Instituto de Geografía Tropical

XIOMARA MEDINA ALMENARES
ALICET MOLINA URRUTIA

Agradecimientos:

ROSA M. CARDENAS, LETICIA HERNANDEZ, LOURDES ALVAREZ, DANIELA ARCIA,
SANDRA SAMPER, JORGE PEREZ, LAZARA DIAZ, ACACIA DEL SOL, NILO HERNANDEZ,
ARNALDO ALFONSO, ROLANDO MARTINEZ CANTERO, ARMANDO CAYMARES,
HERIBERTO DIAZ PEREZ, MINEDO ECHEMENDIA RODRIGUEZ

Tabla de contenido

Presentación	9
Resumen Ejecutivo	11
Capítulo 1	
Métodos de pronósticos meteorológicos y de modelación del campo de olas y de las inundaciones costeras	17
1.1 Desarrollo de un modelo de pronóstico para determinar la elevación del nivel del mar por la acción de un ciclón tropical	19
1.2 Elaboración de un método sinóptico-estadístico para el pronóstico de la ocurrencia de inundaciones costeras en Cuba	46
1.3 Aplicación de un modelo espectral para el cálculo de los campos de olas en mar profundo	64
1.4 Elaboración del régimen de oleaje extremo por métodos numéricos	73
1.5 La componente no periódica del nivel del mar en el dominio de las frecuencias medias	82
Capítulo 2	
Estudio del peligro, la vulnerabilidad y el riesgo de penetraciones del mar en las zonas costeras de Cuba	91
2.1 Elaboración del Mapa de Peligro por surgencias de ciclones tropicales	93
2.2 Evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo por inundaciones costeras y elaboración de los mapas de riesgo	103
2.3 Aplicación del Software del Sistema de Información Geográfica para visualizar mapas de riesgo	125
2.4 Evaluación del Impacto de los Desastres y Estrategias de Respuesta	129
Capítulo 3	
Manejo de emergencias por inundaciones costeras	141
3.1 Metodología para el plan de manejo de emergencias por inundaciones costeras	143
3.2 Programa de educación, capacitación e información a la población bajo riesgo de inundaciones costeras	149
3.3 Sistema de Defensa Civil de la República de Cuba para el manejo de emergencias por inundaciones costeras	152
3.4 Centro de Información y Referencia de la Defensa Civil y Programa de Comunicaciones	159
Conclusión	
Informe Técnico	163
Bibliografía	167
Anexo	
Mapas, Figuras y Tablas	173

PRESENTACION

El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) auspició entre 1994 y 1997 un Proyecto denominado Desarrollo de las Técnicas de Predicción de las Inundaciones Costeras, Prevención y Reducción de su Acción Destructiva CUBA/94/003 que fue ejecutado de forma conjunta por el Instituto de Meteorología (INSMET), el Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil (EMNDC), el Instituto de Planificación Física (IPF), el Instituto de Geografía Tropical (IGT) y el Instituto de Oceanología (IDO). El marco institucional estuvo bajo la responsabilidad del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) y el control gubernamental de la ejecución fue desarrollado por el Ministerio para la Inversión Extranjera y la Colaboración (MINVEC).

Las inundaciones costeras constituyen una amenaza permanente a la vida humana y al desarrollo socioeconómico de las zonas costeras de Cuba, donde transcurren las actividades de más de un millón de personas y donde como consecuencia del desarrollo económico vinculado a las actividades turísticas, portuarias, pesqueras e industriales incrementan a un ritmo creciente las posibles pérdidas económicas.

La finalidad de este Proyecto fue desarrollar un sistema multidisciplinario para la mitigación de la acción destructiva y la disminución del riesgo y la vulnerabilidad por inundaciones costeras en la República de Cuba.

La adquisición del equipamiento y la preparación de los especialistas y funcionarios permitió desarrollar seis nuevos métodos para el pronóstico de las surgencias, la frecuencia, duración e intensidad de las inundaciones costeras, el campo de olas y las componentes no periódicas del nivel del mar, elaborar los mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo incluyendo su visualización en Sistemas de Información Geográfica (SIG) y elaborar las recomendaciones generales para el uso de los suelos y el ordenamiento territorial en las zonas costeras con el fin de incorporar esta base a las estrategias del proceso de desarrollo del país a corto, mediano y largo plazo y su regulación por medios jurídicos.

Finalmente se logró el perfeccionamiento del sistema de aviso oportuno para el manejo de las emergencias y la elevación de la capacitación y educación de la población asentada en los sectores de peligro por inundaciones costeras, todo lo cual constituye un sistema para la prevención y la mitigación que permite la protección de los bienes y ante todo la preservación de la vida humana ante los desastres en territorios costeros.

El presente documento se compone de:

- Tabla de contenido
- Presentación
- Resumen ejecutivo
- Tres capítulos, con los principales resultados científico-técnico, organizativos y metodológicos obtenidos durante los tres años de ejecución del proyecto
- Anexo, con la información gráfica

RESUMEN EJECUTIVO

CAPITULO 1

METODOS DE PRONOSTICO METEOROLOGICO Y DE MODELACION DEL CAMPO DE OLAS Y DE LAS INUNDACIONES COSTERAS

1. 1 Modelo dinámico para el pronóstico de la elevación del nivel del mar por la acción de un ciclón tropical y su aplicación

Autores: Rafael Pérez Parrado, Omar García Concepción, Isidro Salas García. INSMET

Se elaboró un modelo dinámico bidimensional para pronósticos en tiempo real de surgencia generada por los ciclones tropicales sobre las costas y para un plazo de hasta 18 horas, calculándose la surgencia para 26 sectores costeros de Cuba y la Isla de la Juventud, así como sus respectivos periodos de retorno.

La surgencia consiste en una elevación anormal y temporal del nivel del mar sobre la marea astronómica causada por la tensión sobre la superficie oceánica provocada por los fuertes vientos y por la caída de la presión en el área de acción de un ciclón tropical, afectando como promedio de 100 a 200 km de costa, durante unas seis horas.

La surgencia es considerada usualmente como un fenómeno costero que presenta el máximo absoluto sobre la costa en el momento y a la derecha del punto de entrada a tierra del ciclón tropical y muy próximo al radio de vientos máximos.

La interrelación entre los términos surgencia (storm surge) y marea astronómica (astronomical tide) ha llevado a la definición de otro término, marea de tormenta (storm tide), originándose cierta confusión. Por tal motivo se señala que la surgencia es la elevación del agua generada por un ciclón tropical, sobre o bajo la marea astronómica. La marea de tormenta viene dada por la elevación total de las aguas (incluyendo la marea astronómica) medida a partir del nivel medio del mar.

$$\text{MAREA DE TORMENTA} = \text{SURGENCIA} + \text{MAREA ASTRONOMICA}$$

El modelo elaborado cumple con las expectativas y posibilidades predictivas esperadas; puede ser activado en tiempo real para calcular la surgencia asociada a cualquier ciclón tropical que represente una amenaza potencial para el país; programado en *Fortran* y adecuado para ser operado en computadoras personales.

1.2 Modelo sinóptico-estadístico para pronóstico de la ocurrencia de fenómenos de inundaciones costeras en Cuba

Autor: Miguel Portela Santiago. INSMET

Bajo la premisa de prevenir y mitigar los efectos de estos desastres costeros fue diseñado un sistema sinóptico-estadístico para pronosticar la ocurrencia de inundaciones en el litoral costero de Cuba, así como el tiempo de afectación e intensidad de las mismas.

Se elaboró el algoritmo para dos programas independientes para el pronóstico de la ocurrencia de inundaciones costeras mediante el análisis discriminante para el pronóstico de la altura de la ola significativa por una regresión cuadrática que involucra los valores de los predictando calculados por regresiones lineales de forma separadas para predictores empíricos y sinópticos.

Estos programas operativos se ejecutan de forma instantánea y son iterativos para el pronóstico de inundaciones costeras. Resultó fundamental para el buen funcionamiento el establecimiento de una tipificación sinóptico - climatológica de las condiciones que deben reunir los sistemas meteorológicos para que se produzcan penetraciones del mar en le litoral costero.

En el sistema creado se definen tres estratos que agrupan tipos de situaciones sinópticas favorables para la ocurrencia de inundaciones costeras. Las ecuaciones finales para todos los plazos y estratos resultarán significativos al nivel del 1%.

1.3 Modelo espectral para el cálculo de los campos de olas en mar profundo

Autor: Reynaldo Casals Taylor. INSMET

El conocimiento de los campos de olas en el mar profundo es fundamental para el pronóstico de ocurrencia de inundaciones costeras, lo que está en dependencia de la ola máxima en el área generadora, su dirección de propagación y si el oleaje que rompe en la costa es por viento o mal de leva o una combinación de ambas.

Los modelos espectrales se basan en la solución de las ecuaciones de transferencia de energía del oleaje y simulan los procesos de propagación del mar de viento y leva, su disipación y las interacciones no lineales. Se logró adaptar un modelo espectral complejo que originalmente fue preparado para computadoras de gran capacidad y rapidez y para su ejecución operacional en microprocesadores al alcance de un país en vías de desarrollo como Cuba.

La aplicación del presente modelo espectral para el cálculo del campo de olas como base para la aplicación de las técnicas de pronóstico de las inundaciones costeras contribuye favorablemente al logro de estos fines y aumenta la capacidad de vigilancia, predicción y aviso del servicio de meteorología marina.

1.4 Régimen de oleaje extremo

Autores: Ida Mitrani Arenal, Isidro Salas García. INSMET

Para establecer los planes de evacuación y las estrategias del manejo de costa, es necesario conocer el régimen de oleaje extremo en el área de interés. Para ello, es preciso determinar las particularidades de los eventos meteorológicos responsables de la ocurrencia de estos oleajes.

Actualmente no se cuenta con el volumen de información instrumental, en tiempo real, requerido para realizar los cálculos. Siendo necesario acudir a los métodos singulares, los cuales se basan en la información de archivo, procesados mediante algoritmos matemáticos elaborados a partir de formulaciones conocidas y confiables. Los resultados obtenidos en el modelo que se presenta, pueden ser utilizados para el manejo de costas y sus emergencias por penetraciones del mar.

Los eventos meteorológicos que generan oleajes extremos, se corresponden con los campos de viento de los ciclones tropicales, sistemas frontales, bajas extratropicales y los fuertes vientos de la periferia de los anticiclones intensos.

En el modelo se presenta la formulación para el cálculo de los campos de viento lo que permite obtener los elementos de las olas para las aguas profundas y bajas. Partiendo de la cronología de los eventos meteorológicos severos, se calcula la incidencia y campos de oleaje peligrosos para las costas de Cuba y sus mares adyacentes.

1.5 La componente no periódica del nivel del mar en el dominio de las frecuencias medias

Autores: Marcelino Hernández Gonzáles, Jaqueline Cimanta Cárdenas. IDO

La observación sistemática y el registro mareográfico de las oscilaciones no periódicas del nivel del mar, constituyen una señal de que estamos ante la presencia de que ocurran inundaciones costeras por penetraciones del mar, con hasta dos días de antelación.

La componente no periódica del nivel del mar en el dominio de las frecuencias medias, se definen como las variaciones que ocurren en el intervalo de frecuencias comprendidos entre 1 y 0,03 ciclos por días, lo cual en el dominio temporal equivale a las variaciones cuyos períodos fluctúan entre 1 y 30 días. En nuestra área geográfica, algunas de las variaciones del nivel del mar de origen meteorológico pueden poseer períodos menores que los señalados y en otras ocasiones la sucesión continua de varios eventos provoca que se mantenga durante períodos de tiempo mayores. Partiendo de esos conocimientos y el seguimiento operativo de las señales de la red mareográfica nacional tenemos la posibilidad de realizar pronósticos de la presencia lejana o ocurrencia de eventos meteorológicos extremos que pueden generar penetraciones del mar.

Esta afirmación se apoya en los resultados del análisis de las variaciones del nivel del mar observados previo a la ocurrencia de 20 eventos extremos, que provocaron penetraciones del mar en el litoral costero de la ciudad de La Habana.

CAPITULO 2

ESTUDIO DEL PELIGRO, LA VULNERABILIDAD Y EL RIESGO DE PENETRACIONES DEL MAR EN LAS ZONAS COSTERAS DE CUBA

2.1 Elaboración del Mapa de Peligro por surgencias de ciclones tropicales

Autores: Isidro Salas García, Rafael Pérez Parrado, Omar García Concepción. INSMET
Ada Luisa Pérez Hernández, Carlos Rodríguez Otero. IPF

El Mapa de Peligro por Surgencias de los ciclones tropicales en el litoral costero de Cuba y su conjugación con los períodos de retorno de éste destructivo evento meteorológico, nos da la posibilidad de satisfacer los múltiples intereses de los organismos del Estado encargados de salvaguardar los cuantiosos recursos humanos y económicos situados en la franja costera y la incorporación de la probabilidad de ocurrencia de estos desastres al proceso de planificación del desarrollo de estos sectores.

La surgencia es la elevación anormal del nivel del mar provocado por la tensión generada por los fuertes vientos huracanados sobre la superficie oceánica. Previo a la entrada del ciclón tropical por el litoral costero y actuando el viento hacia ésta comienza la acumulación del agua y subida del nivel del mar; produciendo el máximo al llegar al centro del CT a la línea costera.

Se efectuó un estudio físico - geográfico de la franja costera de Cuba y la Isla de la Juventud, seleccionándose 26 sectores costeros, que se evalúan en categorías cualitativas de peligro: *Bajo, Moderado, Alto y Muy Alto*, acorde a la morfología de la llanura costera y la plataforma marina, los valores de la altimetría, la pendiente y los períodos de retorno del fenómeno meteorológico.

2.2 Evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo por inundaciones costeras y elaboración de los Mapas de Riesgo

Autores: Ada Luisa Pérez Hernández, Carlos Rodríguez Otero. IPF
Isidro Salas García. INSMET

Se define la zona costera como un territorio escaso, vulnerable y dinámico, donde se combinan aspectos naturales, económicos y demográficos. Se delimita dos subzonas, la primera delimitada por los primeros 1000 m desde la línea de costa considerada la de mayor impacto debido a las elevaciones bruscas del nivel del mar y la delimitada por la cota de máximo peligro de inundación costera.

El riesgo por inundaciones costeras se determina como la componente resultante de la combinación del peligro y la vulnerabilidad. A partir del mapa de peligro por surgencia ciclónica se evaluó la vulnerabilidad y el riesgo a la población concentrada y dispersa y a las principales actividades económicas (agrícolas, forestales, turísticas, etc.), localizadas en los 26 sectores costeros evaluados para el país.

Se elaboró una instrucción metodológica aplicable al nivel municipal que abarca información en escala detallada sobre el uso del suelo y las áreas urbanas, información que se procesó al nivel nacional mediante un SIG, que permite efectuar el análisis de múltiples combinaciones de variables físico - geográficas y socioeconómicas, la obtención de numerosos mapas temáticos

que ofrecen una valiosa documentación georeferenciada, útil en el ordenamiento territorial, en la toma de decisiones por parte de las entidades competentes y el establecimiento de regulaciones jurídicas a los territorios afectables para los diversos niveles de riesgo determinados.

2.3 Aplicación del Software del Sistema de Información Geográfica para visualizar Mapas de Riesgo

Autores: José Luis Batista Silva, Miguel Angel Sánchez Celada. IGT

Se realizan mapas generales de focalización y temáticos en escalas detalladas 1:25000, sobre el peligro, la vulnerabilidad y el riesgo por inundaciones costeras de los principales sectores del país a partir de la implementación del SIG.

Estos mapas en escalas detalladas constituyen una poderosa herramienta que debe ser utilizada como consulta obligatoria en la toma de decisiones y acciones al elaborar e implementar los planes de prevención y mitigación ante los daños que provocan las inundaciones por penetraciones del mar.

2.4 Evaluación del impacto de los desastres y estrategias de respuesta

Autores: Carlos Rodríguez Otero, Ada Luisa Pérez Hernández. IPF

El impacto provocado por los desastres se evalúan principalmente por el número de pérdidas de vidas humanas, destrucción de la infraestructura, ruptura de las actividades sociales y económicas a nivel de comunidad o territorio; además también viene dado por el estancamiento o retraso del desarrollo. En el orden de la familia, el desastre se evalúa por la destrucción de la vivienda, la pérdida de algunos de sus miembros, sus propiedades y el empleo.

Las medidas que se tomarán para la lucha contra los desastres incluyen, perfeccionar las medidas de protección y aviso sobre el evento peligroso, crear condiciones y legislaciones para la disminución de la vulnerabilidad de los asentamientos humanos e instalaciones costeras.

Todas estas medidas para mitigar los desastres, deben realizarse a partir de un estudio confiable de la ocurrencia y frecuencia de estos fenómenos peligrosos, con la participación de la comunidad.

El ordenamiento territorial a corto y mediano plazo de las zonas costeras bajo diferentes categorías de peligro, constituye la principal estrategia de adaptación ante el impacto de las inundaciones costeras y debe apoyarse con regulaciones, normas y legislaciones creadas a tal efecto.

Se define para los 244 asentamientos costeros un orden de prioridad de ejecución en dependencia del grado de riesgo por inundaciones costeras, que varía desde muy alto, alto, medio, bajo hasta no necesario. Por último se describió la situación del litoral costero de la ciudad de La Habana y las estrategias de respuesta que se asumen en la actualidad para mitigar los efectos de las frecuentes penetraciones del mar, generadas por bajas extratropicales y la entrada de los frentes fríos moderados y fuertes en ese sector costero del país.

CAPITULO 3

MANEJO DE EMERGENCIAS POR INUNDACIONES COSTERAS

Autores: Jorge Peguero Morales, José Llanes Guerra. EMNDC

El Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil, para la realización de sus funciones de protección a la población y la salvaguarda de la economía nacional, cuenta como guía metodológica con el plan de manejo de emergencias para las zonas costeras en peligro de inundaciones por penetraciones del mar. Este documento constituye un manual de trabajo para la preparación, la prevención, medidas de mitigación y control ante la inminencia de afectación de un fenómeno meteorológico peligroso.

El plan está elaborado de forma tal que permite que los Puestos de Dirección de la Defensa Civil en los territorios cuenten con la documentación adecuada que facilite a los funcionarios una correcta evaluación de la situación del peligro para el manejo apropiado de las emergencias. Para ello cuentan con el análisis de las características físico geográficas de la plataforma marina y el litoral costero; situación del peligro representado por los fenómenos meteorológicos severos y la evaluación de la vulnerabilidad que viene dada por el estado y nivel de resistencia de las edificaciones, vías de acceso e instalaciones de la comunidad.

También como medida de mitigación de los efectos de los desastres, el EMNDC responde por la capacitación e instrucción de las poblaciones asentadas en las áreas de peligro, así como de los trabajadores, estudiantes y personal de las estructuras de los organismos, instalaciones económicas y sociales que se encuentren o residan en las zonas bajo riesgo, los cuales deben conocer los elementos de protección civil para actuar de forma oportuna y eficiente, adoptar las medidas efectivas de prevención para mitigar o aliviar los efectos del desastre.

Las temáticas de estudio se desarrollan de manera diferenciada de acuerdo con las particularidades del peligro y la vulnerabilidad en cada comunidad. Especial atención se presta a la realización de ejercicios prácticos con la población a fin de lograr que cada persona sepa qué hacer, cómo y dónde protegerse, así como la correcta aplicación de las normas de conducta que se establecen durante las etapas de emergencia y recuperación. Estos entrenamientos se realizan hasta el nivel de comunidad con el objetivo de instruir a sus miembros sobre las características del peligro y el riesgo a que están expuestos y para demostrar que serán menos vulnerables en la medida de su preparación para prevenir los efectos y tomar las medidas oportunas.

La prevención generalmente supone reducir la vulnerabilidad, modificar la exposición o cambiar la función de los elementos expuestos al peligro. En este concepto está implícito el supuesto básico de que el impacto de un peligro, en particular a la economía nacional puede ser minimizado, cuando su ocurrencia haya sido prevista e incorporada al proceso de planificación para el desarrollo y a los proyectos de inversión.

Por último se plantea el funcionamiento y responsabilidad del Sistema de Defensa Civil en el manejo de las emergencias por inundaciones costeras, cuya misión principal es proteger a la población y a la economía nacional en caso de estos desastres y el deterioro del medio ambiente, incluyendo los trabajos de salvamento y reparación urgente de averías en los focos de destrucción o contaminación.