

## **Clasificación de tormentas tropicales según lluvias asociadas: (1) estado del arte**

### **Rafael Pardo Gómez**

Profesor Titular y Dr. en Ciencias Técnicas

Centro de Investigaciones Hidráulicas, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.

email: [rpardo@cih.cujae.edu.cu](mailto:rpardo@cih.cujae.edu.cu)

### **Yakelin Rodríguez López**

Profesora Auxiliar y Dra. en Ciencias Técnicas

Centro de Investigaciones Hidráulicas, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.

email: [yake@cih.cujae.edu.cu](mailto:yake@cih.cujae.edu.cu)

### **RESUMEN**

La alta frecuencia con que Cuba es azotada por tormentas tropicales ha llevado a que la población cubana siga las informaciones que emite el departamento de pronósticos del Instituto de Meteorología junto con las orientaciones del Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil, con el fin de planificar las medidas de protección que permitan mitigar los desastres. Dichas informaciones se refieren básicamente a la intensidad de los vientos, pero acerca de las lluvias y sus consecuentes inundaciones la información es muy pobre. Los autores del presente trabajo presentan, en su primera parte, una apretada síntesis de la situación que tiene el estado del arte sobre este importante tema. El tema será ampliado en la segunda parte.

**Palabras clave:** huracán, intensidad de lluvia, inundaciones por intensas lluvias, pronóstico.

## **Tropical storms classification according to their associated rainfall: (1) state of the art**

### **ABSTRACT**

The high frequency of tropical storms in Cuba has made Cuban people to follow informations released by the forecast department of the Instituto de Meteorología (Meteorological Institute) together with instructions emitted by the Estado Mayor Nacional de Defensa Civil (Civil Defense National Headquarters), with the purpose of planning relevant protection measures aimed at disaster mitigation. These informations deal mainly with wind intensity among others but very little is said about rainfall amounts and their consequent flooding danger. The authors of this paper are herein presenting, as a first part, a very short synthesis of the state of the art situation of this important subject. The subject will be treated subsequently in the second part.

**Keywords:** hurricane, rainfall intensity, heavy rain flooding, forecast.

## **INTRODUCCIÓN**

La isla de Cuba está situada entre los 74<sup>0</sup> y 84<sup>0</sup> longitud oeste y los 19<sup>0</sup> y 23<sup>0</sup> latitud norte, en la zona tropical del Atlántico Norte. Esta es una zona donde todos los años se originan ciclones y tormentas tropicales.(Lamazares 2009).

El promedio de afectación a Cuba por huracanes es de uno cada dos años. La mayoría de estos huracanes son de poca intensidad, categoría 1, con un 53% de los casos, mientras que el 28% de ellos son categoría 2, de moderada intensidad, y el 23% es de gran intensidad, categorías 3, 4 y 5.

En todos estos ciclones, las lluvias torrenciales y las inundaciones, así como la marea de tormenta, aparecen como las causas principales de los daños y las pérdidas de vida ocurridas.

Uno de los principales logros de la Defensa Civil Nacional es el sistema de alerta temprana; pero este se ve limitado en sus posibilidades por la falta de información y herramientas científicamente sustentadas para la correcta predicción de las inundaciones asociadas a los eventos extremos como los huracanes, de ahí que sus pronósticos tienen que ser conservadores para poder garantizar la seguridad de las vidas humanas y de los principales renglones de la economía nacional o regional que puedan ser afectados.(Leyva 2012).

A pesar de que en la actualidad se cuenta con la escala Saffir-Simpson la cual clasifica a los huracanes teniendo en cuenta la velocidad de los vientos, actualmente hay muy poca referencia a nivel mundial sobre el tema de los criterios de riesgo durante eventos extremos de lluvia como los ocasionados por los huracanes.

Las metodologías empleadas en estudios de inundaciones han evolucionado rápidamente en los últimos años gracias a la generalización del uso de los modelos matemáticos. Se maneja el uso combinado de modelos hidrológicos e hidráulicos con ayuda de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la confección de mapas de zonas vulnerables a la inundación y su posterior uso en ordenamientos territoriales para la prevención y mitigación de los efectos de las inundaciones. La modelación de inundaciones es ya considerada como parte integral de la gestión de inundaciones, empleando modelos tanto para la planeación y el diseño, como para la predicción de las mismas.

## **SITUACIÓN PROBLEMÁTICA**

A causa del cambio climático y el calentamiento de la atmósfera cada año se incrementan la formación de huracanes, especialmente en la zona del Caribe.

Las probabilidades de que la República de Cuba sea afectada por ciclones y tormentas tropicales es cada vez mayor. Las inundaciones causadas por ellos son las principales responsables de las pérdidas materiales y de vidas humanas.

Por lo antes mencionado, es de suma importancia definir con alto grado de precisión una clasificación de los huracanes atendiendo a las lluvias que traen asociadas, de esta manera se podrá alertar, con mayor precisión, a la población sobre el peligro de inundación que corre cada zona del territorio nacional, y el gobierno podrá tomar las medidas necesarias en función de disminuir los daños y pérdidas.

## **ESTADO DEL ARTE**

La escala Saffir-Simpson, que se detalla en la tabla 1, define y clasifica la categoría de un huracán en función de la velocidad de los vientos del mismo. La categoría de un huracán no está relacionada necesariamente con los daños que ocasiona. Los huracanes categorías 1 ó 2 pueden causar efectos severos dependiendo de los fenómenos atmosféricos que interactúen con ellos, el

tipo de región afectada y la velocidad de desplazamiento del huracán. Los huracanes de categoría 3,4, o 5 son considerados como severos (Marcano 2005).

**Tabla 1. Escala Saffir-Simpson**

<b>Categorías</b>	<b>Rango de velocidad de los vientos (kilómetros por hora)</b>
1	119-153
2	154-177
3	178-208
4	209-251
5	mayor que 252

Sin embargo para los hidrólogos no importa tanto la fuerza de los vientos ni la presión barométrica como los siguientes índices, que apuntan al nivel de pluviosidad del evento e impacto sobre los ríos.

- *Trayectoria*: los impactos sobre el régimen hídrico no son iguales, cuando los eventos atraviesan el archipiélago en sentidos diferentes: transversal o longitudinal. Sobre este último caso, otro tanto puede decirse en relación sobre los que hacen su recorrido sobre la tierra o el mar. Mención especial merecen las trayectorias en forma de lazo, que traen consecuencias devastadoras al llevar a situaciones límites el proceso de formación del escurrimiento fluvial, debido al prolongado tiempo de duración de las lluvias en la misma región.
- *Diámetro y organización*: el área total que abarca un ciclón, así como el nivel de integración de las bandas espirales al núcleo de la tormenta, incide directamente sobre el cubrimiento de las cuencas hidrográficas por las lluvias.
- *Velocidad de traslación*: esta define la duración del azote y en buena medida los acumulados de la lluvia precipitada. Mientras menor es la velocidad, más oportunidades tiene el ciclón (sobre el mar) de aumentar la masa nubosa acompañante y, en consecuencia mayores serán sobre tierra las inundaciones y los estragos causados a la economía en general y al hombre en particular.
- *Época del año*: Dos organismos ciclónicos, similares en cuanto al régimen pluvial no tienen igual efecto si se presentan al principio o al final de la temporada ciclónica. Una lluvia de tormenta traerá tanto más graves consecuencias, cuanto mayor hayan sido las lluvias precedentes sobre el territorio. Esto es debido que entonces será menor la infiltración del agua en el suelo y por tanto mayor el escurrimiento, y obviamente las inundaciones.

### **Daños ocasionados por intensas lluvias asociadas a huracanes**

Un huracán genera, en promedio, entre 150 y 300 mm de lluvia o más, en un día, la cual causa severas inundaciones, deslizamientos y derrumbes. Las lluvias más fuertes se relacionan, generalmente, con las tormentas tropicales o huracanes que se desplazan más lentamente (menos de 16 kilómetros por hora) (Marcano 2005).

En el continente americano, fundamentalmente las avenidas son consecuencia de importantes escurrimientos producidos por precipitaciones muy intensas y sostenidas. Donde hay una relación directa e inmediata entre intensidad - duración de las lluvias y magnitud de las crecientes correspondientes, incidiendo además, las características propias de la cuenca donde se generan las crecidas (González et al. 2007).

En las inundaciones producidas por los ciclones tropicales, no sólo intervienen las condiciones meteorológicas que pueden ocasionar lluvias intensas, sino también otros factores que influyen negativamente, agravando en extremo sus consecuencias, entre las principales se encuentran: las obstrucciones en los desagües naturales o artificiales, por la acumulación de sedimentos, piedras, árboles y otros materiales que reducen sus capacidades de circulación, las características de los terrenos montañosos, el estado técnico y de mantenimiento de las obras hidráulicas, en especial, de los embalses, derivadoras y microembalses, que pueden originar fallas en sus cortinas y mecanismos de seguridad. La construcción sin previa compatibilización, de viales u otras obras civiles llegan a influir negativamente en los drenajes naturales (Leyva 2012).

Las inundaciones son unas de las catástrofes naturales que mayor número de víctimas produce en el mundo. Se ha calculado que en el siglo XX unas 3.2 millones de personas han muerto por este motivo, lo que es más de la mitad de fallecidos por desastres naturales en el mundo en este periodo.

### **Amenaza, vulnerabilidad y riesgo de las inundaciones**

El riesgo a la inundación es una intersección entre las condiciones de severidad de los fenómenos naturales y la vulnerabilidad de la sociedad.

El manejo de riesgo de inundación ha centrado su atención en la determinación de los costos generados por las medidas que atenúan el riesgo de inundación. Sin embargo la cuantificación de los beneficios que ello presenta, o sea, los daños que dejan de ocurrir producto a estas medidas, quizás no han sido abordados firmemente. El manejo o gestión de inundaciones, aborda, además de los costos de las medidas atenuantes, los daños generados y los que se dejan de generar producto a dichas medidas, y con esto se completa de manera satisfactoria el análisis beneficio costo (Perozo 2008).

*Riesgo de inundación:* Es la probabilidad de que un elemento (persona, bienes, muebles e inmuebles, ambiente, entre otros) pueda sufrir algún daño ante la ocurrencia de una inundación.

Matemáticamente se define de la siguiente forma:

$$\text{RIESGO} = \text{AMENAZA} \times \text{VULNERABILIDAD}$$

*Amenaza de inundación:* Es la probabilidad de que ocurra la inundación.

*Vulnerabilidad a la inundación:* Es la predisposición o propensión de un objeto a ser dañado, y está en función de la exposición, la susceptibilidad y el valor.

En la práctica, cada uno de los cálculos analíticos usados para estimar el riesgo es prácticamente imposible, ya que la base de datos disponible es generalmente muy pobre; por lo tanto, en muchas ocasiones se tiende a simplificar dichos procedimientos.

Dos de las formulaciones matemáticas para estimar el riesgo de inundación se presentan a continuación:

- (1) Ming Daw Su y otros (Perozo 2008) presentan una metodología basada en modelación distribuida para estimar daños por inundación y su probabilidad de ocurrencia.

$$AAFL = \int f(x)dx \quad (1)$$

donde: *AAFL*: Promedio anual de pérdidas por inundación.  
*x*: Daño generado por un evento de inundación.  
*f(x)*: Función de densidad de probabilidad de *x*.

(2) Kron en el año 2002 (Perozo 2008) plantea que el cálculo del riesgo de inundación se efectúa de la siguiente manera:

$$R = \int_{Q_a}^x c(Q) * f(Q)dQ \quad (2)$$

donde: *R*: riesgo de inundación.  
*c(Q)*: costos/pérdidas causados por la inundación *Q*.  
*f(Q)*: función de densidad probabilística de *Q*.

La integración debe realizarse para toda la región por encima del valor de inundación *Q<sub>a</sub>*, para el cual se producen pérdidas o daños.

En las tablas 2, 3, 4 y 5 se muestran diferentes criterios obtenidos en algunos países de valoración del riesgo de inundación (Perozo 2008).

**Tabla 2. Valoración del riesgo de inundación**

Tipo de Riesgo	Profundidad, calado o tirante (metros)	Justificación del criterio	País de Aplicación y Autor
Bajo	0 – 0,6	Daños no significativos.	Bangladesh
Media	0,6 < h ≤ 1,0	El daño potencial en propiedades es moderado y afecta el tránsito de vehículos.	
Alto	1,0 < h ≤ 3,5	El daño potencial en propiedades es alto y es afectado el tránsito de personas.	
Muy Alto	h > 3,5	Inundaciones catastróficas en profundidad y duración, donde están sumergido el primer piso de las edificaciones y hay peligro de pérdida de vidas humanas.	

**Tabla 3. Valoración del riesgo de inundación**

Tipo de Riesgo	Período de Retorno	Justificación del criterio	País de Aplicación y Autor
Bajo (Zonas C)	500 años	Zonas donde la avenida de 500 años produciría impactos a viviendas aisladas y daños a pequeñas instalaciones comerciales, industriales o servicios básicos. (No coincidente con las otras zonas).	España Triviño, A (SF)
Significativo (Zonas B)	100 años	Zonas donde la avenida de 100 años produciría impactos a viviendas aisladas y las avenidas de periodo de retorno igual o superior a 100 años, daños significativos a pequeñas instalaciones comerciales, industriales o servicios básicos. Son aquellas, no coincidentes con las zonas A.	
Alto (Zonas A)	50, 100 y 500 años	Son aquellas en donde las avenidas de 50, 100 o 500 años tendrían graves efectos en núcleos de población importantes. También se considera zona de riesgo máximo aquellas en las que una avenida de 50 años produciría impactos a viviendas aisladas o daños importantes a instalaciones comerciales, industriales o servicios básicos.	
Alto (Zonas A-1: riesgo alto frecuente)	50 años	Son aquellas en las que la avenida de 50 años produciría graves daños a núcleos urbanos.	
Alto (Zonas A-2: riesgo alto ocasional)	100 años	Son aquellas en las que la avenida de 100 años produciría graves daños a núcleos urbanos.	
Alto (Zonas A-3: riesgo alto excepcional)	500 años	Son aquellas en las que la avenida de 500 años produciría graves daños a núcleos urbanos.	

**Tabla 4. Valoración del riesgo de inundación**

Tipo de Riesgo	Período de retorno (años)	Justificación del criterio	País de Aplicación Y Autor
Baja	100 y 500	<ul style="list-style-type: none"> <li>•El peligro para las personas es débil o inexistente.</li> <li>•Las edificaciones pueden sufrir daños leves, pero puede haber fuertes daños en el interior de las mismos.</li> <li>•La zona amarilla es esencialmente una zona de sensibilización.</li> </ul>	Venezuela. López, J.L (2004)
Media	10 y 100	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Las personas están en peligro afuera de las viviendas o edificios.</li> <li>•Las edificaciones pueden sufrir daños, pero no destrucción repentina, siempre que su estructura sea adaptada a las condiciones del lugar.</li> <li>•La zona anaranjada es esencialmente una zona de reglamentación, donde daños severos pueden reducirse con medidas de precaución.</li> </ul>	
Alto	10, 100 y 500	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Las personas están en peligro tanto adentro como afuera de las viviendas o edificios.</li> <li>• La zona marcada en rojo corresponde esencialmente a una zona de prohibición.</li> </ul>	

**Tabla 5. Valoración del riesgo de inundación**

Tipo de Riesgo	Descripción	País de Aplicación y Autor
Alto	Aquel que la capacidad de predicción y evaluación es incompleta, representando un alto peligro y vulnerabilidad.	México. Ruiz y Echávez (2002)
Moderado	Produce daño físico inclusive pérdidas humanas, heridos, pérdida de infraestructura, que se puede en algunos casos mitigar.	
Bajo	Genera consecuencias sociales y económicas bajas y cuyo origen se puede evitar o anular, con medidas técnicas, económicas y sociales factibles, con fácil mitigabilidad.	

## **Análisis y mapeo de inundaciones torrenciales en abanicos aluviales**

En Caracas, en la Universidad Central de Venezuela, se ha creado una metodología para el mapeo y delimitación de zonas de amenaza por inundaciones tropicales de abanicos aluviales ocupadas por asentamientos urbanos.

La metodología planteada se basa en modelos de flujos matemáticos para la simulación dinámica de los flujos hiperconcentrados aplicados a un modelo de información geográfica.

Las inundaciones de agua se refieren a flujos con concentraciones menores de 20% en volumen, con arrastre convencional de sedimentos como carga de fondo y carga suspendida (López et al. 2002), presenta una clasificación del flujo de aludes torrenciales en función de la concentración del sedimento. En ella se precisa que las inundaciones de agua tienen menos de 20% de volumen (41% de peso) de sólidos (López et al. 2002).

Para inundaciones de agua se proponen las siguientes intensidades inspiradas por las metodologías de Suiza y Austria (PREVENE 2001):

Intensidad alta:  $h > 1,5 \text{ m}$  o  $v \times h > 1,5 \text{ m}^2/\text{s}$

Intensidad media:  $0,5 \text{ m} < h < 1,5 \text{ m}$  o  $0,5 \text{ m}^2/\text{s} < v \times h < 1,5 \text{ m}^2/\text{s}$

Intensidad baja:  $h < 0,5 \text{ m}$  y  $v \times h < 0,5 \text{ m}^2/\text{s}$

Tres probabilidades diferentes se han seleccionado, correspondientes a eventos de periodos de retorno iguales a 10, 100 y 500 años. La combinación de estos dos criterios (intensidad y probabilidad) permiten la definición de tres niveles de amenaza o peligrosidad como se puede apreciar en la figura 1 (López et al. 2002).

### **Amenaza Alta (Color Rojo)**

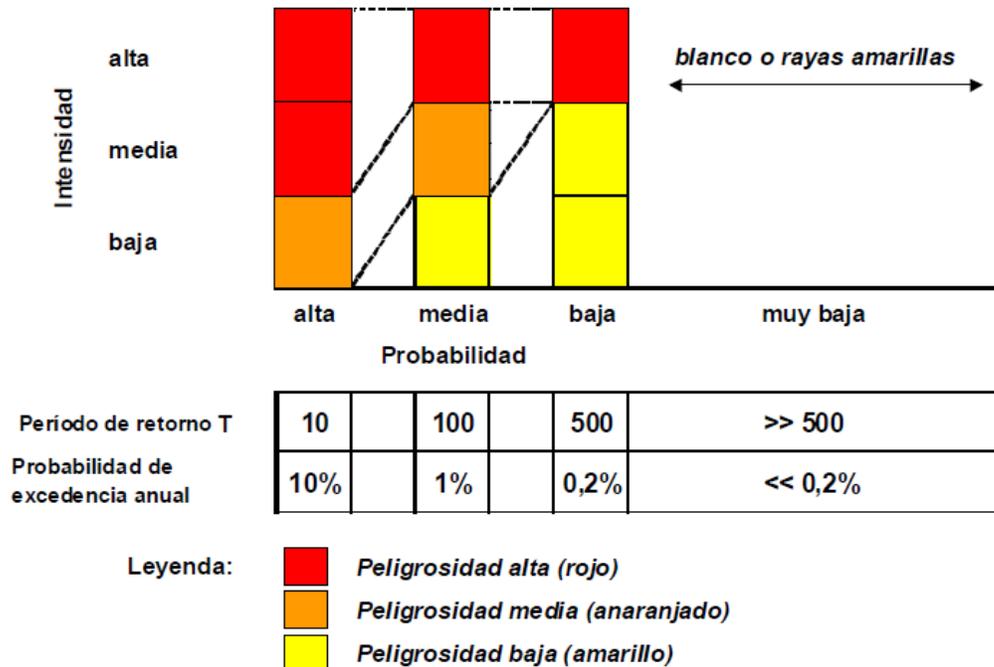
- Las personas están en peligro tanto adentro como afuera de las viviendas o edificios.
- La zona marcada en rojo corresponde esencialmente a una zona de prohibición.

### **Amenaza Media (Color Naranja)**

- Las personas están en peligro afuera de las viviendas o edificios.
- Las edificaciones pueden sufrir daños, pero no destrucción repentina, siempre y cuando su estructura sea adaptada a las condiciones del lugar.
- La zona anaranjada es esencialmente una zona de reglamentación, donde daños severos pueden reducirse con medidas de precaución apropiadas.

### **Amenaza Baja (Color Amarillo)**

- El peligro para las personas es débil o inexistente.
- Las edificaciones pueden sufrir daños leves, pero puede haber fuertes daños en el interior de las mismas.
- La zona amarilla es esencialmente una *zona de sensibilización*



**Figura 1. Relaciones probabilidad - intensidad – peligrosidad.** Fuente: PREVENE (2001)

### Criterios de riesgo durante sucesos de lluvia extremas en medio urbano

Hoy en día es habitual definir el nivel de seguridad de una calle durante un suceso de lluvia, con un determinado periodo de retorno, a través de los valores máximos de dos parámetros significativos del flujo (o a través de un valor límite de un parámetro combinado entre los dos):

- ✓ Tirante máximo ( $y_{max}$ )
- ✓ Velocidad máxima del flujo ( $V_{max}$ )

En muchos países el valor medio de tirante de circulación coincide con aquel valor del agua pluvial en los comercios o viviendas particulares. En la tabla 6 se puede apreciar un resumen de los valores de máximo tirante encontrados a nivel mundial con algunas informaciones sobre la tipología y el ámbito de estudio.

Hay que decir que muchos de estos criterios se refieren a inundaciones en cuencas rurales, al tránsito de avenidas en cauces o desbordamientos de ríos en las llanuras de inundaciones.

En la tabla 7 se presentan criterios de riesgo de velocidad máxima con algunas frecuencias.

**Tabla 6. Criterio de riesgo de calado máximo: referencias mundiales**

Fuente	Referencia	Y máx (m)	Justificación del criterio	Ámbito de estudio
Manual de Drenaje de la Ciudad de Denver (EEUU)	Wright-Mc Laughlin, 1969	0,45	Altura máxima próxima al límite a partir del cual un vehículo empieza a perder adherencia con el pavimento y flotar en el agua.	Urbano
Monografía Colegio de Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos (España)	Témez, 1992	1,00	Altura máxima para una situación de peligro para individuos en cauces naturales y llanuras de inundación.	Rural
Manual de Drenaje del Contado de Clark (EEUU)	CCRFGD, 1999	0,3	Altura máxima para garantizar que la escorrentía no sobrepase el bordillo.	Urbano
Criterio de Mendoza (Argentina)	Nanía, 1999	0,3	Altura máxima para evitar el ingreso de agua pluvial en viviendas y comercios.	Urbano
Consejo para la Agricultura y la Gestión de los Recursos (Australia y Nueva Zelanda)	ARMC, 2000	1,2 – 1,5	Este criterio no se refiere sólo a la estabilidad de los individuos sino también a los daños generales que esta altura de inundación puede provocar.	Urbano
Riesgos hidrometeorológico (Suiza)	Belleudy, 2004	0,00 – 1,00	Este criterio propone varios calados máximos en función del uso del suelo y se refiere a inundaciones provocadas por desbordamiento de ríos.	Urbano / Rural
Picba07: Plan Integral de Alcantarillado de Barcelona 2007	CLABSA, 2007	0,06	Para una lluvia con periodo de retorno de 10 años, tener los dos carriles laterales inundados dejando el resto de la calzada despejado.	Urbano

### **Criterios basados en la consideración conjunta de tirante y velocidad**

Un correcto comportamiento hidráulico de una calle pasa por limitar correctamente los dos parámetros de flujo.

Muchos autores proponen criterios basados sobre la consideración conjunta del tirante de circulación y la velocidad del flujo. Algunos autores proponen resultados hallados a través de estudios experimentales basados sobre el análisis de estabilidad de peatones frente a corrientes de flujo en canales. El flujo ejerce sobre los peatones que deben cruzar calles o circular por vías peatonales, una fuerza y un momento que pueden provocar fenómenos de deslizamiento, arrastre

y vuelco. También en este caso los modelos utilizados en los estudios analizados, en general no han tenido en cuenta el perfil real de las calles proporcionando resultados más útiles para medio rural y cauces naturales que para medio urbano.

**Tabla 7. Clasificación de la peligrosidad por intensas lluvias**

Clasificación de la Peligrosidad por lluvia	Lámina de lluvia		Frecuencia	Probabilidad (%)	Caracterización de la lluvia
	En 24 horas (mm)	En 2 horas (mm)			
Peligrosidad BAJA	≤100		1 cada 5 años	20	Son las lluvias más frecuentes y menos severas
Peligrosidad MEDIA	100-158		1 cada 10 años	10	Son las lluvias cuya severidad no es ni alta ni baja, es media
Peligrosidad ALTA	159-300	62	1 cada 20 años	5	Son las lluvias cuya severidad es alta
Peligrosidad MUY ALTA	> 300	120	1 cada 100 años	1	Son las lluvias menos frecuentes pero más severas

Otros estudios han abordado el problema bajo un punto de vista teórico considerando un cierto grado de aproximación en el uso de diferentes coeficientes de seguridad y de formas.

En la tabla 8 se presenta un cuadro resumen de las referencias encontradas a nivel mundial sobre criterios de riesgo basados en la consideración conjunta de los tirantes y las velocidades del flujo en el medio urbano.

**Tabla 8. Peligrosidad de las intensas lluvias en el area de estudio**

Peligrosidad por Inundación	Lámina de lluvia (mm)		Frecuencia	Probabilidad %	Caracterización de la inundación	
	2h	24h			Área	Altura
Peligrosidad BAJA	124	100 - 124	(1 en 2 o 5 años)	50% - 20%	1 <sup>er</sup> Plano, depresiones cársicas, zonas bajas	hasta 2 m
Peligrosidad MEDIA	158		(1 en 10 años)	10%	2 <sup>do</sup> Plano 1 <sup>er</sup> Plano, depresiones cársicas, zonas bajas	2,1 m a 4m
Peligrosidad ALTA	389	216 - 389	(1 en 50 o 100 años)	2% - 1%	3 <sup>er</sup> Plano 2 <sup>do</sup> Plano, 1 <sup>er</sup> Plano, depresiones cársicas, zonas bajas	> 4,1m

## **ESTUDIOS ANTERIORES EN CUBA SOBRE INUNDACIONES Y/O HURACANES**

El régimen de precipitaciones del país posibilita la formación de inundaciones fluviales, sobre todo durante el período lluvioso (mayo a octubre), aunque se han producido inundaciones importantes en la época menos lluviosa (noviembre a abril) debido a la influencia de frentes fríos. En ocasiones tienen lugar lluvias súbitas con una alta intensidad que producen la abrupta crecida de pequeños arroyos y ríos con la consecuente inundación y destrucción en la llanura o valle de inundación y primeras terrazas de las corrientes fluviales, pero sin lugar a dudas las mayores inundaciones han sido causadas por los huracanes. Es por ello que muchos han sido los estudios realizados tanto en Cuba como en el resto del mundo sobre huracanes e inundaciones, todos con el fin de poder prever y reducir los riesgos de afectaciones que presentan estos eventos. A continuación se hace referencia a algunos de los estudios realizados en Cuba.

### **Peligro de huracanes en Cuba evaluado en un sistema de información geográfica**

Contar con mapas que expresen los peligros múltiples a los que puede estar sometido un territorio, es una herramienta de indudable importancia e interés para las instituciones dedicadas al planeamiento y la prevención, entre otros. En Cuba existe una importante cantidad de información, vinculada al medio físico, en diversos formatos de presentación que atesoran un enorme volumen de trabajo científico realizado fundamentalmente en los últimos cuarenta años.

En el Departamento de Geociencias de la Facultad de Ingeniería Civil de la CUJAE se ha confeccionado una primera versión de un Sistema de Información Geográfica donde se ha resuelto el problema conceptual, y sólo se requiere resolver los problemas particulares que implican aumentar el tipo de peligro a incluir.

Se presentaron los peligros de ocurrencia de ciclones tropicales atendiendo al estudio de las trayectorias de todos los eventos que desde 1851 hasta la fecha han afectado el territorio nacional. Se definieron y evaluaron diferentes parámetros para cada punto del territorio nacional, elaborándose mapas de su distribución geográfica. Entre los parámetros vinculados a los huracanes y que fueron evaluados se encuentran: la probabilidad de afectación, frecuencia de ocurrencia, velocidad promedio de los vientos y grado de peligro. (Sacasas 2004)

El sistema posibilita la consulta de los diferentes mapas generados para cada lugar de interés, el que puede ser un sitio en el cual se ejecutará cierto proceso inversionista o quiere evaluarse el peligro para una instalación existente o un municipio determinado. En la figura 2 se presenta el mapa de Índice Complejo de Peligro. (Sacasas 2004)

### **Aplicación de un Sistema de Información Geográfica (SIG) para evaluar el peligro de inundaciones**

La cartografía de las zonas con peligro de inundaciones, es una tarea de suma importancia para preservar la vida y las propiedades en muchas partes del planeta, debido a que este tipo de peligro natural afecta a regiones muy diferentes en casi todo el mundo. (Rodríguez y Valcarce 2003).

Durante la planificación regional para el desarrollo y en relación con el peligro de inundaciones se deben tener en consideración las siguientes características superficiales: topografía o pendiente del terreno, especialmente su horizontalidad; geomorfología, tipo y calidad del suelo; hidrología y extensión de las inundaciones, así como la frecuencia e intensidad de las precipitaciones que históricamente ocurren en la zona bajo estudio (Rodríguez y Valcarce 2003).

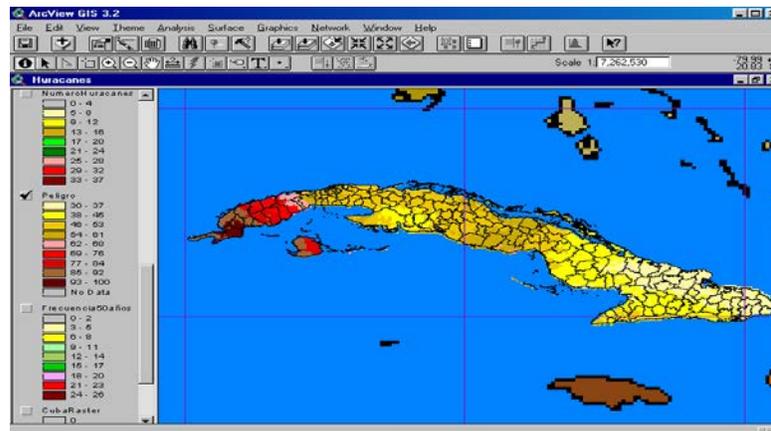


Figura 2. Mapa del Índice Complejo de Peligro. Fuente: Sacasas (2004)

El trabajo presentado por Rodríguez y Valcarce (2003) del Departamento de Geociencias de la CUJAE, evalúa la susceptibilidad del territorio nacional cubano a ser inundado, utilizando una combinación de los factores antes mencionados, así como la experiencia internacional acumulada en esta dirección. Toda la información fue soportada y procesada empleando un Sistema de Información Geográfica y como resultado final se obtiene un Mapa de Peligro de Inundaciones para el territorio nacional cubano, que constituye un punto de partida para:

- Decidir sobre posibles inversiones regionales.
- Dictar políticas de control y mitigación de los riesgos ante posibles inundaciones.
- Evaluar las posibles pérdidas motivadas por este peligro natural.

Fue desarrollada una metodología que aplica un sistema por rangos ponderados para calcular un índice, que ha sido denominado *FLOODS*, y que resulta directamente proporcional a la susceptibilidad de inundación en cualquier lugar del territorio nacional.

Finalmente, el índice *FLOODS* fue calculado como:

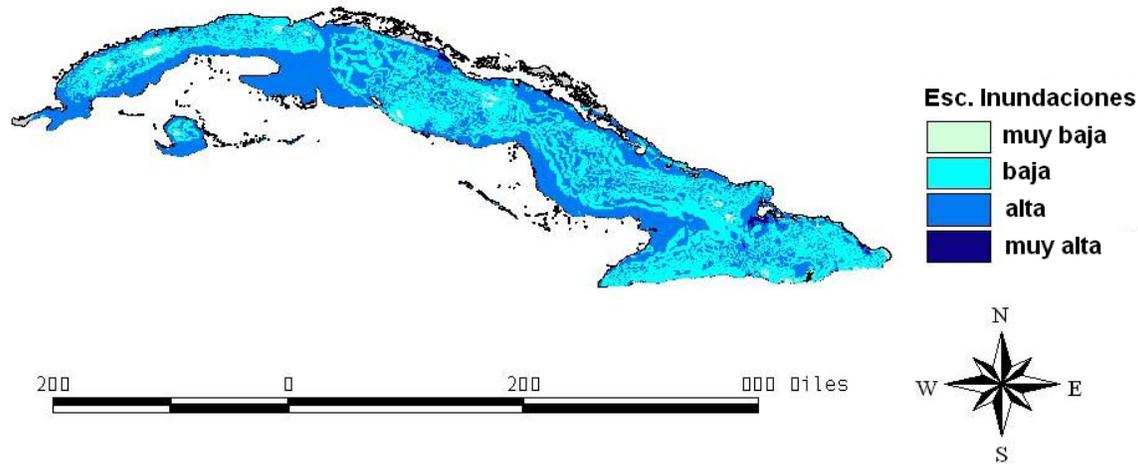
$$FLOODS = 5P + 4EscSup + 5Pend + 3RH + T + Ev + 2V + 4C + 2D \quad (3)$$

Donde el término que multiplica a cada variable es el peso que a esta se le asignó previamente.

La evaluación de la susceptibilidad según el índice *FLOODS* se presenta a continuación.

<i>FLOODS</i>	<i>Susceptibilidad</i>
> 200	Muy Alta
150 – 200	Alta
100 – 150	Baja
< 100	Muy Baja

La figura 3 presenta el “Mapa de Susceptibilidad a las Inundaciones” obtenido para el territorio nacional a través del cálculo e interpretación del índice *FLOODS*.



**Figura 3. Mapa de Susceptibilidad a las Inundaciones.** Fuente: Rodríguez y Valcarce (2003)

### **Estudio de riesgos de inundaciones costeras por huracanes**

El riesgo fundamental en la zona costera debido a huracanes es dirigido por los vientos, el oleaje, las lluvias y la marejada ciclónica. Todos ellos o algunos de ellos pueden afectar la zona costera de acuerdo a la distancia a la que se encuentre el centro del huracán. El daño ocasionado por los vientos de un huracán está confinado a un radio de unos 100 km aproximadamente del ojo, aún si la costa estuviera fuera del radio de acción de los vientos, el oleaje de fondo y la marejada ciclónica (ascenso del nivel del mar debido al centro de baja presión en el ojo del huracán) representan un peligro inminente.

### **Estudios de riesgos de inundaciones**

El trabajo de diploma “El riesgo de inundación por intensas lluvias en la cuenca Guama” es uno de los estudios más recientes. Evaluar las pérdidas por inundación a causa de intensas lluvias en la Cuenca Guamá, analizar el escenario de la cuenca del Río Guamá y su incidencia en la determinación del área de inundación, determinar las afectaciones por categoría de intensa lluvia y proponer medidas para el ordenamiento territorial, fueron los objetivos de esta tesis la que contribuyó a poder determinar las áreas que se inundan en dicha cuenca.

A partir de la caracterización general de la zona, se determinan las vulnerabilidades del territorio ante el paso de un ciclón tropical mediante, el comportamiento de las inundaciones en la cuenca y la peligrosidad de las intensas lluvias en el área de estudio, y se presenta una clasificación de la peligrosidad por inundaciones, la que se muestra en las tablas 9, 10 y 11.

**Tabla 9. Clasificación de la peligrosidad por inundaciones (Leyva 2012)**

Categoría Peligro	BAJO	MEDIO	ALTO
% y probabilidad de ocurrencia	50% - 20%	10%	2% - 1%
	(1 en 2 o 5 años)	(1 en 10 años)	(1 en 50 o 100 años)
Intensidad	Intensidad I		Intensidad II y III
	(100mm - 158mm)		(159 mm – 300 mm)
	100mm – 124 mm	158 mm	216 mm – 389 mm
	(2h - 24h)	(24h)	(24h)
Área inundada	1 <sup>er</sup> Plano	2 <sup>do</sup> Plano	3 <sup>er</sup> Plano
	depresiones cársticas, zonas bajas	1 <sup>er</sup> Plano, depresiones cársticas, zonas bajas	2 <sup>do</sup> Plano, 1 <sup>er</sup> Plano, depresiones cársticas, zonas bajas
Altura inundación	0 a 2m	2,1 m a 4 m	> 4,1 m
Categoría Inundación	Moderadas	Profundas	
	0,9 m – 1,8 m	> 1,8 m	

**Tabla 10. Clasificación de la peligrosidad por inundaciones. (Leyva 2012)**

Clasificación Peligrosidad Inundación	Lámina de lluvia (mm)		Frecuencia	Probabilidad %	Caracterización de la inundación	
	2h	24h			Área	Altura
PELIGROSIDAD BAJA	124	100 - 124	(1 en 2 o 5 años)	50% - 20%	1 <sup>er</sup> Plano, depresiones cársticas, zonas bajas	hasta 2m
PELIGROSIDAD MEDIA	158		(1 en 10 años)	10%	2 <sup>do</sup> Plano 1 <sup>er</sup> Plano, depresiones cársticas, zonas bajas	2,1 m a 4 m
PELIGROSIDAD ALTA	389	216 - 389	(1 en 50 o 100 años)	2% - 1%	3 <sup>er</sup> Plano 2 <sup>do</sup> Plano, 1 <sup>er</sup> Plano, depresiones cársticas, zonas bajas	> 4,1m

**Tabla 11. Categorías del peligro de inundación por velocidad de las corrientes**  
(Leyva 2012)

Topografía	Categoría Corrientes		Velocidad Corriente m/seg
En zonas llanas, valles	Débil	Lentas	$\leq 0,5$
	Mediano		$> 0,5$ a 1
	Rápido	Rápidas	1 a 2
	Muy Rápido		$> 2$
De montaña	Débil		$\leq 2$
	Mediano		$> 2$ y $\leq 4$
	Rápido		$> 4$ y $\leq 6$
	Muy Rápido		$> 6$

El punto esencial de este trabajo ha sido demostrar la importancia de considerar las inundaciones lo más temprano posible en el proceso de planificación, lo que posibilitará a las autoridades del territorio la toma de decisiones. De ahí se deriva la importancia de aplicar el Sistema de Modelación Hidrológica HEC-HMS o HEC-RAS, o similar, a otras cuencas hidrográficas a fin de generalizar su uso por especialistas e ingenieros.(Leyva 2012)

## CONCLUSIONES

- En conclusión, el elemento natural, imprescindible, para que se produzca una crecida, es la presencia de una tormenta. De ahí la importancia de estudiar el carácter y el origen de las tormentas de la zona en estudio.
- Aunque es inevitable el paso de los huracanes y tormentas tropicales por el archipiélago cubano, como lo son las inundaciones causadas por ellos, los estudios demuestran que se pueden disminuir los daños, si se conocen las zonas más propensas a inundación y se toman a tiempo las medidas necesarias para ello.
- El análisis tradicional de amenaza, vulnerabilidad y riesgo incluye los aspectos sociales de la comunidad afectada por los fenómenos naturales. Está enfocado principalmente a establecer el grado de exposición de una comunidad y la respuesta de ésta ante un fenómeno catastrófico.
- Cuando se pretende establecer la aptitud ambiental de ciertas regiones para la expansión urbana, se debe estimar con técnicas hidrológicas e hidráulicas, los límites de inundación para cierta frecuencia.
- Para disminuir los daños causados por las inundaciones es esencial formular las estrategias de manejo y prevención de desastres.
- En esta sección se han expuesto y comentado los resultados de algunos trabajos realizados en años anteriores. A pesar que han sido de gran importancia los análisis hechos, tanto los

relacionados sobre los huracanes, como los que abordan temas sobre las inundaciones, no se encontró nada documentado que clasifique hidrológicamente a los huracanes.

## REFERENCIAS

**González L., Jorge M., Martínez J. y Marrero N.** (2007). “Hidrología Superficial para ingenieros”. Libro de texto. Ministerio de Educación Superior. La Habana, Cuba.

**Lamazares R.** (2009). “Determinación de las características del oleaje asociados a dos tipos de eventos meteorológicos en la zona del malecón utilizando el modelo matemático SWAN”. Trabajo de Diploma. Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH). Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae). La Habana, Cuba.

**Leyva M.** (2012). “El riesgo de inundación por intensas lluvias en la cuenca Guamá”. Informe técnico. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae). La Habana, Cuba.

**López J., Bello M., Paredes G., González N., Vivas M. y Noyas M.** (2002). “Análisis mapeo de inundaciones torrenciales en abanicos aluviales (Parte I: Descripción de la metodología)”. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.

**Marcano, J. E.** (2005). "Educación Ambiental". Venezuela, extraído de: <http://www.jmarcano.com/educa/index.html>. en mayo de 2013.

**Perozo M.** (2008). “Sistema integral de medidas para la reducción del riesgo de las inundaciones en la llanura del río Coro”. Informe técnico. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae). La Habana, Cuba.

**PREVENE** (2001). "Aporte a la prevención de desastres ‘naturales’ en Venezuela", Proyecto VEN/00/005, Cooperación: Venezuela – Suiza, Proyecto de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

**Rodríguez W. y Valcarce R.** (2003). “Aplicación SIG para evaluar el peligro de inundaciones”. Ponencia en la 12 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae). La Habana, Cuba.

**Sacasas L.** (2004). “Peligro de huracanes en Cuba evaluados en un sistema de información geográfica”. Ponencia en la 12 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae). La Habana, Cuba.