

SIMULACIÓN DE LA OCURRENCIA, INTENSIDAD Y DURACIÓN DE CICLONES TROPICALES EN TERRITORIO MEXICANO



16/06/2009

Asignatura: Simulación

Universidad Nacional Autónoma de México

Posgrado de la Facultad de Ingeniería

Maestría en Ingeniería de Sistemas (Investigación de Operaciones)

Alumno: Mendoza Estrada David Ricardo

INTRODUCCIÓN

¿QUÉ SON LOS CICLONES TROPICALES?

Un ciclón tropical es un remolino gigantesco que cubre cientos de miles de kilómetros cuadrados y tiene lugar, primordialmente, sobre los espacios oceánicos tropicales. Cuando las condiciones oceánicas y atmosféricas propician que se genere un ciclón tropical, la evolución y desarrollo de éste puede llegar a convertirlo en huracán. El término huracán tiene su origen en el nombre que los indios mayas y caribeños daban al dios de las tormentas.

REGISTRO DE CICLONES TROPICALES

Los ciclones tropicales se caracterizan por una circulación cerrada de sus vientos y se dividen en fases de acuerdo con su Viento Máximo Sostenido en superficie (VMS). Conforme a la escala Saffir-Simpson tenemos que

DT corresponde a Depresión Tropical: VMS menor a 63 km/h.

TT corresponde a Tormenta Tropical: VMS entre 63 y 118 km/h.

H1 corresponde a Huracán categoría 1: VMS entre 119 y 153 km/h.

H2 corresponde a Huracán categoría 2: VMS entre 154 y 177 km/h.

H3 corresponde a Huracán categoría 3: VMS entre 178 y 209 km/h.

H4 corresponde a Huracán categoría 4: VMS entre 210 y 249 km/h.

H5 corresponde a Huracán categoría 5: VMS mayores a 249 km/h.

Para obtener los registros de ocurrencia de ciclones tropicales se realizó una búsqueda en el sitio web del Servicio Meteorológico Nacional: smn.cna.gob.mx. (Ver Anexo)

ESTADÍSTICAS

Con los datos anteriores se obtuvieron los siguientes datos:

- **Promedio de ciclones al año: 6.**

Tabla 1: Numero de ciclones tropicales por océano

Océano	Total	Probabilidad
Atlántico	59	0.38311688
Pacífico	95	0.61688312
Total	154	

Tabla 2: Frecuencia ciclones tropicales por categoría

Intensidad	Categoría	Frecuencia	Probabilidad
1	DT	45	0.292208
2	TT	58	0.376623
3	H1	23	0.149351
4	H2	12	0.077922
5	H3	8	0.051948
6	H4	6	0.038961
7	H5	2	0.012987
	Total	154	1

Tabla 3: Frecuencia ciclones tropicales por duración

Días	Frecuencia	Probabilidad
1	123	0.8
2	8	0.05
3	12	0.08
4	5	0.03
5	3	0.02
6	1	0.01
y mayor...	2	0.01

Con los resultados anteriores se busca simulará para los siguientes 10 años el número de ciclones por océano, su intensidad, y los días que durará cada ciclón.

SIMULACIÓN EN PROMODEL

PROMODEL no es precisamente el software más adecuado para simular la ocurrencia de ciclones tropicales ya que su enfoque es más industrial, sin embargo, mediante el acomodo de ciertos elementos se ha logrado el objetivo marcado en la Introducción.

LOCACIONES

Se definieron 17 Locaciones.

- Lugar donde se generan los ciclones en el modelo:
 - o *generadorCiclones*
- Costas donde puede ingresar el ciclón:
 - o *costaAtlantico*
 - o *costaPacifico*
- Intensidad que puede tomar el fenómeno:
 - o *depresionTropical*
 - o *tormentaTropical*
 - o *Huracan1*
 - o *Huracan2*
 - o *Huracan3*
 - o *Huracan4*
 - o *Huracan5*
- Duración que puede tener el ciclón en tierra:
 - o *unDia*
 - o *dosDias*
 - o *tresDias*
 - o *cuatroDias*
 - o *cincoDias*
 - o *seisDias*
 - o *sieteDiasYMas.*

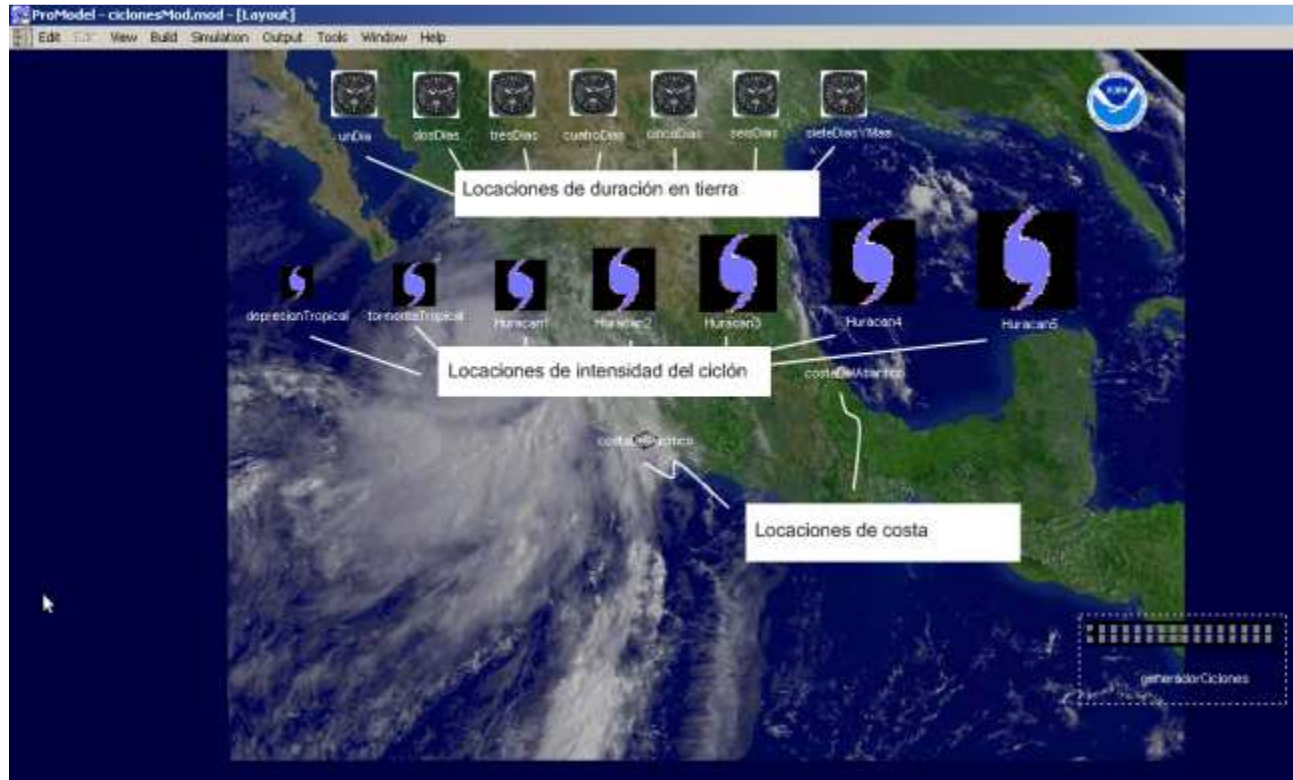
En la Figura 1 se muestra una imagen con la captura de las Locaciones (Locations).

Figura 1: Definición de las Locaciones

Icon	Name	Cap.	Units	DTs...	Stats...	Rules...
	generadorCiclones	INFINITE	1	None	Time Series	Oldest, FIFO
	costaDelAtlantico				Time Series	Oldest
	costaDelPacifico				Time Series	Oldest
	depresionTropical	INFINITE	1	None	Time Series	Oldest
	tormentaTropical	INFINITE	1	None	Time Series	Oldest
	Huracan1	INFINITE	1	None	Time Series	Oldest
	Huracan2				Time Series	Oldest
	Huracan3				Time Series	Oldest
	Huracan4	INFINITE	1	None	Time Series	Oldest
	Huracan5	INFINITE	1	None	Time Series	Oldest
	unDia	INFINITE	1	None	Time Series	Oldest
	dosDias	INFINITE	1	None	Time Series	Oldest
	tresDias				Time Series	Oldest
	cuatroDias				Time Series	Oldest
	cincoDias	INFINITE	1	None	Time Series	Oldest
	seisDias	INFINITE	1	None	Time Series	Oldest
	sieteDiasYMas	INFINITE	1	None	Time Series	Oldest

En la Figura 2 se observa a las Locaciones en el *Layout* de PROMODEL.

Figura 2: Representación grafica de las Locaciones



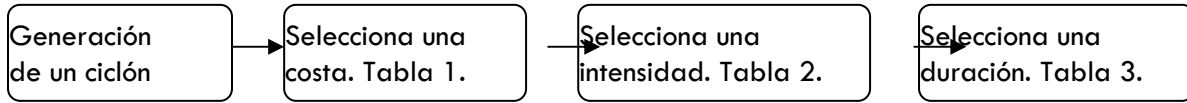
ENTIDADES

Se definió una única entidad: *Ciclón*.



PROCESOS

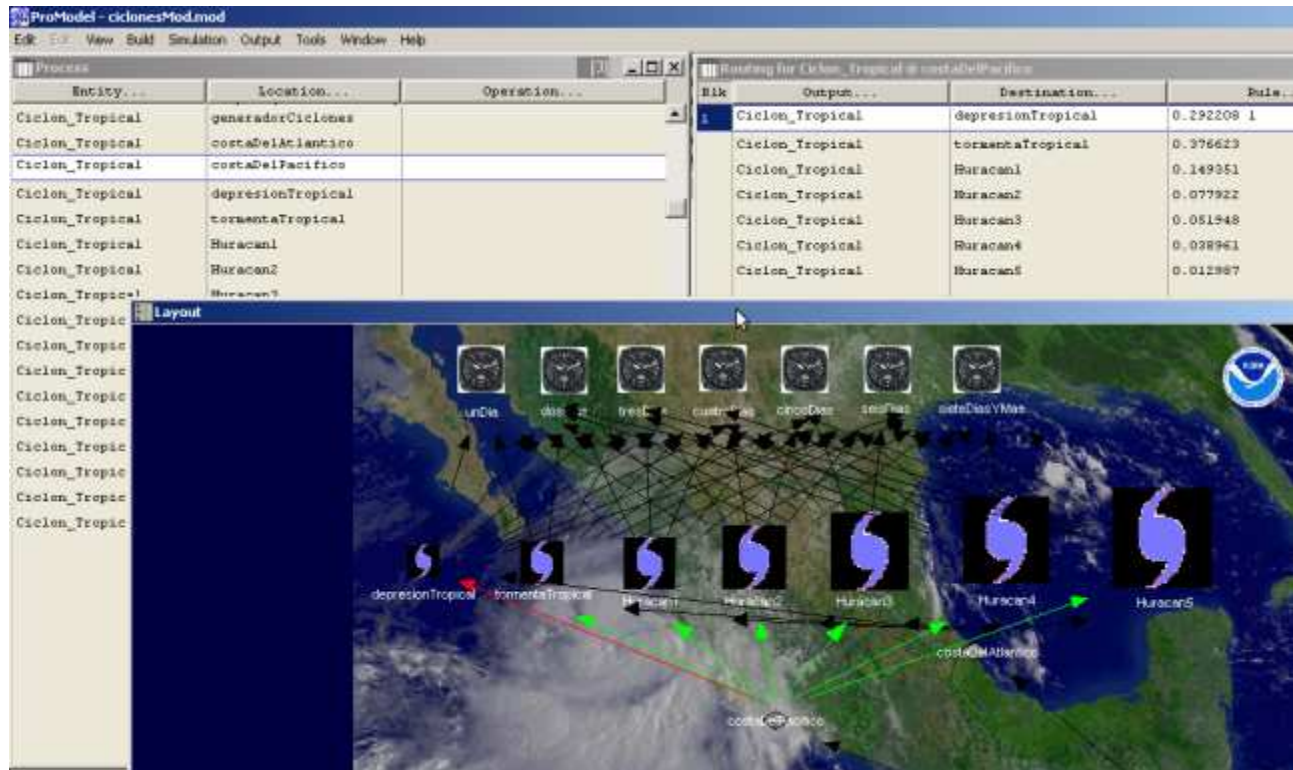
En general el proceso sigue el siguiente diagrama de flujo:



Al momento en que la entidad *Ciclón* debe escoger una *Locación*, lo hace conforme a la distribución de probabilidad correspondiente a cada proceso del diagrama, por ejemplo, en el caso de escoger una costa por la que ingresará a tierra, lo hará conforme a las probabilidades descritas en la Tabla 1. Este sistema de selección se ingreso mediante la opción *Rule* y a continuación en *Probability* definiendo la probabilidad que *Ciclón* se vaya a una u otra *Locación*.

En la figura 3 se puede observar como una vez que aleatoriamente el modelo ha seleccionado que *Ciclón* entre por el Océano Pacífico, ahora deberá seleccionar que intensidad tendrá *Ciclón*.

Figura 3: Proceso de selección de intensidad de un ciclón



ARRIBOS

Ya que para esta simulación no se toma en cuenta el tiempo en que se generan los ciclones, los arribos de *Ciclon* pueden ser sin ninguna regla estricta.

EJECUTANDO EL MODELO

Dado que el promedio de ciclones tropicales que ingresa a territorio mexicano es de 6 por año, entonces se generaron 60 ciclones tropicales para abarcar un periodo de 10 años.

RESULTADOS

En general, PROMODEL arroja los siguientes resultados expresados en la Tabla 4:

Tabla 4: Resultados generales de PROMODEL

LOCATIONS

Location Name	Scheduled Hours	Capacity	Total Entries
generadorCiclones	3.235916667	999999	60
costaDelAtlantico	3.235916667	999999	19
costaDelPacifico	3.235916667	999999	41
depressionTropical	3.235916667	999999	22
tormentaTropical	3.235916667	999999	21
Huracan1	3.235916667	999999	4
Huracan2	3.235916667	999999	5
Huracan3	3.235916667	999999	1
Huracan4	3.235916667	999999	5
Huracan5	3.235916667	999999	2
unDia	3.235916667	999999	47
dosDias	3.235916667	999999	6
tresDias	3.235916667	999999	5
cuatroDias	3.235916667	999999	1
cincoDias	3.235916667	999999	0
seisDias	3.235916667	999999	0
sieteDiasYMas	3.235916667	999999	1

Aunque son buenos los resultados de la Tabla 4, son muy generales, por lo que para lograr conseguir lo que nos interesa (intensidad y días que durará cada ciclón), se solicitó a PROMODEL otro tipo de reporte mostrado en la Tabla 5:

Tabla 5: Resultados particulares de PROMODEL

Statistic										
cincoDias - Total Entries	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
costaDelAtlantico - Total Entries	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3
	3	3	3	3	4	4	4	5	6	6
	7	7	7	7	7	7	7	8	9	9
	10	10	11	11	12	12	13	13	13	13
	13	13	13	14	14	15	15	15	16	16
costaDelPacifico - Total Entries	17	18	18	19	19	19	19	19	19	19
	0	1	2	3	4	4	5	6	6	7
	8	9	10	11	11	12	13	13	13	14
	14	15	16	17	18	19	20	20	20	21
	21	22	22	23	23	24	24	25	26	27
cuatroDias - Total Entries	28	29	30	30	31	31	32	33	33	34
	34	34	35	35	36	37	38	39	40	41
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
depressionTropical - Total Entries	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	0	1	2	2	3	3	3	3	4	5
	6	7	7	8	9	9	9	9	9	10
	10	10	10	10	11	11	12	12	12	12
dosDias - Total Entries	12	12	13	14	14	14	14	15	16	16
	16	16	17	17	17	17	17	17	18	18
	18	18	19	19	19	19	20	20	21	22
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4
	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5
	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6
	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6

Lo que se puede observar en la Tabla 5 es el estado de cada Locación durante el paso de las Entidades generadas por el modelo. Manipulando estos resultados por medio de la exportación a archivos de texto y su importación a una hoja de cálculo, se obtuvieron los siguientes resultados en las Tablas 6 a 9.

Tabla 6: Número de ciclones por costa

Costa del Atlántico	19
Costa del Pacífico	41

Tabla 7: Número de ciclones por intensidad y por costa

	DT	TT	H1	H2	H3	H4	H5
Costa del Atlántico	4	11	0	2	0	2	0
Costa del Pacífico	18	10	5	3	3	0	2

Tabla 8: Número de ciclones por intensidad y por duración en tierra

Horas en tierra\	DT	TT	H1	H2	H3	H4	H5
1	17	18	4	6	2	1	1
2	1	2	1	0	1	0	1
3	0	1	1	0	0	1	0
4	1	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0
más de 7	1	0	0	0	0	0	0

Tabla 9: Número de ciclones por intensidad

DT	22
TT	21
H1	5
H2	5
H3	3
H4	2
H5	2

Registro de ciclones tropicales que han tocado tierra en la República Mexicana desde 1970 a 2005

Año	Océano	Nombre	Categoría en impacto	Lugar de Entrada a Tierra	Días
2005	Atlántico	Bret	TT	15 km al sur de Tuxpan, Ver	1
2005	Atlántico	Cindy	DT	10 km al Oeste de Felipe Carrillo Puerto, Qroo	1
2005	Pacífico	Dora	DT	25 km de línea de costa, 55 km al SE Zihuatanejo, Gro	1
2005	Atlántico	Emily	H4	20 km al N de Tulum, Qroo (San Fernando, Tamps)	3
2005	Atlántico	Gert	TT	10 km al Sureste de Panuco, Ver	1
2005	Atlántico	José	TT	10 km al Sureste de Vega de Alatorre, Ver	1
2005	Atlántico	Stan	TT	Felipe Carrillo Puerto, Qroo (San Andres Tuxtla, Ver)	3
2005	Atlántico	Wilma	H4	Cozumel, Playa del Carmen, Qroo	1
2004	Pacífico	Javier	DT	Punta Abreojos, BCS	1
2004	Pacífico	DT 16E	DT	Mocorito, Sin	1
2004	Pacífico	Lester	TT	40 km al SSE de Acapulco, Gro	1
2003	Pacífico	Carlos	TT	15 km al NE de Pinotepa Nacional, Oax	1
2003	Atlántico	Claudette	TT	25 km al SSW de Cancún Qroo (Cd. Acuña, Coah)	6
2003	Atlántico	Erika	H1	55 km al Sur de Matamoros, Tamps	1
2003	Pacífico	Ignacio	H2	60 km al Este de Cd. Constitución, BCS	1
2003	Pacífico	Marty	H2	15 km al NE de San José del Cabo, BCS	1
2003	Atlántico	Larry	TT	El alacran, Tabasco	1
2003	Pacífico	Olaf	TT	Cihuatlán, Jal	1
2003	Pacífico	Nora	DT	Cruz de Elota, Sin	1
2002	Atlántico	Isidore	H3	Telchac Puerto, Yuc	1
2002	Pacífico	Julio	TT	Lazaro Cardenas, Mich	1
2002	Pacífico	Kenna	H4	San Blas, Nay	1
2001	Atlántico	Chantal	TT	Chetumal, Qroo	1
2001	Pacífico	Juliette	H1	La Paz, BCS (Constitución, Libertad, El Huerfanito)	4
2001	Atlántico	Iris	DT	Presa La Angostura, Chis	1
2000	Atlántico	Beryl	TT	Sto. Domingo del Charco, Tamps	1
2000	Pacífico	Miriam	TT	Los Cabos, BCS	1
2000	Atlántico	Gordon	DT	Tulum, Qroo	1
2000	Pacífico	Norman	TT	Bahía Bufadero, Mich (Mazatlan, Sin)	3
2000	Atlántico	Keith	TT	Chetumal, Qroo (Tampico, Tamps)	3
2000	Pacífico	Rosa	TT	Puerto Ángel, Oax.	1
1999	Atlántico	DT2	DT	Cazones-Tuxpan, Veracruz	1
1999	Atlántico	Bret	DT	Sur de Texas-Nuevo Laredo, Tamps	1
1999	Atlántico	DT7	DT	Tepehuanes, Tamaulipas	1

Simulación de la ocurrencia, intensidad y duración de ciclones tropicales en territorio mexicano

1999	Pacífico	Greg	H1	Sn. José del Cabo, BCS	1
1999	Atlántico	DT 11	DT	90 km Noreste Coatzacoalcos, Ver	1
1999	Atlántico	Katrina	DT	45 km NNW Chetumal, Qroo	1
1998	Pacífico	Frank	TT	Abreojos, BCS	1
1998	Pacífico	Isis	TT	Los Cabos, BCS (Topolobampo, Sin)	1
1998	Atlántico	Charley	DT	Cd. Acuña, Coah.	1
1998	Atlántico	Mitch	DT	Cd. Hidalgo Chis (Campeche, Camp)	3
1997	Pacífico	Nora	H1	B.Tortugas, BCS (P. Canoas, BC)	2
1997	Pacífico	Olaf	TT	Bocabarra, Oax (Manzanillo, Col)	15
1997	Pacífico	Pauline	H3	Puerto Ángel, Oax (Acapulco, Gro)	1
1997	Pacífico	Andres	TT	Puerto Madero, Chis	1
1997	Pacífico	Rick	H1	Puerto Escondido, Oax	1
1996	Atlántico	Dolly	H1	F.C. Puerto, Qroo (Pueblo Viejo, Ver)	4
1996	Pacífico	Alma	H2	La Mira, Mich	1
1996	Pacífico	Boris	H1	Tecpan de Gal., Gro	1
1996	Pacífico	Cristina	TT	Huatulco, Oax	1
1996	Pacífico	Fausto	H1	Todos Santos, BCS (San Ignacio, Sin)	2
1996	Pacífico	Hernan	H1	Cihuatlan, Jal (San Blas, Nay)	2
1995	Atlántico	DT 6	DT	Tamiahua, Ver	1
1995	Atlántico	Gabrielle	TT	La Pesca, Tamps	1
1995	Pacífico	Henriette	H2	Cabo San Lucas, BCS	1
1995	Pacífico	Ismael	H1	Topolobampo, Sin	1
1995	Atlántico	Opal	DT	B. Espiritu Santo, Qroo	1
1995	Atlántico	Roxanne	H3	Tulum, Qroo (Mtz de la Torre, Ver)	11
1994	Atlántico	DT 5	DT	Tampico, Tamps	1
1994	Pacífico	Rosa	H2	Escuinapa, Sin	1
1993	Atlántico	Gert	TT	Chetumal, Qroo (Tuxpan, Ver)	3
1993	Pacífico	Beatriz	TT	Pinotepa Nacional, Oax	1
1993	Pacífico	DT 3E	DT	Los Frailes, BCS	1
1993	Pacífico	Calvin	H2	Manzanillo, Col (Las Lagunas, BCS)	2
1993	Pacífico	Hilary	TT	Punta Pequeña, BCS (Bahía Kino, Son)	2
1993	Pacífico	Lidia	H2	Campo Anibal, Sin	1
1992	Pacífico	Lester	H1	P.Abreojos, BCS (B.Sargento, Son)	1
1992	Pacífico	Virgil	H2	Peñitas, Mich	1
1992	Pacífico	Winifred	H2	Cuyutlan, Col	1
1991	Atlántico	DT 2	DT	La Pesca, Tamps	1

Simulación de la ocurrencia, intensidad y duración de ciclones tropicales en territorio mexicano

1991	Pacífico	DT 5e	DT	Pinotepa Nacional, Oax	1
1991	Pacífico	Ignacio	TT	Lazaro Cardenas, Mich	1
1990	Atlántico	Diana	TT	Chetumal, Qroo (Tuxpan, Ver)	3
1990	Pacífico	Rachel	TT	Cabo San Lucas, BCS (Los Mochis, Sin)	1
1989	Pacífico	Cosme	H1	Cruz Grande, Gro.	1
1989	Pacífico	Kiko	H3	B. Los Muertos, BCS	1
1989	Pacífico	Raymond	TT	Pta. Abreojos, BCS (B. Kino, Son)	2
1988	Atlántico	Gilbert	H5	Puerto Morelos, Qroo (La Pesca, Tamps)	4
1988	Atlántico	Keith	TT	Cancún, Qroo	1
1988	Atlántico	Debby	H1	Tuxpan, Ver	1
1987	Pacífico	Eugene	H1	Tenacatita, Jal	1
1987	Pacífico	Norma	DT	Todos Santos, BCS	1
1986	Pacífico	Roslyn	H1	Mazatlan, Sin	1
1986	Pacífico	Paine	H1	Topolobampo, Sin	5
1986	Pacífico	Newton	H1	Yavaros, Son	1
1985	Pacífico	Waldo	H2	Punta Prieta, Sin	1
1984	Pacífico	Norbert	TT	Abreojos, BCS	1
1984	Pacífico	Odile	TT	Lazaro Cardenas, Mich	1
1984	Pacífico	Polo	DT	La Aguja y Pichilingue, BCS	1
1984	Atlántico	Edouard	TT	A 70 km al Este de Nautla, Ver	1
1983	Pacífico	Adolph	TT	Chamela - Puerto Vallarta, Jal (Sta Cruz, Nay)	2
1983	Pacífico	Tico	H3	Caimanero, Sin	1
1983	Atlántico	Barry	H1	Media Luna, Tamps	1
1982	Pacífico	Paul	H2	Las Lagunas, BCS	3
1982	Atlántico	Alberto	DT	A 20 km al Norte de Holbox, Qroo	1
1981	Pacífico	Norma	H2	Marmol, Sin	1
1981	Pacífico	Otis	TT	Caimanero, Sin	1
1981	Pacífico	Lidia	TT	Topolobampo, Sin	1
1981	Pacífico	Knut	TT	Marmol, Sin	1
1981	Pacífico	Irwin	DT	San José del Cabo y La Paz, BCS	1
1980	Atlántico	Allen	H3	Río Bravo, Tamps	1
1980	Atlántico	Danielle	DT	Cd Acuña, Coah	1
1980	Atlántico	Hermine	TT	Sacxan, Qroo (Catemaco, Ver)	3
1979	Pacífico	Ignacio	TT	Playa Azul, Mich	1
1979	Atlántico	Henriette	DT	Puerto Morelos, Qroo	1
1979	Pacífico	Andres	H1	Tizupan, Mich	1

Simulación de la ocurrencia, intensidad y duración de ciclones tropicales en territorio mexicano

1978	Pacífico	Paul	DT	Las Glorias, Sin	1
1978	Pacífico	Olivia	TT	Custepec, Chis (en tierra) (Zapata, Chis)	3
1978	Pacífico	Aletta	TT	B. Petacalco, Gro	1
1978	Atlántico	Greta	DT	Bonanpak, Chis	1
1978	Atlántico	Bess	TT	Tecolutla, Ver	1
1978	Atlántico	Amelia	DT	Playa Lauro Villar, Tamps	1
1977	Pacífico	Glenda	DT	Pta Eugenia, BCS	1
1977	Pacífico	Doreen	H1	Todos Santos, BCS (Abrejos, BCS)	1
1977	Atlántico	Anita	H5	La Pesca, Tamps	1
1976	Pacífico	Liza	H4	La Paz, BCS (Topolobampo, Sin)	3
1976	Pacífico	Naomi	TT	Mazatlan, Sin	1
1976	Pacífico	Madeline	H4	B. Petacalco, Gro	1
1976	Pacífico	Kathleen	TT	Pta. Eugenia, BCS (P.Sta. Catarina, BC)	1
1975	Pacífico	Oliva	H3	Villa Unión, Sin	1
1975	Pacífico	Eleanor	DT	Cuyutlan, Col	1
1975	Atlántico	Eloise	TT	Puerto Morelos, Qroo	1
1975	Atlántico	Caroline	H3	La Pesca, Tamps	1
1974	Pacífico	Orlene	DT	Lag Monroy, Oax (La Cruz, Sin)	4
1974	Pacífico	Norma	TT	Tecpan de Gal, Gro	1
1974	Pacífico	Aletta	TT	Cuyutlan, Col	1
1974	Atlántico	Fifi	TT	El Cedro, Chiapas	1
1974	Atlántico	Carmen	H4	Punta Herradura, Qroo	1
1973	Pacífico	Berenice	TT	Lazaro Cardenas, Mich	1
1973	Pacífico	Claudia	TT	Acapulco, Gro	1
1973	Pacífico	Heather	DT	Salina Cruz, Oax	1
1973	Pacífico	Irah	H1	La Paz, BCS (Topolobampo, Sin)	2
1973	Pacífico	Jennifer	DT	Mazatlan, Sin	1
1973	Atlántico	Brenda	DT	Cancún, Qroo (Nvo Progreso, Camp)	4
1973	Atlántico	Delia	DT	Cd. Acuña, Coah	1
1972	Pacífico	Annette	TT	Manzanillo, Col	1
1972	Pacífico	Hyacinth	DT	San Diego, Cal. E.U	1
1972	Pacífico	Joanne	TT	Punta Prieta, BC (P Peñasco, Son)	1
1972	Atlántico	Agnes	DT	Tekax, Yuc (Formación en tierra)	1
1971	Pacífico	Agatha	H1	Lazaro Cardenas, Mich	1
1971	Pacífico	Bridget	TT	Cacban, Mich	1
1971	Pacífico	Katrina	DT	Topolobampo, Sin	1

Simulación de la ocurrencia, intensidad y duración de ciclones tropicales en territorio mexicano

1971	Pacífico	Lily	H1	Barra de Navidad y Puerto Vallarta, Jal	1
1971	Pacífico	Oliva	DT	Punta Abreojos, BCS	1
1971	Pacífico	Priscilla	TT	Santa Cruz, Nay	1
1971	Atlántico	Chloe	DT	Chetumal, Qroo	1
1971	Atlántico	Edith	TT	Chetumal, Qroo (La Pesca, Tamps)	5
1971	Atlántico	Fern	TT	Presca Falcon, Tamps	1
1970	Pacífico	Eileen	TT	Las Coloradas, Nay	1
1970	Pacífico	Norma	DT	Punta Abreojos, BCS	1
1970	Pacífico	Orlene	DT	Arriaga, Chis	1
1970	Atlántico	Greta	DT	Telchac Pto, Yuc (Tampico, Tamps)	5
1970	Atlántico	Ella	DT	Akumal, Qroo (La Pesca Tamps)	3
1970	Atlántico	Celia	TT	Piedras Negras, Coah	1