

# Ciclo de 6202 días del seiche extremo en Isla Magueyes

---

Por

Edwin Alfonso-Sosa, Ph. D.

## Introducción

En Isla Magueyes, Puerto Rico ocurre un seiche con un periodo de 50 minutos (1.2 CPH). El seiche por lo general tiene una altura menor de 4 cm, pero durante un periodo breve durante el mes, aproximadamente de unos tres días, puede incrementar su altura desde 5 cm hasta 14 cm. Algunos eventos grandes superan la altura de 15 cm. Los eventos extremos muestran alturas entre los 19 cm y 27 cm. La energía total por unidad de área de un seiche con altura de 20 cm es  $50 \text{ J m}^2$ , unas 25 veces mayor que la de un seiche con altura de 4 cm. Investigadores del Departamento de Ciencias Marinas en Isla Magueyes, descubrieron que el aumento en actividad y altura de los mismos, mostraba un patrón de actividad quincenal, que incrementaba marcadamente cuando le precedían, por unos 7 días, condiciones astronómicas de syzygy y perigeo lunar (Giese et al. 1982; Giese et al. 1990). Cuando coinciden estas dos condiciones astronómicas, la marea semidiurna alcanza el máximo rango de altura, o sea hay una marea viva extrema. Entre 5 a 8 días más tarde, durante la marea muerta, incrementa la actividad y altura del seiche. Giese y colaboradores explicaron que el seiche era forzado por olas internas solitarias, que se generaron en el SE del Mar Caribe durante las mareas vivas extremas, que luego de una travesía de 7 días alcanzaban la plataforma insular del SO de Puerto Rico, excitando las aguas sobre ésta. En ese momento ocurre una transferencia de energía baroclínica a barotrópica. Hay que aclarar, que las simultáneas condiciones de syzygy y perigeo no siempre garantizan que transcurridos los siete días ocurrirá un seiche extremo. Incluso, podría ser pequeño. No obstante, es sorprendente que el seiche en Isla Magueyes mantenga tan armonioso patrón.

Cuando la fase de luna nueva (llena) coincide con el perigeo lunar, separados por un número preciso de horas, esa misma coincidencia no se volverá a repetir hasta 8.976 años (3278.5 días) más tarde. El intervalo de tiempo entre una luna nueva en perigeo y una luna llena en perigeo es de 3.92 años (1432.6 días). Por lo tanto, condiciones favorables para la excitación de un seiche grande, recurren aproximadamente cada cuatro años.

Este trabajo muestra por primera vez que el seiche extremo recurre cada 6202 días (16.98 años). Este periodo es muy cercano al periodo de 6163 días (16.87 años), que es el resultado de la coincidencia del movimiento del perigeo lunar ( $T = 8.85$  años) con la regresión del nodo lunar ( $T = 18.61$  años). Si a lo anterior incluimos el perihelio ( $T = 20,942$  años), alcanzamos un periodo mucho más cercano, de unos 6203 días. Demostramos que durante la coincidencia repetida de los tres movimientos orbitales

ocurren seiches grandes o extremos por un relativamente breve periodo (~12 h). También demostramos que seiches extremos, con propiedades similares, pertenecen al mismo ciclo o familia de eventos, cada uno independiente del otro. Identificamos cuatro ciclos diferentes que concurren en un periodo de 30 años. Esto es análogo al ciclo de Saros de eclipses solares, en el sentido de que una familia de eclipses, o sea un ciclo de Saros, es independiente de cualquier otro ciclo de Saros.

## Método

Seleccionamos los eventos de seiche grandes ( $H > 15$  cm) y extremos ( $H > 19$  cm) registrados por el mareógrafo de Isla Magueyes y reportados en el portal de internet de NOAA/NOS/Co-OPS, ocurridos entre los años 1989 y 2012, a éstos les añadimos aquellos eventos que superaban la altura de 20 cm, ya reportados en la literatura (Giese et al. 1982; Giese et al. 1990, Teixeira y Capella, 2000). Calculamos el intervalo de tiempo entre cada uno de los eventos. Los resultados se tabularon para ver semejanzas en las propiedades de los mismos. La explicación de como se obtuvieron y calcularon las efemérides astronómicas asociadas a los eventos se explica en Alfonso-Sosa (2012).

Tenemos limitaciones en la disponibilidad de datos con periodo de muestreo de 6 minutos, ya que la serie de tiempo comienza en Feb 28 1995 y se mantiene hasta el día de hoy (Jun 18 2012). Apenas han transcurrido 6320 días (17 años). Por lo tanto, los datos anteriores a estas fechas provienen de los artículos de Giese y colaboradores, ya citados arriba. La serie de tiempo, con tiempo de muestreo de 1 hora, comienza el 01/01/ 1965, sólo seiches extremos que se mantuvieran por un periodo prolongado (> 5 horas) pueden inferirse a base de la distorsión evidente en la curva mareal. Por ejemplo, en el día 09/19/1989 la distorsión de la marea es tan evidente, que podemos inferir la altura del seiche. No obstante esta práctica solo la aplicamos al evento anterior y evitamos utilizar registros anteriores al 1995. Por las limitaciones expuestas arriba, prácticamente sólo podemos ver la primera oscilación del ciclo de los seiches extremos y a lo sumo la segunda con la ayuda de los datos reportados por Giese y colaboradores. Si el mareógrafo en I. Magueyes se mantiene operando por 17 años adicionales, entonces podremos ver la segunda oscilación de cada uno de los ciclos.

## Resultados

La Tabla 1 muestra nueve eventos de seiches: cinco son extremos, tres son grandes y uno es mediano. Se identificaron cuatro ciclos de seiches extremos (identificado con número y color): Magueyes 01-04. El ciclo Magueyes 01 cuenta con tres eventos. Se muestra el intervalo de tiempo entre parejas de eventos, hay cuatro parejas que muestran valores entre 6201.0 y 6203.5 días, promediando  $6202.2 \pm 1.3$  días. El intervalo de tiempo entre MI1 y MI2 es de 6143.8 días, unos 58.4 días menos que el valor promedio, aproximándose a dos meses sinódicos ( $2 * 29.53$  días = 59.06 días). Los cuatro diferentes ciclos detectados concurren en un periodo de 30 años (1982-2012). La Tabla 1 muestra que cada evento puede durar entre 3 a 12 horas, pero generalmente su duración es de 6 horas.

La Tabla 2 muestra la velocidad angular y el periodo de los siguientes movimientos orbitales del Sistema Tierra-Luna-Sol: movimiento del perigeo lunar ( $\omega_4$ ), de la regresión del nodo lunar ( $\omega_5$ ) y el movimiento del perihelio ( $\omega_6$ ). Se calculó la velocidad angular del constituyente mareal  $\omega_c$ , sumando las velocidades angulares de los respectivos movimientos orbitales:

$$\omega_c = \omega_4 - \omega_5 - n \omega_6, \text{ tal que } n= 0, 5, 8. \quad \text{Eq. 1a.}$$

Con  $n = 0$  se obtuvo  $\omega_c = 0.002433717^\circ \text{ hr}^{-1}$ , equivalente a un periodo de 6163 días. Unos 39 días menos que el ciclo de 6202 días, observado en los seiches de Isla Magueyes. Si incluimos el movimiento del perihelio, que tiene un periodo de 20,942 años, obtenemos con  $n= 5$  y  $n=8$ , unos 6188 y 6203 días, respectivamente. Este último periodo del constituyente mareal  $\omega_c$ , es prácticamente igual al periodo del ciclo de seiche extremo observado en Isla Magueyes. Una expresión equivalente de la ecuación 1 existe usando los siguientes números de Doodson ( $d_1 \dots d_6$ ):

$$\omega_c = d_1 \omega_1 + (d_2-5) \omega_2 + (d_3-5) \omega_3 + (d_4-5) \omega_4 + (d_5-5) \omega_5 + (d_6-5) \omega_6 \quad \text{Eq. 1b}$$

$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$d_6$	$\omega_c (^\circ \text{ hr}^{-1})$	Period (d)	Period (yr)
0	5	5	6	4	5	0.002433717	6163	16.87
0	5	5	6	4	0	0.002423912	6188	16.94
0	5	5	6	4	-3	0.002418029	6203	16.98

La velocidad angular  $\omega_1$  está asociada al día lunar promedio,  $\omega_2$  se asocia al mes sideral y  $\omega_3$  al año tropical.

La coincidencia de estos movimientos orbitales, que se repite cada 6203 días, abre la puerta para predecir probables eventos de seiches extremos en Isla Magueyes. Utilizando el valor promedio de la ocurrencia de seiches extremos ( $6202.2 \pm 1.3$  días), podemos predecir una ventana de tiempo durante la cual es probable la ocurrencia de un seiche extremo (vea Tabla 3). La ventana abarca unos 2.5 días.

## Discusión

Los resultados demuestran que la coincidencia repetitiva de los elementos orbitales mantiene un periodo de 6203 días, que equivale a 16.9843 años. Para términos de esta discusión, nos referiremos a ese periodo con el nombre Ciclo Magueyes. El doble del ciclo del perigeo lunar es de 17.7 años, entonces no puede ser confundido con el Ciclo Magueyes. Tampoco con el ciclo de regresión del nodo lunar de 18.61 años. Si los seiches extremos responden al Ciclo Magueyes, este hallazgo apoya que los mismos son excitados por olas internas, generadas por la marea astronómica y no por eventos meteorológicos.

La principal limitación de este estudio, es que sólo tenemos 17 años de datos de altura del nivel del agua en I. Magueyes con tiempo de muestreo de 6 minutos. Por lo anterior, estamos limitados a la primera oscilación del ciclo Magueyes. No obstante, identificamos cuatro ciclos Magueyes que concurren, fortaleciendo así la evidencia a favor de la existencia del mismo. No obstante, es necesario mantener el mareógrafo en I. Magueyes funcionando continuamente por otros 17 años, para sustentar con mayor fuerza la existencia del Ciclo Magueyes. El evento de seiche pronosticado entre el 11-14 junio del 2016, debe ser registrado para confirmar el Ciclo Magueyes 01.

Una importante ventaja que tenemos es que el mareógrafo queda casualmente a una distancia de aproximadamente 100 km del área de generación de la marea interna, conocida como El Pichincho. Distancia suficiente para que a lo largo de su travesía, la marea interna pueda desencadenar olas internas no-lineales o solitones, que a su vez puedan forzar el seiche costero. Registros de seiches generados por olas internas en otras localidades de nuestro planeta, deben ser examinados para ver si responden al mismo Ciclo Magueyes. Al momento en la literatura los seiches extremos se ven como eventos aislados entre si y que no son cíclicos.

## Conclusión

Seiches grandes o extremos tienden a recurrir cada  $6202.2 \pm 1.3$  días en Isla Magueyes con una duración de 6 horas. La coincidencia repetida de los siguientes elementos orbitales: perigeo lunar, regresión del nodo lunar y del perihelio, muestra idéntica periodicidad. Apoyando así que los seiches extremos responden al Ciclo Magueyes y que no ocurren al azar.

## Bibliografía

Alfonso-Sosa, E., 2012. Efemérides astronómicas para seiches costeros extremos y catastróficos. Octava Contribución al Departamento de Ciencias Marinas.

Giese, G. S., Hollander, R.B., Francher, J.E., Giese, B.S., 1982. Evidence of coastal seiche excitation by tide-generated internal solitary waves, *Geophysical Research Letters* 9, 1305-1308

Giese, G.S., Chapman, D.C., Black, P.G., Fornshell, J.A., 1990. Causation of large-amplitude coastal seiches on the Caribbean coast of Puerto Rico. *Journal of Physical Oceanography* 20, 1449-1458

Teixeira, M., Capella, J., 2000. A Long-Lead Forecast Model for the Prediction of Shelf Water Oscillations along the Caribbean Coast of the Island of Puerto Rico. *Oceans 2000 MTS/IEEE Conference*. September 12-14, Providence, RI



Event	Time Interval between Syzygy and Max. (Min.) Lun. Dec. $ \Delta t_O - \Delta t_T $	Time Interval between Syzygy and Moon Perigee $ \Delta t_O - \Delta t_P $	Time Interval between Max. (Min.) Lun. Dec. and Perigee $ \Delta t_T - \Delta t_P $	Time Interval between Syzygy and Solstice $ \Delta t_O - \Delta t_S $	Time Interval between Solstice and Moon Perigee $ \Delta t_S - \Delta t_P $	Time Interval between Max. (Min.) Lun. Dec. and Solstice $ \Delta t_T - \Delta t_S $	$\  \Delta t_O - \Delta t_T \  - \  \Delta t_O - \Delta t_P \ $
MI1	9.0	1.3	10.4	66.2	64.9	75.3	7.7
MI2-	0.0	0.3	0.3	0.1	0.4	0.1	0.3
MI10	0.6	0.5	1.1	7.9	8.4	7.2	0.1
MI4	2.7	1.6	1.1	39.4	37.8	36.7	1.1
MI5++	1.7	0.6	1.2	46.5	46.0	44.8	1.2
MI17	1.4	1.7	3.0	8.7	10.4	7.3	0.3
MI3	0.2	0.9	1.1	1.5	2.3	1.2	0.6
MI13	7.9	2.8	5.1	84.7	87.5	92.6	5.1
MI14+	7.5	1.3	6.2	78.1	79.4	85.6	6.2

Event	$\  \Delta t_O - \Delta t_P \  - \  \Delta t_T - \Delta t_P \ $	$\  \Delta t_O - \Delta t_T \  - \  \Delta t_T - \Delta t_P \ $	$\  \Delta t_O - \Delta t_S \  - \  \Delta t_O - \Delta t_P \ $	$\  \Delta t_O - \Delta t_P \  - \  \Delta t_S - \Delta t_P \ $
MI1	9.0	1.3	64.9	63.5
MI2-	0.0	0.2	0.2	0.1
MI10	0.6	0.5	7.3	7.9
MI4	0.5	1.6	37.8	36.2
MI5++	0.6	0.6	46.0	45.4
MI17	1.4	1.7	7.0	8.7
MI3	0.2	0.9	0.6	1.5
MI13	2.3	2.8	81.9	84.7
MI14+	5.0	1.3	76.9	78.1

Event	$\ \Delta t_O - \Delta t_T\  - \ \Delta t_T - \Delta t_S\ $	$\ \Delta t_O - \Delta t_P\  - \ \Delta t_T - \Delta t_S\ $	$\ \Delta t_O - \Delta t_T\  - \ \Delta t_S - \Delta t_P\ $	$\ \Delta t_O - \Delta t_S\  - \ \Delta t_S - \Delta t_P\ $
MI1	66.2	73.9	55.8	1.3
MI2-	0.1	0.2	0.4	0.3
MI10	6.6	6.7	7.8	0.5
MI4	34.0	35.1	35.1	1.6
MI5++	43.1	44.2	44.2	0.6
MI17	6.0	5.7	9.0	1.7
MI3	1.0	0.4	2.1	0.9
MI13	84.7	89.8	79.5	2.8
MI14+	78.1	84.3	71.9	1.3

Event	$\ \Delta t_O - \Delta t_S\  - \ \Delta t_T - \Delta t_P\ $	$\ \Delta t_O - \Delta t_S\  - \ \Delta t_T - \Delta t_S\ $	$\ \Delta t_O - \Delta t_T\  - \ \Delta t_O - \Delta t_S\ $	Minimum Time Interval
MI1	55.8	9.0	57.2	1.3
MI2-	0.2	0.0	0.1	0.0
MI10	6.7	0.6	7.2	0.1
MI4	38.4	2.7	36.7	0.5
MI5++	45.3	1.7	44.8	0.6
MI17	5.7	1.4	7.3	0.3
MI3	0.4	0.2	1.2	0.2
MI13	79.5	7.9	76.8	2.3
MI14+	71.9	7.5	70.6	1.3



Table 2

		Speed ( $^{\circ}$ hr $^{-1}$ )	Period (days)	Period (yr)
The motion of Moon's perigee	$\omega_4$	0.00464052	3232	8.85
The regression of lunar node	$\omega_5$	0.002206803	6797	18.61
The motion of sun's perihelion	$\omega_6$	1.96106E-06	7648923	20942.04
Frequency of the constituent	$\omega_c = \omega_4 - \omega_5$	0.002433717	6163	16.87
Frequency of the constituent	$\omega_c = \omega_4 - \omega_5 - 5\omega_6$	0.002423912	6188	16.94
Frequency of the constituent	$\omega_c = \omega_4 - \omega_5 - 8\omega_6$	0.002418029	6203	16.9843
Frequency of seiche events	$\omega_s$	0.002418503	6202.2	16.9810
Difference	diff= $\omega_s - \omega_c$	4.74534E-07		

Table 3

Extreme Seiche Cycle	Probable Future Events		Forecast Height (cm)
	Start Window	End Window	
Magueyes 01	6/11/2016 17:26	6/14/2016 6:06	21.5
Magueyes 02	5/4/2029 9:08	5/6/2029 21:48	21.5
Magueyes 03	6/22/2026 14:50	6/25/2026 3:30	14.2
Magueyes 04	9/5/2023 13:02	9/8/2023 1:42	16.3