

Calendario de Fenómenos Físicos Oceánicos en Puerto Rico

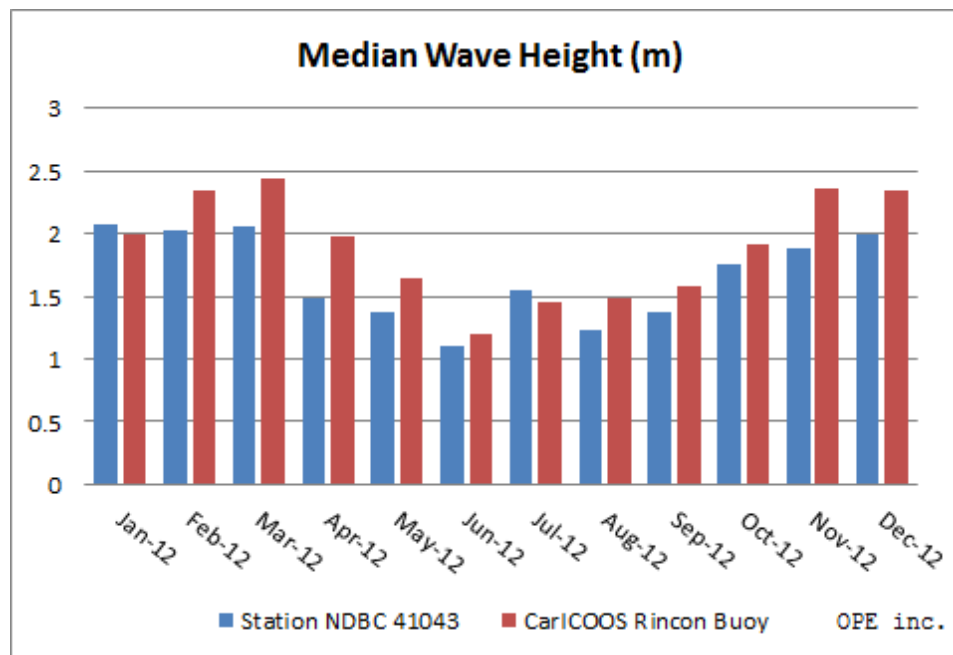
Por

Edwin Alfonso-Sosa, Ph.D.

Ocean Physics Education, 2014, editado el 11/30/2014 2:38 PM

Calendario de Fenómenos Físicos Oceánicos

A nuestras costas arriba continuamente la energía que recorre las profundas aguas oceánicas que rodean a Puerto Rico. Aquí en la isla, los surfistas disfrutan regularmente de las marejadas del noroeste que son generadas en el Atlántico Norte, por distantes tormentas durante el otoño y el invierno. Los puertorriqueños estamos familiarizados con la temporada de oleaje fuerte, con olas de un periodo largo ($T \geq 10$ s), que se extiende desde finales de octubre hasta mediados de abril. Por el contrario, desde mayo hasta septiembre, la actividad de oleaje es menor, no obstante el paso cercano de una fuerte tormenta o huracán puede alterar este periodo de relativa calma por varios días. El ciclo anual del régimen de oleaje es bien conocido por los habitantes de la costa noroeste de PR. Abajo mostramos una gráfica que traza completamente el ciclo anual de la altura del oleaje en Rincón, PR.



Ciclo anual de la altura media del oleaje en Puerto Rico. Las barras azules corresponden a los datos registrados en la Estación NDBC 41043, a unas 170 millas náuticas al NNE de San Juan, y las barras rojas a los datos registrados por la Boya de CarICOOS en Rincón (localizada a 1 milla del Faro de Rincón).

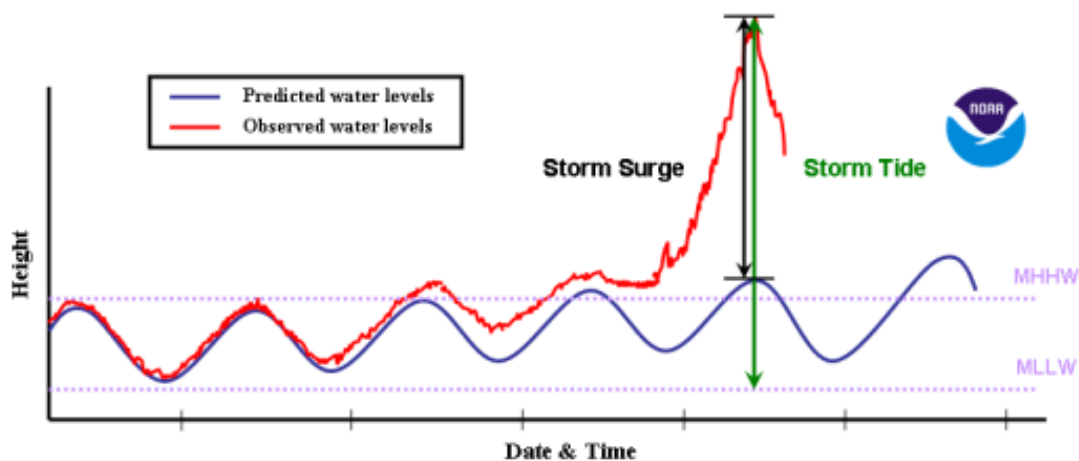
Existen otros fenómenos físicos oceánicos que también presentan un ciclo anual, pero éstos son desconocidos para la mayoría de los puertorriqueños. A continuación, presentamos un calendario que resume algunos de estos fenómenos oceánicos-costeros que afectan a Puerto Rico.

Calendario de Fenómenos Físicos Oceánicos en Puerto Rico													
Fenómeno Físico Oceánico	MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Marejadas otoñales e invernales ($T \geq 10$ s)		█										█	
Mareas ciclónicas por sistemas tropicales									█				
Oleaje de periodo corto por S. tropicales ($T < 10$ s)								█					
Pleamar más alta (mareas)											█		
Bajamar más baja (mareas)		█			█		█						█
Corrientes más fuertes (aguas del Sur y del Oeste)						█	█			█			
Seiches costeros extremos (Costa Sur)					█		█			█		█	
Meteotsunamis locales									█				
Meteotsunamis transatlánticos					█								

Created by Edwin Alfonso-Sosa, Ph.D., 2014

Arriba el calendario indica con la barra de color la extensión de tiempo de cada uno de los fenómenos físicos oceánicos. Este calendario fue construido usando datos de muchos años de observación por parte del programa CarICOOS, CO-OPS del NOS de NOAA, del Programa DART y datos coleccionados y provistos por el autor de este documento.

Otro fenómeno de interés que aparece en la segunda posición en el calendario, son las mareas ciclónicas generadas por el paso de tormentas y huracanes por nuestra región. Por lo general, ocurren entre el mes de agosto y de octubre. Quiero aclarar, que podemos experimentar mareas ciclónicas incluso cuando el trayecto del huracán no pasa sobre Puerto Rico. Sistemas con presiones barométricas bien bajas, tal como fue el caso del huracán Gilbert (1988), pueden incrementar la altura del agua por el efecto de barómetro invertido, a pesar de pasar bastante distante del sur de PR.



La altura de la marea ciclónica observada incluye el efecto de la marea astronómica. Cortesía de NOAA.

Nivel del Agua Máximo registrado en Isla Magueyes, La Parguera, Puerto Rico			
Nombre	Clase	Fecha (LST)	Nivel del Agua Max. (ft) Relativo a MLLW
Isaac	Tormenta	8/23/2012 20:00	1.8
Dean	Huracán	8/18/2007 16:00	1.4
Alpha_2005	Tormenta	10/22/2005 16:00	1.2
Ernesto	Tormenta	8/3/2003 22:00	1.2
Debby	Huracán	8/22/2000 19:00	1.2
Georges	Huracán	9/22/1998 5:00	2.5
Hortense	Huracán	9/10/1996 9:30	1.7
Hugo	Huracán	9/19/1989 2:00	1.1
Gilbert	Huracán	9/11/1988 8:30	1.6

Ocean Physics Education, Inc. 2013

Altura máxima de la marea ciclónica registrada en la estación 9759110 de NOAA/NOS/CO-OPS de Isla Magueyes (1988-2013).

La marea ciclónica más alta (2.5 pies) ocurrió el 22 de septiembre del 1998, durante el azote del H. Georges por el SO de Puerto Rico.

En la tercera posición del calendario situamos a las olas de periodo corto ($T < 10$ s), ocupando los meses desde junio hasta octubre. La temporada de huracanes se extiende desde el primero de junio hasta el 31 de noviembre. Durante esos meses las ondas tropicales se aproximan desde el Este, a éstas les acompaña brisa fuerte (25-30 nudos) que es capaz de generar localmente olas de periodo corto.

En la cuarta posición del calendario ubicamos a las pleamares de mayor altura del año. Éstas generalmente ocurren en los meses de octubre y noviembre. La marea astronómica más alta entre los años 1995 al 2012, ocurrió el 6 de noviembre del 2006.

Marea Astronómica Más Alta en Puerto Rico (1995-2012)			
Localización	Estación NOS/NOAA	Fecha (LST)	Nivel del Agua Max. (ft) Relativo a MLLW
Isla Magueyes	9759110	11/6/2006 11:36	1.61
USCG Compound, San Juan	9755371	11/6/2006 9:54	2.68

Ocean Physics Education, Inc. 2013

Datos son de la estación 9759110 de NOAA/NOS/CO-OPS de Isla Magueyes (1995-2012) y de la estación 975371 en la Puntilla, San Juan.

Las bajamares más bajas se han reportado entre diciembre y enero, cuando estamos cerca del perihelio. También se han reportado durante abril y en junio-julio. La bajamar más baja ocurrió el 11 de junio del 1968 (-0.878 ft).

Basándonos en los pasados 4 años del registro de medidas de corriente del ADCP, instalado en la Boya PR-1 de CariCOOS-localizada al sur de Caja de Muertos, podemos identificar 10 eventos donde las corrientes tienen una magnitud mayor de 2 nudos (103.2 cm s^{-1}), éstas ocurren en el periodo que comprende desde finales de agosto hasta finales de octubre. En el calendario, este periodo se identifica con una banda púrpura. Abajo se desglosan los días de los eventos. Las fuertes corrientes responden a la marea de perigeo, marea ecuatorial, marea tropical y a la marea viva. Algunos eventos se combinan con el paso de ciclones tropicales, pero sus trayectos pasan a una distancia segura de la boya.

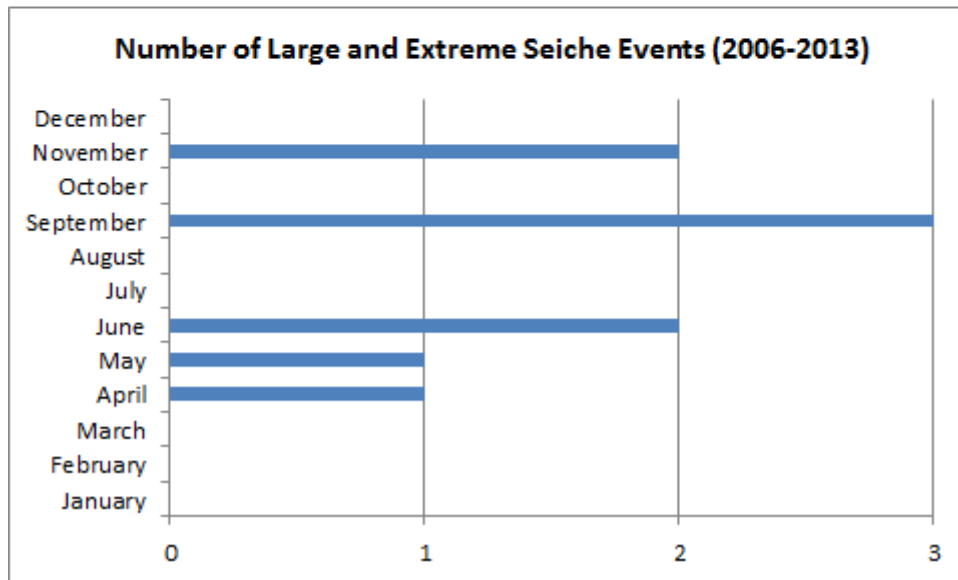
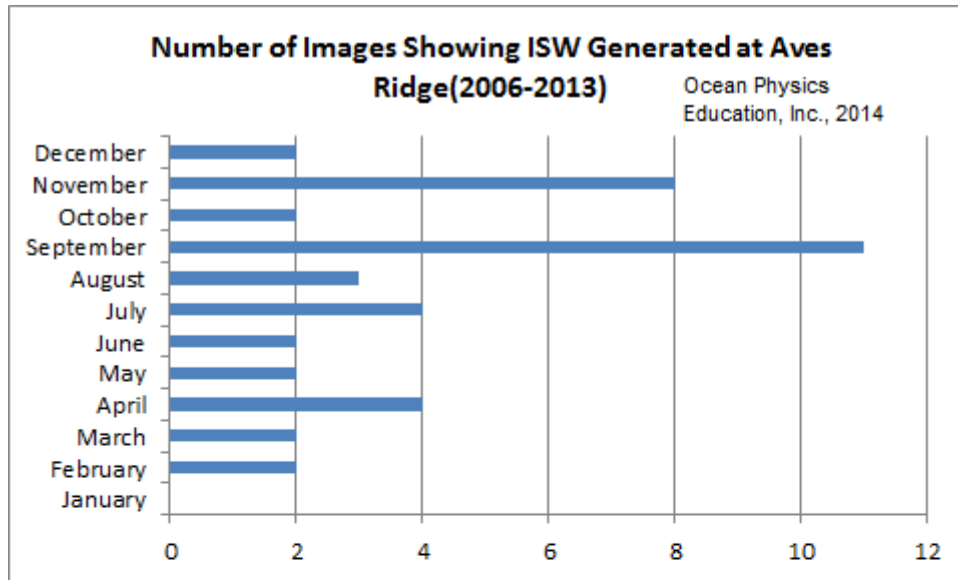
Strong Current Events at PR1 CariCOOS Buoy, 3 km South of Caja de Muertos, Speeds ≥ 2.0 knots.											
Event Number	Date	Lunar Phase	Lunation (days)	Tide	Declination (Deg)	Distance From Earth (km)	Date	Depth (m)	Max. Speed (cm/s)	Max. Speed (knots)	DIR (DEG)
1	8/22/2010 4:00		12		-18.8	404964	8/22/2010 4:00	7	111.3	2.2	132
2	8/31/2010 12:00	Last Quarter	20	Neap, Tropic, Hurricane Earl	21.5	391548	8/31/2010 12:00	8	143.5	2.8	116
3	9/2/2010 6:31	Last Quarter	22	Neap, Tropic	24.4	375737	9/3/2010 1:00	7	142.4	2.8	293
4	9/8/2010 13:10	New Moon	0	Spring, Equatorial, Perigean	0	353153	9/8/2010 20:00	7	103.2	2.0	307
5	10/6/2010 10:10		27	Perigean	-2.8	355107	10/6/2010 18:00	8	111.1	2.2	95
6	9/12/2011 11:00	Full Moon	14	Spring, Equatorial, T. Storm Maria	0	407677	9/13/2011 10:00	9	138.0	2.7	119
7	9/27/2011 11:31	New Moon	29	Spring, Perigean	-6.8	353852	9/27/2011 8:00	8	144.4	2.8	118
8	9/1/2012 13:10	Full Moon	15	Spring, Equatorial	0	393495	9/2/2012 21:00	7	155.2	3.0	145
9	10/18/2012 14:00		3	Tropic, Perigean	-21.5	359935	10/18/2012 23:00	7	113.2	2.2	316
10	10/25/2014 10:00	New Moon	1	Spring	-15.8	384064	10/25/2014 10:00	8	131.3	2.6	107

Ocean Physics Education, Inc., 2014

Eventos de corriente fuerte con magnitud igual o mayor de 2.0 nudos. Registro del ADCP en la boya PR-1 de CariCOOS localizada al sur de Caja de Muertos.

Hasta el momento la corriente más rápida en PR-1 – con una magnitud de 3 nudos –ocurrió el 2 de septiembre del 2012 a las 2100 GMT, con un valor de 155.2 cm s^{-1} (3 nudos). Otra corriente fuerte de 113 cm s^{-1} fue detectada en el mes de junio, por el Dr. Jorge Capella en el *Tourmaline*, en el extremo nororiental de la plataforma insular de Cabo Rojo-Mayagüez.

En la séptima posición del calendario tenemos a los seiches costeros extremos, que son excitados por la llegada de paquetes de olas internas solitarias, que a su vez, se generan en la Cresta Submarina de Aves y hacen una travesía de 450 km - en 4 a 5 días - hasta golpear las pendientes submarinas del suroeste de Puerto Rico. Por lo tanto, la ocurrencia de seiches costeros extremos dependerá de la frecuencia con que se generen y lleguen hasta Puerto Rico esas olas internas de gran amplitud, con la energía suficiente para excitarlos. Abajo mostramos una gráfica que muestra la frecuencia de ambos fenómenos. Los seiches costeros extremos ocurren en el periodo de abril a mayo, y más tarde en septiembre y noviembre, donde aumenta la frecuencia de los mismos. También en septiembre y en noviembre el sensor satelital *MODIS/Terra/Aqua* ha detectado más frecuentemente las olas internas solitarias generadas en la Cresta de Aves. El seiche costero extremo de mayor altura (67.4 cm), llamado el Súper Seiche, ocurrió el 9 de noviembre del 2006 en Isla Magueyes, tres días después de la marea astronómica más alta, a la que ya habíamos hecho referencia arriba.



Frecuencia de ocurrencia de olas internas solitarias y seiches costeros.

En la octava posición indicamos que los meteotsunamis son generados localmente en agosto y septiembre. Durante ese periodo, súbitos pulsos en presión atmosférica acompañan la llegada de ondas tropicales fuertes desde el Este. El pulso genera una ola en la superficie, que al propagarse sobre la plataforma insular con la misma rapidez que el pulso de presión atmosférico, le permite a la ola adquirir más energía y aumentar su amplitud; para luego llegar al puerto donde ocurre una segunda amplificación de la ola. En el Puerto de Fajardo es usual que ocurran meteotsunamis durante el mes de agosto (vea tabla abajo).

Meteotsunami Events at Fajardo Harbor, Puerto Rico (Years 2011-2014) compiled by Edwin Alfonso-Sosa (2014).												
Location	Date (GMT)	Atm. pressure Jump at the sea surface Δp (mb, hPa)*	Static Inverted Barometer Response, $\Delta \eta^*$ (m)	Arrival Time of Pressure Jump	Speed of Atmospheric Disturbance U (MPH)	Distance from the pressure maximum to the front L1 (m)	Distance travelled by the front xf (m)	Maximum elevation of the water level $\Delta \eta$ (m)	Amplification factor $ \Delta \eta / \Delta \eta^* $	Long Wave Celerity C (MPH)	Amplitude in the harbor (m)	Harbor Amplification Factor (m)
Fajardo, PR	8/16/11 18:30	1.3	-0.013	8/16/11 18:30	38.64	1.88E+04	5.08E+04	1.75E-02	1.4	35.0	0.0934	5.3
Fajardo, PR	8/17/11 2:42	0.6	-0.006	8/17/11 2:42	32.20	1.04E+04	5.08E+04	1.46E-02	2.4	35.0	0.1261	8.7
Fajardo, PR	8/4/12 0:18	0.9	-0.009	8/4/12 0:12	38.64	1.25E+04	5.08E+04	1.82E-02	2.0	35.0	0.1753	9.6
Fajardo, PR	8/4/12 4:24	0.6	-0.006	8/4/12 4:18	38.64	6.26E+03	5.08E+04	2.43E-02	4.1	35.0	0.1204	5.0
Fajardo, PR	8/13/12 3:18	1.6	-0.016	8/13/12 3:06	21.47	1.04E+04	5.08E+04	3.88E-02	2.4	35.0	0.1943	5.0
Fajardo, PR	8/8/14 16:53	0.4	-0.004	8/8/14 16:48	34.86	5.65E+03	5.08E+04	1.79E-02	4.5	35.0	0.1495	8.3
*Esperanza, Vieques				Length of Platform along 115°T								

Lista de Meteotsunamis ocurridos en el Puerto de Fajardo durante los años 2011-2014.

Por último, el calendario muestra que los meteotsunamis trasatlánticos ocurren durante el mes de abril, mayo y la primera mitad de junio. Los meteotsunamis se generan en el veril de la plataforma continental a las afueras de New Jersey, durante la salida al océano de los **Derechos**. Estas tormentas de viento ocurren durante la primavera y generan una extensa banda de vientos que superan las 58 MPH y ráfagas de hasta 75 MPH. El Derecho se desplaza a 47 MPH de Este a Oeste. Cuando El Derecho sale al mar, comienza a impartir energía a la ola y una vez la ola se desprende del veril, ésta puede cruzar 1478 millas del Océano Atlántico en 3.25 horas, hasta llegar a las costas de Puerto Rico. La rapidez del meteotsunami puede alcanzar 455 MPH, pero en promedio es 427 ± 24 MPH. Abajo mostramos una tabla con los meteotsunamis trasatlánticos registrados por la estación de NOS/CO-OPS 9759938 localizada al oeste de Mona.

Meteotsunami arrival times, heights and speeds. (Ocean Physics Education, Inc., 2014)			
Gauge	Start Meteotsunami	$\Delta x / \Delta t$ (MPH)	Height (cm)
Mona Island	5/14/2010 12:24	397.80	6.0
Mona Island	4/10/2013 13:06	422.43	12.0
Mona Island	4/11/2013 8:11	432.73	15.2
Mona Island	6/13/2013 20:19	455.31	12.0
Average		427.07	
Standard Deviation		23.86	

Rapidez y altura de los meteotsunamis transatlánticos detectados en isla de Mona.

El **Calendario de Fenómenos Físicos Oceánicos** intenta plasmar el ciclo anual de varios fenómenos que son desconocidos para la mayoría de los habitantes de Puerto Rico. Dado que vivimos en una isla es importante conocer los fenómenos oceánicos que nos afectan y cuando ocurren.

References

[Gigantescas olas internas golpean las pendientes submarinas del suroeste de Puerto Rico](#). La Regata, Año 2012, Vol. 14 No. 9, p. 5

[Seiche de Magueyes, solitones de Aves, pluma del río Orinoco y la Luna](#). La Regata, Año 2013, Vol. 15 No. 10, p. 9

[Current Applications for an Array of Water Level Gauge Stations: New Discoveries in the Seiche Band and the Meteorological-Oceanic Band](#). PDF

[Current Applications for an Array of Water Level Gauge Stations: New Discoveries in the Seiche Band and Meteorological-Oceanic Band](#) (pptx file)

Meteotsunamis golpean a Puerto Rico. La Regata, Año 2014, Vol. 16 No. 1, p. 28. [JPEG](#)