

Solitones de Aves y Seiches de Magueyes

Por

Edwin Alfonso-Sosa, Ph. D.

Diciembre-8-2012

Revisado Diciembre-12-2012

Mayo-17-2013

Definición del seiche y breve recuento histórico

Si alguna vez has estado parado al lado del agua en un lugar sin olas como en La Parguera y observas un cambio rápido en la altura del agua, es posible que estés presenciando un seiche. Un seiche es un vaivén en el nivel del agua y ocurre en un periodo relativamente corto. Generalmente, el rango de periodos discurre entre 10 a 100 minutos. A diferencia, del ir y devenir de la marea, que ocurre predominantemente con periodos de 12 ó 24 horas. La palabra *seiche* es un vocablo franco-suizo usado por los ribereños del Lago Geneve (Lago Lemán) para referirse a la desnivelación rítmica en la altura del mismo, fenómeno estudiado por Forel François-Alphonse en 1895. Los seiches no solo ocurren en lagos, también ocurren en cuerpos de agua parcialmente cerrados tales como bahías y puertos. En algunos lugares se les asigna nombre propio, por ejemplo, en el Puerto de *Ciutadella* en Menorca, de las Islas Baleares, se repite un seiche extremo que supera un metro de altura y periodo de 11 minutos, que ocurre muy cerca del día de San Juan Bautista (24 de Junio), y son nombrados en catalán por los residentes de *Ciutadella* como *Rissagues de Sant Joan*. En singular la palabra es *Rissaga*. El seiche de 36 minutos observado en la Bahía de Nagasaki en Japón se le conoce como *abiki*. El periodo de oscilación del seiche responderá a la profundidad y forma del puerto o bahía. Similar a un péndulo, en que el periodo de oscilación dependerá del largo de la cuerda que sujeta la masa, asimismo el periodo del seiche dependerá de la extensión de las aguas del puerto o bahía tierra adentro, y por supuesto de su forma. También la profundidad de las aguas del puerto afecta el periodo del seiche. Con mayor profundidad el periodo tiende a reducirse.

Los seiches que ocurren en costas abiertas se conocen como seiches costeros. El primer reporte de un seiche costero se lo debemos a Sir G. B. Airy (1877) y fueron registrados por un mareógrafo en la isla de Malta, tenían un periodo de 21 minutos. Allí, se les conoce con el nombre de *Milghuba*. El afamado científico, basándose en el trabajo previo de Forel, especuló que la causa era la reflexión de ondulaciones de las aguas dentro de un canal profundo (500 m), delimitado al norte por la plataforma Maltés-Siciliana y al sur por la plataforma continental de Tunisia. Ya tan temprano como en el año 1907, Rolling Arthur Harris había estudiado los seiches costeros en el suroeste de Puerto Rico: en el Puerto de Guánica y en Puerto Real. Harris determinó periodos de 45 minutos y 36 minutos,

respectivamente. Los clasificó como seiches *Cul-de-sac*, que los distinguía de otros tipos de seiches debido a su marcado carácter regular y a que el área oscilante se extendía más allá de la bahía o puerto, incluyendo la plataforma insular. Esta brillante deducción implicaba que toda el agua sobre la plataforma era forzada a oscilar con un mismo periodo. El adjudicó la excitación de los seiches a vientos fuertes o a repentinos cambios en presión barométrica. A diferencia de los casos ya expuestos arriba, los pescadores y lugareños de la zona no le tenían un nombre propio a los seiches.

Unos sesenta años más tarde, el profesor Graham Giese, del Departamento de Ciencias Marinas (DCM) de la UPRM, comenzó a estudiar por primera vez los seiches con periodo de 50 minutos en Isla Magueyes (La Parguera) y examinando cuidadosamente un registro de 10 años del mareógrafo, encontró un resultado inesperado, que los seiches de mayor altura ocurrían durante los periodos de mareas muertas, cerca del cuarto creciente y cuarto menguante, o sea, pasado los siete días de las mareas vivas. Incluso, aún mayor altura se observaba, si a éstos le precedía una luna nueva o llena en perigeo. En el 1982, Giese y colaboradores proponen que el desfase de una semana, se debía al tiempo de travesía de un paquete de olas internas solitarias (solitones internos) generado en la Sierra Submarina de Aves durante el periodo de mareas vivas. Un solitón es una ola solitaria, en la cual hay una interacción contrapuesta entre el efecto no-lineal y el dispersivo, permitiendo que la ola conserve su forma y velocidad, pudiendo recorrer así una gran distancia sin mucho cambio. En 1990, Giese y David C. Chapman de la Institución Oceanográfica Woods Hole, probaron teóricamente que era posible, durante una marcada estratificación oceánica, que las olas internas solitarias de gran tamaño golpearan las aguas profundas contiguas a la plataforma insular y excitasen seiches costeros en la misma. Ellos encontraron, por primera vez, un mecanismo matemático analítico que podía explicar la transferencia de energía de los solitones internos a los seiches costeros de Isla Magueyes. Similarmente explicaba el origen de los seiches en Puerto Princesa en isla Palawan, Las Filipinas. Esta explicación novel, añadió a los solitones internos a la lista de otros fenómenos capaces de generar seiches costeros, tales como: tsunamis, meteotsunamis, repentinos cambios en presión barométrica y/o vientos fuertes.

Del análisis del registro de la altura del agua que hizo Graham Giese, se desprende que la actividad de seiches en Isla Magueyes presenta un patrón estacional bimodal con máximos en primavera (mayo-junio) y en otoño (septiembre-noviembre). Giese atribuyó que este patrón correspondía a variaciones estacionales en la profundidad de la capa mezclada del Mar Caribe al sur de Puerto Rico. En las últimas dos décadas del siglo XX los oceanógrafos del DCM, liderados por el Dr. Jorge Corredor y el Prof. Julio Morell, hicieron visitas mensuales a la estación serial *CaTS* (*Caribbean Time Series*) y determinaron el patrón estacional de diversas medidas oceanográficas tales como: temperatura, salinidad, densidad, oxígeno disuelto, silicatos, concentración de clorofila, materia orgánica disuelta, mediciones bio-ópticas y producción primaria. El análisis de sus datos apoyó la hipótesis, que durante el otoño las propiedades biogeoquímicas del agua cambiaban, debido a la influencia del agua de la pluma del Río Orinoco en el Mar Caribe Nororiental. La capa de agua de reducida salinidad y densidad se situaba sobre las capas de mayor densidad, acentuando así la estratificación oceánica. Esto unido a la reducción de los vientos permite que la capa mezclada sea delgada y la zona de cambio rápido en densidad, llamado el picnoclino, se encuentre más somera. Creemos que estas condiciones del mar facilitan la propagación de los solitones en las aguas al sur de Puerto Rico.

¿Dónde están los solitones?

La primera observación de solitones internos asociada a la excitación de seiches costeros en Isla Magueyes fue realizada el 28 de Junio del 1982 a las 1800 LST por Giese desde el R/V Pez mar, a 6 kilómetros del veril de la Parguera. Dos solitones de amplitud negativa se encontraban a 600 metros de profundidad, el primero con una amplitud de 100 metros y el segundo con 75 metros. Estos solitones generaron seiches en Isla Magueyes con una altura máxima de 23 cm. El origen de estos solitones era desconocidos, la hipótesis de Giese y colaboradores era que éstos se originaban a una distancia mayor de 540 km en el Caribe Suroriental, específicamente al Sureste del extremo sur de la Sierra Submarina de Aves. Entre los años del 1999-2002, la evidencia científica presentada por Norden E. Huang, Marvi Teixeira, Jorge Capella y Edwin Alfonso-Sosa apuntaban a que el origen de los solitones era cercano, ya que su tiempo de travesía debería ser de alrededor de mediodía y no más distante de 100 km. Observaciones de una fuerte marea interna en el Canal de la Mona en el área del Pichincho, donde se generan olas internas con alturas de hasta 40 metros y periodo de 12 horas, y posible precursor de los paquetes de solitones, apoyaban esta hipótesis. Asumiendo que la marea interna degenera en un paquete de solitones. La distancia entre el Pichincho e Isla Magueyes es cerca de 100 km. Imágenes satelitales y fotografías tomadas por los astronautas desde las misiones del transbordador espacial y la Estación Espacial Internacional revelaban olas internas y paquetes de solitones generándose en el Canal de Mona. La evidencia anterior apoyaba que los solitones, que excitan los seiches costeros, deberían originarse en el Canal de Mona y no a más de 540 km de distancia, según lo establecía Giese. No obstante, para mi sorpresa recientes imágenes del sensor satelital MODIS Aqua/Terra de la NASA, revelan la generación de paquetes de solitones en el extremo sur de la Sierra Submarina de Aves y que eventualmente se propagan hasta alcanzar las aguas profundas que bordean la plataforma insular del suroeste de Puerto Rico. La travesía de los paquetes de solitones es de unos 540 km y el tiempo de llegada a Puerto Rico dependerá de la velocidad del paquete. Los solitones generalmente tienen un tiempo de travesía hasta Puerto Rico de entre 3.6 a 5.1 días y tienen una rapidez de entre 1.22 m/s (3 MPH) a 1.75 m/s (4 MPH). Pero algunos pueden alcanzar valores de hasta 2.54 m/s (6 MPH) y pueden cubrir esa misma distancia en tan solo 2.5 días. Los solitones de mayor amplitud son los más rápidos por lo tanto tienen mayor energía para generar seiches costeros extremos en Puerto Rico.

¿Puede pronosticarse la ocurrencia de un seiche grande o extremo?

Giese fue el primero en percatarse que los seiches de mayor amplitud ocurrían una semana después de una luna nueva (o llena) en perigeo. Perigeo es el punto más próximo a la Tierra de la órbita lunar. Generalmente, unos 1.8 días después de esa fase lunar, las corrientes semidiurnas de la marea son las más fuertes del mes. Cuando estas corrientes mareales chocan con el extremo sur de la cresta de Aves, que se levanta hasta una profundidad de 500 m, son desviadas hacia arriba, empujando las aguas estratificadas del Mar Caribe, generando así el paquete de solitones. Hagamos el siguiente análisis, si la celeridad del paquete que se dirige a Puerto Rico es de 1.22 m/s, entonces le tomaría unos 5.1 días en

llegar, si a esto le sumamos los 1.8 días de la edad de la marea, obtenemos aproximadamente 7 días para arribar a La Parguera. Este simple análisis prueba que si es posible predecir la ocurrencia de seiches grandes o extremos en La Parguera. En el año 2000, Marvi Teixeira y Jorge Capella generaron un modelo predictivo basado exclusivamente en los ciclos lunares y que pudo predecir hasta el 75% de los eventos. No obstante, la predicción no es tan simple, ya que tenemos que considerar los cambios estacionales en la estratificación oceánica del Mar Caribe asociados al régimen de vientos, incluyendo los eventos de huracanes y a la descarga del Rio Orinoco. Es importante indicar, que el rumbo del paquete de solitones durante su travesía puede dirigirlo a otras localidades del Caribe, por ejemplo pueden arribar a las islas venezolanas de Los Roques o a La Orchila. También pueden dirigirse directamente al Oeste y disiparse en el mar profundo. Por lo tanto, tenemos que conocer previamente si el paquete se dirige hacia Puerto Rico, antes de hacer un pronóstico de seiches costeros. Esto nos obliga a tener una cobertura satelital del mar alrededor de Aves, durante el periodo de partida de los solitones, cuando las corrientes mareales semidiurnas son fuertes. Esto resulta algo difícil cuando la región esta cubierta por nubes o no hay resplandor solar del agua (*sun glint*), condiciones ambas necesarias para la teledetección de paquetes de solitones. Las imágenes obtenidas por radares de apertura sintética (SAR) no tienen esta restricción, pero adquirirlas es muy difícil. Yo he hecho predicciones de seiches grandes basándome exclusivamente en imágenes satelitales del sensor MODIS y en efemérides astronómicas, pudiendo acertar con un margen de error de un día. En el 2012, Edwin Alfonso-Sosa descubrió que los seiches extremos en Isla Magueyes siguen un ciclo de 6202 días (16.98 años), este patrón fue llamado Ciclo Magueyes por el autor, y se puede usar para pronosticar a largo plazo la ocurrencia de seiches extremos en La Parguera. Por ejemplo, si la estratificación oceánica del Mar Caribe es favorable, esperamos un seiche extremo entre el 11 al 14 de junio del 2016.

Periodo de los seiches costeros del suroeste de Puerto Rico

El periodo y alturas máximas de los seiches costeros excitados por solitones ya observados en el suroeste de Puerto Rico se desglosan en la siguiente tabla:

Localidad	Pueblo	Rango de Periodos (minutos)	Altura máxima del seiche (cm)	Fecha del evento (Tiempo Local)
Isla Magueyes	La Parguera	46-51	67.4	11/09/2006 04:30
Bahía de Guánica	Guánica	45-48	23	06/30/1982 02:00
Punta Guayanilla	Peñuelas	36 y 72	11	05/11/2012 18:36

Es importante indicar que el rango vertical promedio de la marea diurna en el suroeste de Puerto Rico es cerca de unos 20 cm. Por lo tanto, los seiches extremos pueden superar el rango promedio de altura de marea. El seiche observado el 9 de noviembre del 2006 se conoce como el Super Seiche, ya que triplica el rango promedio de altura de la marea en Isla Magueyes. El Super Seiche supera unas 10 veces la densidad de energía de un seiche extremo y alcanza el mismo rango de altura que la marea ciclónica

provocada por el Huracán Georges que azotó el suroeste de Puerto Rico. Es el único evento de ese tamaño registrado en los últimos 30 años. Calculamos que el solitón que generó el Super Seiche tenía que superar los 60 metros de altura.

¿Por qué es importante estudiar los seiches extremos?

Todos sabemos que el régimen micro-mareal de La Parguera condiciona el ecosistema marino de la zona. Los seiches extremos superan el rango micro-mareal y deben tener un impacto sobre la vida marina que aún desconocemos. Sabemos que algunos eventos como el Super Seiche pudieran representar algún peligro para las propiedades dentro de la zona marítima terrestre. Pero lo más importante, es reconocer que el seiche costero representa el final de una cadena de eventos que se originan en el mar profundo a cientos de kilómetros de distancia. El impacto de los solitones en procesos biogeoquímicos del Mar Caribe es aún desconocido. El poder pronosticar cuando ocurren los seiches, nos permite preparar misiones oceanográficas, para medir el impacto de los solitones de Aves sobre el ecosistema marino más allá del veril de la plataforma insular de la Parguera. De mi parte invito a que las personas se informen de cuando va a ocurrir un seiche extremo y tomando las precauciones debidas disfruten del evento, así como yo lo he hecho en estos últimos 15 años.

Para mayor información visite el sitio de internet: <http://seihcostero.weebly.com/index.html>

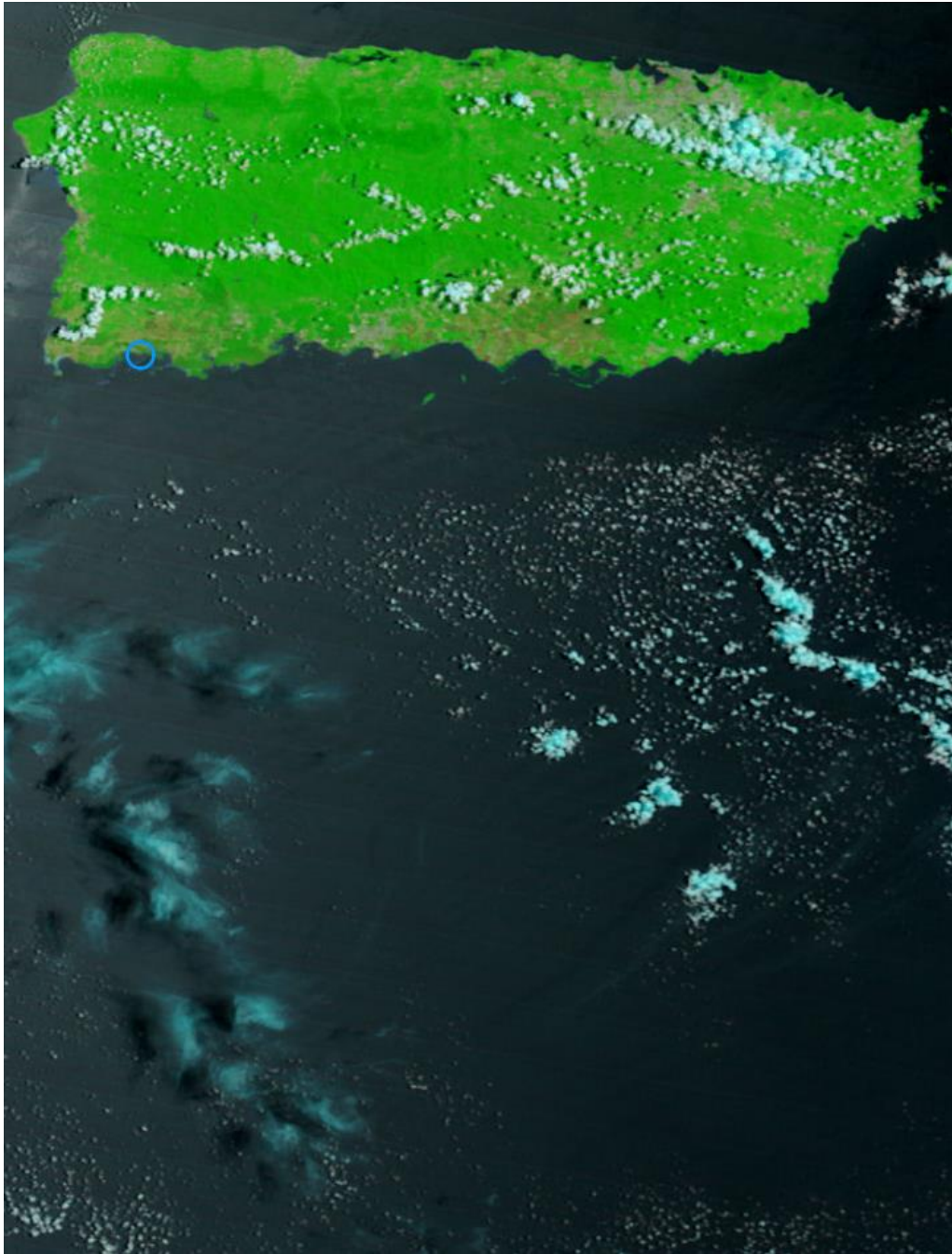


Figura 1a. El paquete de solitones llamado Giese180 comienza a golpear las pendientes submarinas del suroeste de Puerto Rico el 29 de junio del 2009 15:15 UTC. Estas gigantescas olas alcanzaron una velocidad de 3.14 m/s (7 MPH) provenientes del SE. Las crestas tienen un largo de 30-50 km. La distancia que separa los solitones entre si es de 3 a 7 km. Imagen: LesserAntilles.2009180.terra.721.250m. *We acknowledge the use of data products or imagery from the Land Atmosphere Near-real time Capability for EOS (LANCE) system operated by the NASA/GSFC/Earth Science Data and Information System (ESDIS) with funding provided by NASA/HQ. <http://earthdata.nasa.gov/data/nrt-data/rapid-response/>*

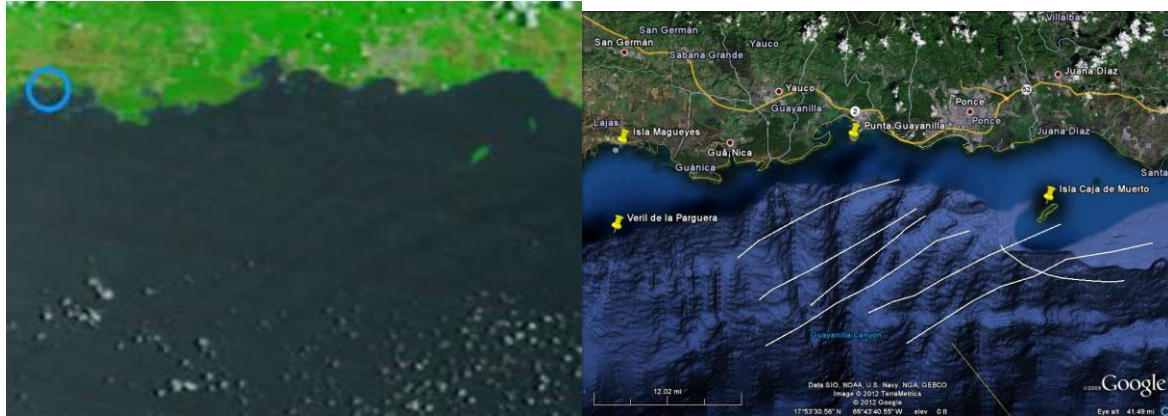


Figura 1b. Imagen agrandada de los solitones.

Figura 1c. Imagen batimétrica muestra que los solitones penetran al Cañón de Guayánilla. Pueden acercarse tanto como a 5 kilómetros de Punta Guayánilla. Las líneas blancas representan la posición de las crestas de los solitones.

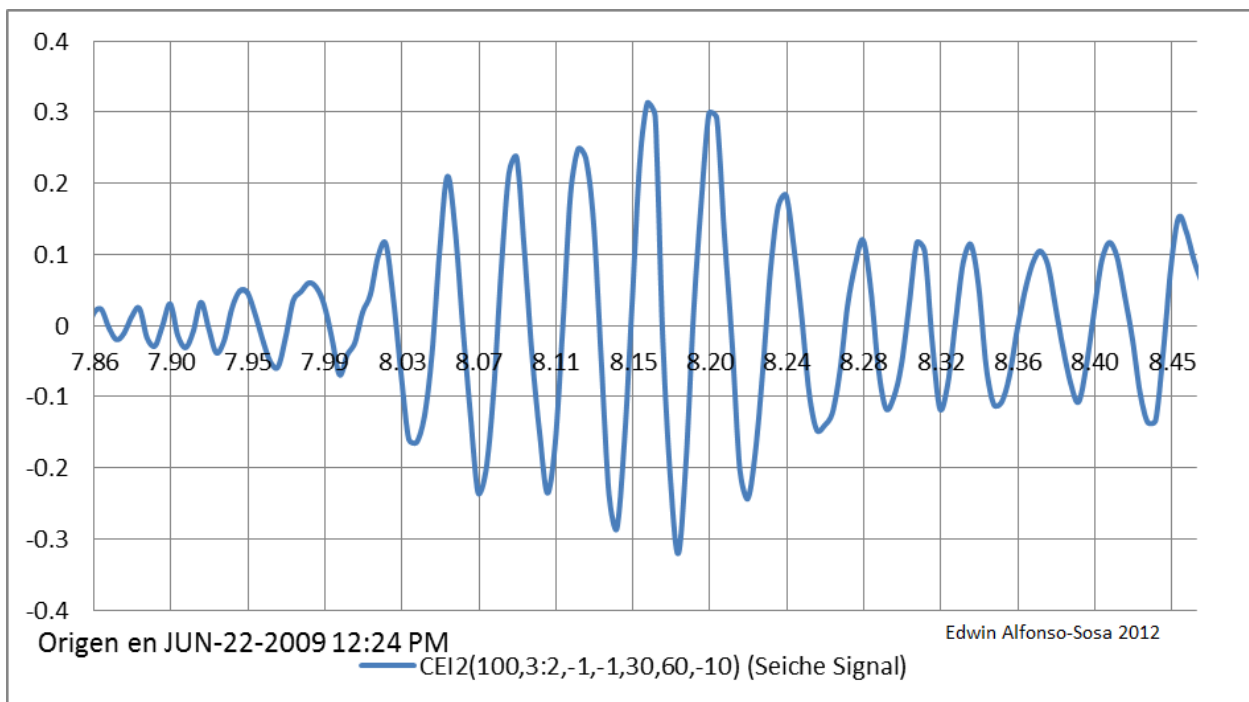


Figura 1d. Los solitones generan al siguiente día un seiche extremo en Isla Magueyes, La Parguera. Las unidad de la escala horizontal es el número de días transcurridos a partir de la fase de luna nueva en perigeo, el 29 de junio del 2009 a las 12:24 LST. La unidad de la escala vertical son pies.

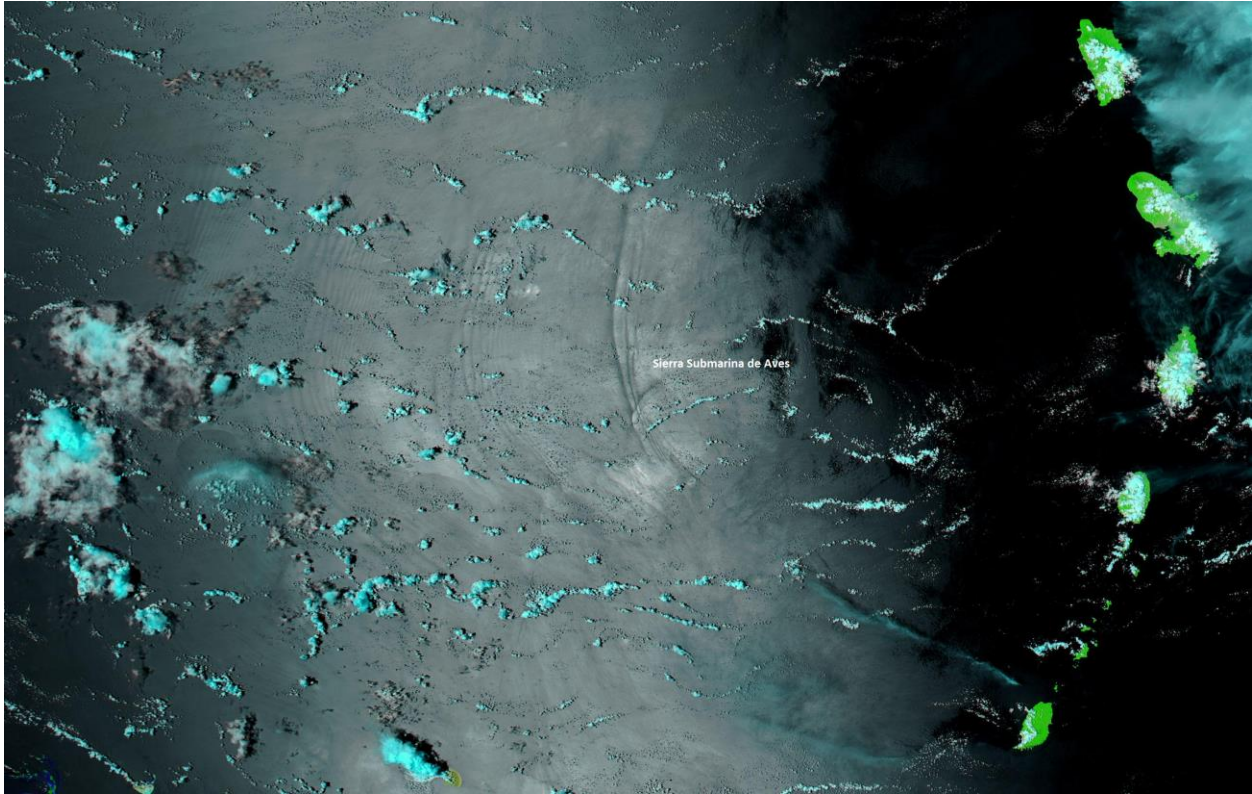


Figura 2. Cuatro paquetes de solitones generados en la cresta submarina de Aves se mueven hacia el Oeste. Paulatinamente, a medida que cada paquete avanza aumenta su anchura. Fecha: 9/1/2012 17:30 UTC, Imagen: LesserAntilles.2012245.aqua.721.250m. *We acknowledge the use of data products or imagery from the Land Atmosphere Near-real time Capability for EOS (LANCE) system operated by the NASA/GSFC/Earth Science Data and Information System (ESDIS) with funding provided by NASA/HQ.* <http://earthdata.nasa.gov/data/nrt-data/rapid-response/>



Figura 3. Mapa batimétrico del Caribe muestra la distancia de aproximadamente 540 km que separa el área de generación de los solitones en la Cresta Submarina de Aves del veril de la Parguera, Puerto Rico. Incluso, un paquete de solitones puede viajar 900 km hasta llegar a la costa de Barahona en la Republica Dominicana.

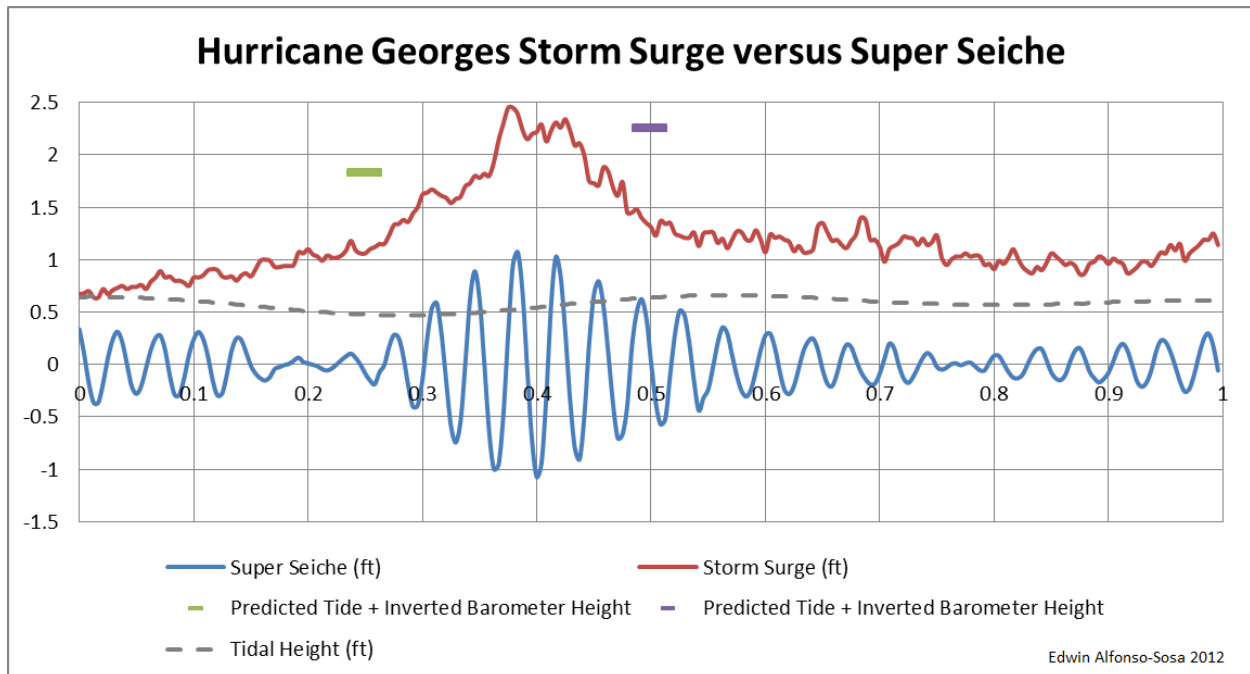


Figura 4. El 22 de septiembre del 1998, el huracán Georges azotó a Puerto Rico y su marea ciclónica fue registrada por el mareógrafo de Isla Magueyes. La altura y duración del Super Seiche son comparadas con la marea ciclónica. Se incluye la altura del agua debido al efecto de barómetro invertido. También se incluye la predicción de altura de marea para el día 22/sep/1998. La unidad de altura es pies.