

Posible inundación por tsunami en Puntarenas, Costa Rica

Natalia Zamora*
Mario Fernández Arce**
Jean Pierre Bergoeing***
Carmen González***

Abstract

We present results of possible tsunami impact at the city of Puntarenas caused by an earthquake in the Pacific Ocean of Costa Rica. This coastal city is located on a sandbar characterized by a very flat topography along the Gulf of Nicoya. This project arises from the need to assess the exposure of this city considered vulnerable to coastal hazards due to its location in the gulf. The aim of this study is to determine the potential generation of a tsunami due to an earthquake on the gulf of Nicoya. We used the Okada model (1985) to estimate the coseismic deformation which is the initial condition of the tsunami. The HyFlux2 numerical code was used to estimate propagation and wave height along the coast. Among the most important results we highlight the fact that a tsunami could flood the city reaching maximum height of 1.8 meters at the northern edge of the sandbar of Puntarenas. These results could bring a framework to plan the future coastal development, and facilitate the preparation and response to a possible event.

Key words: *Tsunami potential, Preparedness, Sandbar, Puntarenas, Costa Rica.*

Resumen

Presentamos los resultados de la evaluación del potencial de generación de tsunami originado por terremoto submarino en la costa Pacífica de Costa Rica. La ciudad de Puntarenas está ubicada sobre una barra de arena de topografía muy plana, dentro

* Centro Alemán de Investigación en Geociencias GFZ.

** Escuela de Geografía, Universidad de Costa Rica, Pretextec, Universidad de Costa Rica.

*** Universidad de Costa Rica.

del Golfo de Nicoya. Este proyecto surge por el interés de evaluar la exposición de esta ciudad que es considerada vulnerable ante amenazas costeras debido a su posición en el golfo. El objetivo de este estudio es conocer el potencial de tsunami causado por un sismo cercano a la boca del golfo de Nicoya. Se usó el modelo de Okada (1985) para estimar la deformación cosísmica, condición inicial del tsunami, y el código numérico HyFlux2 para estimar su propagación y altura de la ola en la costa. Entre los resultados más importantes destaca el hecho de que el tsunami generado inunda la ciudad y alcanza altura máxima de 1.8 metros al norte de ella. Estos datos pueden ser de gran ayuda para planificar el futuro desarrollo costero y facilitar la preparación y respuesta ante un posible evento.

Palabras claves: *potencial de tsunami, preparación, barra arenosa, Puntarenas, Costa Rica.*

Introducción

Se eligieron posibles fuentes tsunamigénicas para determinar la posible ocurrencia de un terremoto generador de tsunami y calcular la propagación, altura y extensión horizontal de las ondas de agua resultantes. En el presente trabajo se describen los resultados de simulaciones realizadas con base en un escenario modificado de Ortiz *et al.* (2001) con el objetivo de determinar una posible inundación en Puntarenas.

El trabajo se hizo porque las dos costas del país cuentan con procesos geológicos generadores de tsunamis locales. Desde 1539 hasta el presente se han documentado 15 tsunamis en Costa Rica, 10 del Pacífico y 5 del Caribe. El más destructivo hasta el momento es el del Golfo Dulce que destruyó la Villa Golfo Dulce en 1954. Los terremotos de Nicoya de 1950, Cóbano de 1990 y Limón de 1991 generaron pequeños tsunamis. Además, en 1906 nos llegó un tsunami originado en Colombia y en 1960 nos llegó otro cuya fuente fue el gran terremoto de Valdivia, Chile. Y para ratificar la existencia de la amenaza es preciso indicar que frente a la Península de Nicoya se encontró un gran deslizamiento submarino al cual se le hizo un análisis de probabilidad de haber generado tsunami, encontrándose que si la gigantesca masa se desprendió como un solo evento, pudo haber generado un tsunami de 27 metros de altura.

El objetivo del estudio es reducir el riesgo de desastre por tsunami en Puntarenas y preparar a la población para que responda adecuadamente en caso de una emergencia. Los resultados de la investigación podrían servir para concientizar a los residentes de la amenaza y sensibilizarlos para que desarrollen una cultura de prevención de desastres por tsunami.

Los resultados demuestran que Puntarenas podría verse afectada si un sismo similar al que se ha probado en este trabajo llegase a ocurrir. Aún hace falta realizar simulaciones con batimetría más detallada con la que se pueda evaluar el potencial

de inundación, incluyendo un mayor detalle de las características del suelo marino somero y sus impactos en la disipación de la ola.

Metodología

La primera actividad realizada fue una revisión bibliográfica sobre aspectos geológicos y sismo-tectónicos, base para la elaboración de escenarios sísmicos. Para lograr los objetivos y metas propuestas fue necesario realizar curvas de nivel de gran precisión en los sitios estudiados y buscar la mejor batimetría posible. Como escenarios para estimar inundación por tsunamis se usó un sismo de subducción del litoral pacífico costarricense. Es importante aclarar aquí que no se consideraron otros escenarios sísmicos como temblores normales (por fallamiento normal), transcurrentes (por fallamiento transcurrente o de deslizamiento horizontal) o lentos (llamados también temblores tsunami) y que tampoco se simularon fuentes de tsunami complejas como puede ser aquellas en las que se combina más de un evento natural, sismo y deslizamiento submarino por ejemplo, que podrían incrementar significativamente la amplitud o altura de un tsunami. Se realizaron las simulaciones con una resolución batimétrica de 900 metros en aguas profundas y 185 metros en aguas someras. Las simulaciones se hicieron con el código numérico HyFlux2 (Franchello, 2008), un modelo que ha sido desarrollado para simular escenarios de inundaciones debido a la rotura de presas, inundaciones repentinas, y recientemente en la evaluación de la propagación e inundación de tsunamis. El modelo resuelve las ecuaciones de aguas poco profundas de dos dimensiones utilizando un método de volúmenes finitos que ha demostrado ser muy robusto y de mayor estabilidad en simulaciones de inundación en la costa. En HyFlux2, la estabilidad numérica está garantizada por los criterios de Courant-Friedrich-Levy (Franchello, 2009).

Resultados

El escenario sísmico utilizado como dato de entrada para simular un tsunami en el Golfo de Nicoya fue un sismo de subducción. Dicho escenario, basado en Ortiz *et al.* (2001), representa una fuente sísmica cerca de la desembocadura del Golfo de Nicoya a 15km de profundidad, con mecanismo focal inverso, que podría generar un evento de Mw 7.88 y una dislocación de 3m sobre el plano de falla. La ruptura propuesta es de 100km con 60km de ancho, 295° de azimuth y buzamiento de 30° en dirección NE. De acuerdo con el modelo de Okada (1985), tal escenario produce una deformación cosísmica de 1.3m (véase Figura 1), la cual es la condición inicial del tsunami. Dislocaciones de tal magnitud son posibles en Costa Rica; a manera de ejemplo se indica que la dislocación del terremoto de Limón el 22 de abril de 1991 (la magnitud del terremoto fue 7.6) dislocación de 2.4 metros (Rojas, comunicación

oral, 2011), la cual produjo una deformación cosísmica de casi dos metros en la ciudad de Limón.

La deformación del fondo oceánico es transferida a la columna del agua, convirtiéndose en una perturbación que se propaga en forma de ondas de agua desde la zona de generación hasta la zona costera. En la Figura 2 el tsunami se representa con una escala en la que el color rojo corresponde con la máxima altura de las ondas de agua. Hemos estimado que un posible tsunami llegaría a Puntarenas con amplitudes de 0.9 a 1.2 y podría inundar casi por completo la barra de arena y con un máximo de 1.8 metros (*run up*) al norte de la ciudad. De manera que se comprueba que un gran temblor cercano a la boca del Golfo de Nicoya puede generar un tsunami de amplitud suficiente para sobrepasar la ciudad de Puntarenas. Bergoeing (2011) indicó que dicha ciudad está expuesta al embate de grandes olas que podrían arrasarla fácilmente y reiteró que un tsunami moderado de 5 a 10 metros podría barrer sencillamente con la ciudad y causar miles de muertos. Otro escenario fue propuesto por Chacón y Protti (2011, 2013) usando un escenario de ruptura en la Península de Nicoya. Los autores calcularon que una ola de 2msnm podría tener efectos importantes a lo largo de la barra arenosa de Puntarenas.

Según nuestra simulación, otros segmentos costeros donde se observan ondas con amplitudes entre 1.8 y 3.3 metros, son la costa oriental de la Península de Nicoya y Herradura-Esterillos. De hecho, es en este último segmento donde el tsunami tiene las ondas de agua más altas y por ende, podrían generar su mayor impacto. Este efecto en Esterillos podría corresponder con la canalización de la energía del tsunami en esa dirección, por la existencia de un profundo cañón submarino en esa dirección.

Si un flujo de agua de más de un metro invade por completo la barra de Puntarenas en marea alta, toda la barra estaría amenazada. De manera que con los datos que hasta hoy tenemos se podría indicar que existe alta exposición de estos poblados en la barra. Esta es una posibilidad que la población y las autoridades deben considerar. En tal circunstancia no se puede delimitar las áreas de alto y bajo riesgo de inundación por tsunamis, todas las zonas serían de alto riesgo y por tanto, de uso restringido. Se deben buscar zonas seguras de rápido acceso y sobretodo preparar a la población para que actúe a tiempo. Para ello es necesario mantener a la población informada.

Encontrar sitios naturales seguros se dificulta en un área plana propensa a la inundación. Los únicos sitios que ofrecerían cierto nivel de seguridad ante la llegada de un tsunami serían elementos artificiales como edificios altos (véase Figura 3). Casas de dos plantas podrían ofrecer seguridad siempre y cuando el tsunami que afecte sea de unos pocos metros.

Lo anterior restringe las rutas de evacuación a una sola opción, la ruta nacional que conecta con la Carretera Interamericana. Pero ella podría ser insuficiente para

evacuar las miles de personas que viven en la barra de arena. De momento no habría más opciones en las que se pudiera hacer una útil señalización.

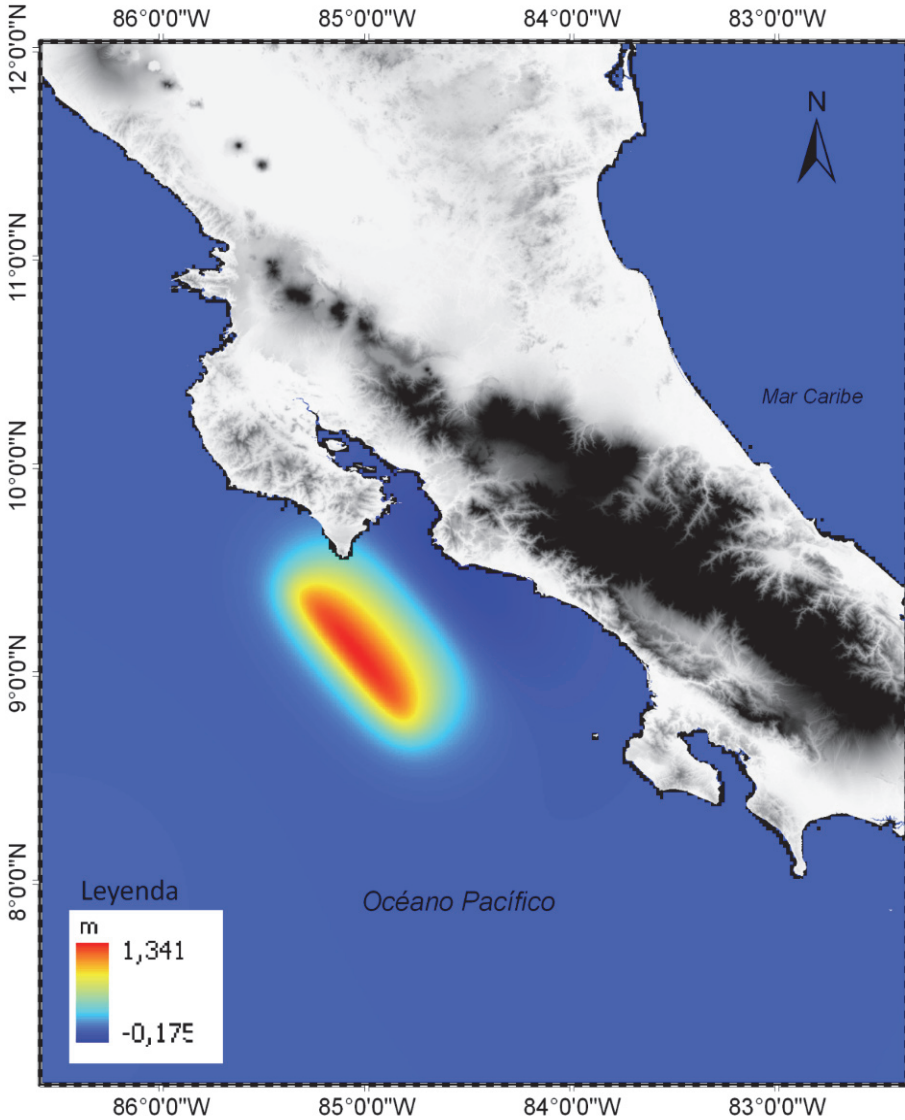


Figura 1. Deformación cosísmica provocada por el escenario sísmico escogido para la simulación de un tsunami en el Golfo de Nicoya. Los colores indican la deformación cosísmica (deformación durante el sismo).

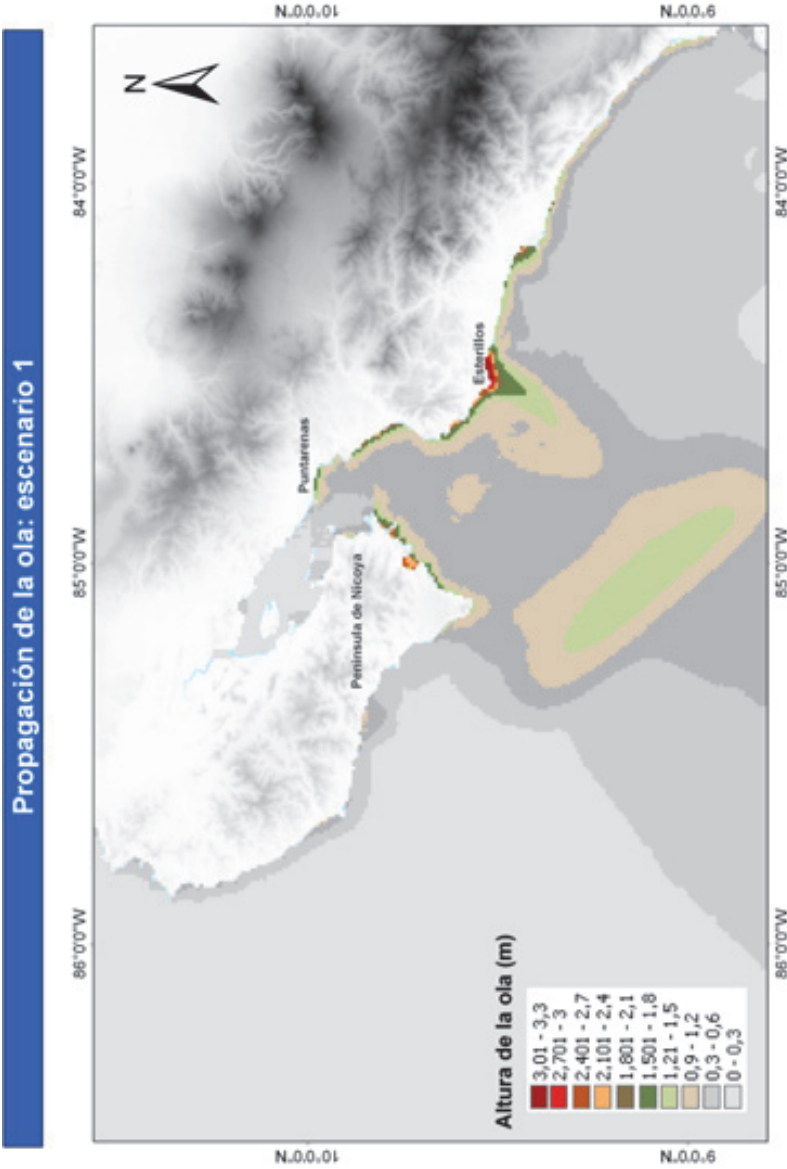


Figura 2. Inundación del tsunami en la ciudad de Puntarenas. La barra de arena sobre la que se encuentra la ciudad corresponde con el área inundada bajo la pequeña área de color verde bajo el nombre “Puntarenas”. Dicha área verde corresponde con la inundación en el estero ubicado al norte de la barra.



Figura 3. Edificios a lo largo del Paseo de los Turistas en Puntarenas que podrían servir de protección a la población ante un tsunami (cortesía Oscar Sojo).

Conclusiones

Del estudio se concluye que grandes temblores del margen Pacífico costarricense son capaces de producir deformaciones del fondo oceánico lo suficientemente importantes para generar tsunamis. Hemos considerado un evento hipotético con epicentro frente a la boca del Golfo de Nicoya que podría generar dislocaciones de 3m capaces de producir deformación del fondo oceánico de 1.3 metros los cuales son suficientes para generar tsunamis que inundarían la barra de arena de Puntarenas. Por lo tanto, la amenaza y la vulnerabilidad ante tsunamis en la ciudad de Puntarenas es alta.

Trabajos futuros

Estos son resultados preliminares basados en un evento muy cercano a Puntarenas. Resaltamos que es necesario considerar más escenarios de ruptura que sean consistentes con datos geodésicos y geofísicos disponibles, así como establecer multi-escenarios (tanto sísmicos como deslizamientos submarinos) con base en estudios probabilísticos para evaluar con más detalle la posible inundación en esta barra arenosa. Es necesario realizar nuevas simulaciones que consideren batimetría con una resolución espacial de la menos 10m en zonas someras para caracterizar con más detalle la inundación y posibles cambios morfológicos en zonas costeras.

Agradecimientos

Se agradece a la Vicerrectoría de Investigación por proveer fondos para el proyecto. Además, agradecemos al doctor Rafael Arce por la ayuda con la manipulación de los datos batimétricos. A la Centro de Investigaciones Marinas de la Universidad de Costa Rica (CIMAR) por dar parte de sus bases de datos de topografía y batimetría obtenidas por medio de programa interinstitucional. Al Programa Banco Internacional de Desarrollo (BID)-Catastro por proveer datos topográficos. Natalia Zamora agradece al ingeniero Giovanni Franchello y al doctor Alessandro Annunziato por el soporte dado para el comienzo de esta investigación y por permitirnos el uso del código HyFlux2.

Bibliografía

- Bergoeing, J., “Riesgo de desaparición de la flecha litoral de Puntarenas, Costa Rica”, *Revista Geográfica*, núm. 147, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, México, 2011.
- Chacón, S. y Protti, M., “Modeling a Tsunami from the Nicoya, Costa Rica, seismic gap and its potential impact in Puntarenas”, *Journal South America Earth Science 1*, (4):372-382, 2011.
- , “Modeling a tsunami from the Nicoya Seismic Gap and its potential on Puntarenas, Costa Rica”, *Abstract Tsunami Symposium, Sept. 3-5, 2012*, Ispra, Italy, 2013.
- Franchello, G., “Modelling shallow water flows by a High Resolution Riemann Solver 2008”, *JRC Scientific and Technical Reports*, 2008, EUR 23307 EN.
- Okada, Y., “Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space”, *Bull. of the Seism. Soc. of Amer.*, 75:1135-1154, 1985.
- Ortiz, M., Fernández, M. y Rojas, W., “Análisis de riesgo de inundación por tsunami en Puntarenas, Costa Rica”, *GEOS*, 21(2):108-113, 2001.