

Simulación De Tsunamis. Revisión de los Métodos y Ejemplos

Víctor Manuel Lomelí Quintero

*Master Geofísica y Meteorología
Departamento de Física y del Cosmos
Universidad de Granada*

Resumen. Los tsunamis presentan tres importantes fases (generación, propagación y run-up), éstas se estudian y se modelan por separado. Los modelos actuales están basados en dos principales sistemas de ecuaciones: ecuaciones de Boussinesq y NSWE. En los cuales la principal diferencia entre ellos es que el primero considera la dispersión. Este trabajo se centra en explicar el funcionamiento del modelado de la fase de propagación evidenciándose su eficacia en los estudios realizados en los dos terremotos más grandes de la última década.

Palabras Clave: Tsunamis, Simulación, Boussinesq, NSWE

INTRODUCCIÓN

Antes del devastador tsunami del océano Índico la mayoría de la población no tenía en su mente el peligro latente que presentan sus líneas de costa. A pesar de que existen zonas más propensas a sufrir el golpe de un tsunami, en realidad, cualquier costa tiene la posibilidad de ser impactada y son estas zonas en las que resultan los mega desastres tanto humanos como materiales, ya que no se encuentran preparados. [Ashaque et al., 2012]

Los tsunamis se forman por grandes desplazamientos de agua en el océano donde la profundidad es en promedio 4 km. Éstos liberan una cantidad enorme de energía y pueden ser ocasionados por terremotos, deslizamientos, actividad volcánica o cuerpos cósmicos impactando sobre el agua. A pesar de esto los tsunamis tienen una pequeña amplitud en aguas profundas de orden de 1 metro, sin embargo, el volumen de agua que acarrea y la velocidad con que lo se hace tiene suficiente energía para inundar y destruir poblaciones costeras. [Lagos and Cisternas, 2008]

Típicamente su longitud de onda es larga y la altura de la ola es corta comparada con el océano profundo. Cuando estas olas se aproximan a la región de la costa donde el agua profunda decrece rápidamente, la energía de la ola se refracta y combinada con asomeramiento y resonancia local, resulta en un incremento significativo en la altura de la ola. [Helal y Mehanna, 2008a]

Actualmente debido a modelos geofísicos y avances en los estudios geológicos se ha confirmado que los tsunamis presentan una ciclicidad en cuanto a su periodicidad y magnitud. Sin embargo, debido a que existen muy pocos registros se hace imposible hasta nuestros tiempos determinar con eficacia estos eventos. [Lagos y Gutiérrez,

2005]. Por lo cual los modelos matemáticos se han convertido en una herramienta que cumplen un doble propósito, el primero para estimar los efectos antes de que se presenten los eventos y en segundo para evaluar y entender los tsunamis pasados. [Sun et al., 2009]

SIMULACIÓN

Los tsunamis presentan tres importantes fases (generación, propagación y run-up), éstas se estudian y se modelan por separado. En ésta memoria de master solo se incluirá la explicación del funcionamiento del modelo de propagación.

Como regla los modelos están basados en la teoría de largas olas en aguas poco profundas. Sin embargo, la aplicación está en 3 dimensiones. Para la propagación a través del océano es imposible e irracional ya que solo se trataría solamente de interés científico y no práctico, debido a que en la mayoría de los casos la el modelo en 2 dimensiones es totalmente satisfactorio.[Levin y Nosov, 2009]

Los modelos actuales están basados en dos principales sistemas de ecuaciones: ecuaciones de Boussinesq (2) y NSW (1). En los cuales la principal diferencia entre ellos es que el primero considera la dispersión.

$$u_t + \alpha(uu_x + vu_x) + \eta_x = 0 \tag{1}$$

$$v_t + \alpha(uv_y + vv_y) + \eta_y = 0$$

$$\eta_t + [u(1 + \alpha\eta)]_x + [v(1 + \alpha\eta)]_y = 0$$

$$u_t + uu_x + g\eta_x - \frac{1}{3}h^2u_{txx} = 0 \tag{2}$$

$$\eta_t + [u(h + \eta)]_x = 0$$

De cualquiera de los dos métodos anteriores NSW y Boussinesq, ahora se pueden resolver numéricamente mediante diferentes de las ya conocidas teorías, como: método de Cranck Nicolson o método Hopscotch, sin embargo, el más utilizado es el método de Elementos Finitos.

Tanto en el Tsunami del océano Indico, Sumatra 26 de Diciembre del 2004 en un estudio realizado por el M.H. Dao y P. Tkalich, publicado en 2007 con título “Tsunami Propagation Modelling-a sensitive study”, y en el Tsunami del océano Pacifico, Tohoku el 11 de Marzo del 2011. En un estudio realizado por Stephan T. Grilli et al., publicado en 2012 con título “Numerical simulation of the 2011 Tohoku tsunami: Comparison with field observations and sensitivity to model parameters”

Validaron con éxito las aproximaciones del modelo NSWE y Boussinesq en comparación con los datos reales, y así como también evidenciaron que la dispersión afecta solamente en los primeros momentos de la propagación del tsunami y en dirección al tren de olas.

CONCLUSIONES

Los tsunamis se han registrado en la mayoría de los océanos del mundo, sin embargo este fenómeno tiene más historia y más impacto en el océano Pacífico, por lo cual es considerado el área más tsunamigénica del planeta.

La mayoría de los tsunamis son generados por terremotos causados por el desplazamiento del suelo marino, pero también estos pueden ser generados por erupciones volcánicas, deslizamientos de terreno e impactos de meteoritos. El proceso completo se divide en generación, propagación y run-up. Siendo esta última donde se pueden presentar fenómenos adicionales, como refracción, difusión y asomeramiento.

Los tsunamis pueden viajar por todo el planeta a gran velocidad en aguas profundas, conservando su volumen y energía descargándola en las costas con un resultado desastroso.

Existen diferentes tipos de olas que se han comparado con las presentadas en los tsunamis, pero solo la ola N, cumple con las condiciones que se han descrito en estos eventos.

La simulación de tsunamis es una de las herramientas más eficaces que se tienen hasta el momento, esto debido a la falta de registros históricos. Los más usados por científicos e instituciones son mediante las soluciones de las ecuaciones de Boussinesq y NSWE, mediante métodos numéricos como el de elementos finitos.

La diferencia básica entre los dos métodos es que NSWE no toma en cuenta la dispersión. Sin embargo, este es tema de discusión en la comunidad científica ya que en términos prácticos no se presenta una importante afectación hacia los resultados, influyendo solamente en los primeros momentos de la propagación del tsunami y en dirección al tren de olas.

Estos dos modelos se han validado en los dos terremotos más grandes del año 2000 a la fecha, Sumatra 2004 y Tohoku 2011, demostrando que su confiabilidad es grande y que a medida que los datos de batimetría sean más acertados, esta será todavía más elevada.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por su ejemplo y comprensión a lo largo de vida, a mis tutores y maestros Dr. Francisco Vidal Sánchez y Dr. Gerardo Alguacil de la Blanca por compartirme sus grandes conocimientos, al coordinador Dr. Javier Almendros González, por su profesionalismo y dedicación en su puesto, al Dr. Jaime Alcalá Gutiérrez del Instituto de Astronomía y Meteorología de la Universidad de Guadalajara, por su asesoramiento, a mis compañeros de master, por brindarme su

amistad y motivación. Y a la Coordinación Nacional de Becas de Educación Superior de la Secretaría de Educación Pública de los Estados Unidos Mexicanos, por su apoyo monetario para la realización de este master.

REFERENCIAS

1. ALEXANDER, D. E. (1993), *NATURAL DISASTERS*, SPRINGER SCIENCE & BUSINESS MEDIA.
2. ALVAREZ, G., J. RAMIREZ, L. PAREDES, AND M. CANALES (2010), DARK ZONES IN ALARM SYSTEM OF TSUNAMI OF WARNING OF TSUNAMI IN CHILE, , *18*, 316–325.
3. ASHAQUE, M., A. IZANI, K. FAZLUL, AND I. SHAFIQU (2012), SIMULATION OF THE EFFECT OF FAR FIEL TSUNAMI THROUGH AN OPEN BOUNDARY CONDITION IN A BOUNDARY-FITTED CURVILINEAR GRID SYSTEM, , *31*(1), 1–18.
4. BARANOV, B. V, L. I. LOBKOVSKY, N. A. BARANOVA, K. A. DOZOROVA, AND O. N. CHAYKINA (2013), NUMERICAL MODEL STUDY OF TSUNAMI GENERATED BY POTENCIAL EARTHQUAKE WITHIN THE KOMANDORSKY SEISMIC GAP IN THE WESTERN ALEUTIAN ISLAND ARC, *SCI. TSUNAMI HAZARDS*, *32*(3).
5. BONA, J. L., M. CHEN, AND J. SAUT (2002), BOUSSINESQ EQUATIONS AND OTHER SYSTEMS FOR SMALL-AMPLITUDE LONG WAVES IN NONLINEAR DISPERSIVE MEDIA. I: DERIVATION AND LINEAR THEORY, *J. NONLINEAR SCI.*, *12*(4), 283–318, DOI:10.1007/S00332-002-0466-4.
6. BRYANT, E. (1998), *TSUNAMI, THE UNDERRATED HAZARD*.
7. DAO, M. H., AND P. TKALICH (2007), TSUNAMI PROPAGATION MODELLING – A SENSITIVITY STUDY, *TROP. MAR. SCI. INSTITUTE, NATL. UNIV. SINGAPORE, SINGAPORE*, (2001), 741–754.
8. DIAS, F., AND D. DUTYKH (2006), DYNAMICS OF TSUNAMI WAVES, , 29.
9. DIAS, F., D. DUTYKH, L. O'BRIEN, E. RENZI, AND T. STEFANAKIS (2014), ON THE MODELLING OF TSUNAMI GENERATION AND TSUNAMI INUNDATION, *PROCEDIA IUTAM*, *10*, 338–355, DOI:10.1016/J.PIUTAM.2014.01.029.
10. FAZLUL, K., AND I. AHMAD (2010), ESTIMATION OF EXPETED MAXIMUM WATER LEVEL DUE TO TIDE AND TSUNAMI INTERACTION ALONG THE COASTAL BELTS OF PENANG ISLAND IN PENINSULAR MALASYA, *SCI. TSUNAMI HAZARDS*, *29*(3), 127–138.
11. GARARD, D. (1979), TSUNAMI-THE PROPAGATION OF LONG WAVES ONTO A SHELF.
12. HAYIR, A., B. SESEOGULLARI, İ. KILINC, A. ERTURK, H. K. CIGIZOGLU, M. S. KABDASLI, O. YAGCI, AND K. DAY (2008), SCENARIOS OF TSUNAMI AMPLITUDES IN THE NORTH EASTERN COAST OF SEA OF MARMARA GENERATED BY SUBMARINE MASS FAILURE, *COAST. ENG.*, *55*(5), 333–356, DOI:10.1016/J.COASTALENG.2007.12.001.
13. HEIDARZADEH, M., S. KRASTEL, AND A. C. YALCINER (2014), THE STATE-OF-THE-ART NUMERICAL TOOLS FOR MODELING LANDSLIDE TSUNAMI: A SHORT REVIEW, EDITED BY S. KRASTEL, J.-H. BEHRMANN, D. VÖLKER, M. STIPP, C. BERNDT, R. URGELES, J. CHAYTOR, K. HUHN, M. STRASSER, AND C. B. HARBITZ, *SUBMAR. MASS MOVEMENTS THEIR CONSEQUENCES, ADV. NAT. TECHNOL. HAZARDS RES.*, *37*, 483–495, DOI:10.1007/978-3-319-00972-8.
14. HELAL, M. A., AND M. S. MEHANNA (2008), TSUNAMI FROM NATURE TO PHYSICS, *CHAOS, SOLITONS & FRACTALS*, *36*(4), 787–796, DOI:10.1016/J.CHAOS.2007.08.044.
15. HORRILLO, J., W. KNIGHT, AND Z. KOWALIK (2012), SCIENCE OF TSUNAMI HAZARDS, , *31*(3), 154–177.

16. KIRBY, J. T., F. SHI, B. TEHRANIRAD, J. C. HARRIS, AND S. T. GRILLI (2013), DISPERSIVE TSUNAMI WAVES IN THE OCEAN: MODEL EQUATIONS AND SENSITIVE TO DISPERSION AND CORIOLIS EFFECTS, *OCEAN MODEL.*, 62, 39–55.
17. LAGOS, M., AND M. CISTERNAS (2008), EL NUEVO RIESGO DE TSUNAMI: CONSIDERANDO EL PEOR ESCENARIO, *SCR. NOV.*, 12(270), 1–16.
18. LAGOS, M., AND D. GUTIÉRREZ (2005), SIMULACIÓN DEL TSUNAMI DE 1960 EN UN ESTUARIO DEL CENTRO-SUR DE CHILE, *REV. GEOGR. NORTE GD.*, 33, 5–18.
19. LEVIN, B., AND M. NOSOV (2009), *PHYSICS OF TSUNAMI*.
20. LYNETT, P. J., T. WU, AND P. L. LIU (2002), MODELING WAVE RUNUP WITH DEPTH-INTEGRATED EQUATIONS, , 46, 89–107.
21. MACIAS, J., L. FERNÁNDEZ, J. VÁZQUEZ, AND J. TOMÁS (2012), *DESLIZAMIENTOS SUBMARINOS Y TSUNAMI EN EL MAR DE ALBORÁN. UN EJEMPLO DE MODELIZACION NUMÉRICA*.
22. MADSEN, P. A., AND D. R. FUHRMAN (2008), RUN-UP OF TSUNAMI AND LONG WAVES IN TERMS OF SURF-SIMILARITY, *COAST. ENG.*, 55(3), 209–223, DOI:10.1016/J.COASTALENG.2007.09.007.
23. POTTER, N. L. (2013), SCIENCE OF TSUNAMI HAZARDS, , 32(3), 195–212.
24. SANTOS, D. J., AND L. GUTIÉRREZ (2004), ANALISIS DE SENSIBILIDAD DE OBSERVACIONES VISUALES DE OLEAJE EN ZONAS DE ESCASEZ DE DATOS INSTRUMENTALES,
25. SIERRA, J. P., AND A. SÁNCHEZ-ARCILLA (1991), ESTUDIO DE LA PROPAGACION DE TSUNAMI. APLICACION A LA REGIÓN DEL ESTRECHO DE GIBRALTAR, *FIS. LA TIERRA*, 3, 351–374.
26. SUN, J. . S., O. W. H. WAI, K. T. CHAU, AND R. H. C. WONG (2009), PREDICTION OF TSUNAMI PROPAGATION IN THE PEARL RIVER ESTUARY, *SCI. TSUNAMI HAZARDS*, 28(2), 142–153.
27. TADEPALLI, S., AND C. SYNOLAKIS (1996), MODEL FOR THE LEADING WAVES OF TSUNAMI., *PHYS. REV. LETT.*, 77(10), 2141–2144.
28. YÉPEZ, F., A. BARBAT, AND J. CANAS (1996), SIMULACIÓN DE ESCENARIOS DE DAÑO SÍSMICO EN ZONAS URBANAS, *REV. INT. MÉTODOS NUMÉRICOS PARA CÁLCULO Y DISEÑO EN ING.*, 12(3), 331–358.
29. ZHAO, X., B. WANG, AND H. LIU (2009), PROPAGATION AND RUNUP OF TSUNAMI WAVES WITH BOUSSINESQ MODEL,