

VII Congreso Nacional de Ciencias  
**Exploraciones fuera y dentro del aula**  
26 y 27 de agosto, 2005 INBioparque, Santo Domingo de Heredia, Costa Rica

## **LOS TSUNAMIS Y SU VINCULACION A LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS**

Mario Fernández Arce

Centro de investigaciones Geofísicas (CIGEFI) y Red Sismológica Nacional (RSN: ICE-UCR),  
Universidad de Costa Rica

Cecilia Calderón Solano

Asesora Nacional de Ciencias, Ministerio de Educación Pública

Guillermo Alvarado Delgado

Infosistemas de Costa Rica

### **Resumen**

La estrategia pedagógica seguida en el trabajo que presentamos es muy simple. Alrededor de un extraordinario fenómeno natural, un tsunami, se fue construyendo una red de conocimientos geológicos especialmente, aunados a fenómenos físicos, químicos, incluso geográficos y matemáticos, que ha generado el revelar una parte muy importante de los secretos de los tsunamis. Ese estudio ha planteado una oportunidad para realizar un abordaje interdisciplinario de diferentes áreas del conocimiento científico, a partir de un hecho real acaecido, que le da un significado al proceso de enseñanza de la Ciencia.

### **Aspectos geológicos**

Los tsunamis, al igual que los terremotos y las erupciones volcánicas, son parte de la dinámica del planeta Tierra, conocido en el campo de la Geología como la Máquina Viviente por los procesos que ocurren en su interior y que generan trabajo útil y transformaciones de energía. Como es sabido, la estructura interna de la Tierra está dada por tres grandes capas, a saber: Núcleo, Manto y Corteza. El Núcleo se divide en dos capas: una interna en estado sólido y otra externa con características de un líquido. El Manto también tiene una división: Manto Inferior y Manto Superior. En el Manto Superior hay una capa llamada Astenosfera, en estado viscoso. La Corteza es la capa más externa y la más delgada de la tierra, se clasifica en Corteza Continental y Corteza

Oceánica. El hombre habita y se mueve sobre la Corteza Continental existente en diversas partes del planeta. El origen de los tsunamis empieza, la mayoría de las veces, en las entrañas del planeta (la Astenosfera) donde hay fluidos que se mueven y rotan y que al ascender hacia la superficie, hacen que ella se fracture formando grandes pedazos de la parte más externa del planeta que recibieron el nombre de Placas Tectónicas. El movimiento de estos fluidos por debajo de tales placas hace que ellas también se muevan e interactúen unas con otras en sus límites, chocando algunas de ellas y generando un gran esfuerzo que se transmite a las rocas vecinas, deformándolas, fracturándolas y originando con ello muchos sismos. De manera que, el movimiento de las placas es el motor de la sismicidad del planeta Tierra. Muchos de estos sismos ocurren en fondo oceánico o marino, perturbando la columna de agua y provocando oscilaciones en ella.

### **La colisión de las placas del Coco y Caribe**

La tectónica de placas es un proceso de enorme importancia en la Tierra, se puede decir que ella es el motor de la sismicidad y el vulcanismo del planeta. Todos los centroamericanos tenemos donde vivir gracias a ella que hizo posible la formación del istmo y toda la cadena volcánica centroamericana, la que está llena de atractivos y hermosos volcanes. Pero también ofrece aspectos interesantes no muy positivos como es el hecho de que por ella Costa Rica es cada vez más pequeño; esto porque el mar patrimonial de Costa Rica está definido a partir de la Isla del Coco y como esta isla, que está sobre la placa del Coco, está siendo transportada hacia la Península de Osa, algún día llegará a estar bajo ella y entonces el mar patrimonial tendrá que definirse a partir de la costa.

Los temblores ocurren cerca de los límites de placas y nosotros estamos muy cerca de uno de estos ellos, se trata de la Fosa Mesoamericana que es la zona de encuentro de las placas del Coco y Caribe. La placa del Coco es oceánica, es corteza oceánica densa y pesada que es movida por los fluidos del interior del planeta, en dirección noreste, a una velocidad relativa de 9 cm/año, se llama así porque contiene a la Isla del

Coco. La placa Caribe es continental, es corteza continental menos densa y más liviana que la corteza de la placa del Coco y por ello, tiende a flotar por encima de la placa del Coco en tanto que esta última se hunde por debajo de Caribe por ser más pesada; el nombre Caribe se debe a que la mayor parte de esta placa es el piso marino del Caribe, incluso algunas islas de esa región. Cuando Cocos se introduce bajo Caribe genera mucho esfuerzo que se transmite al territorio nacional y provoca tanto la sismicidad como el fallamiento de Costa Rica. Tanta falla contribuye al elevado número de sismos en nuestro territorio y como si fuera poco, los volcanes también originan temblores que enriquecen aún más el proceso sísmico.

La colisión Cocos – Caribe involucra aspectos físicos de gran importancia en los programas de Ciencias de la educación Primaria y Secundaria costarricense. Involucra los conceptos de rapidez, velocidad, movimiento, desplazamiento, distancia, energía, trabajo, ondas, refracción y reflexión de ondas. Cuanto más rápido se muevan las placas más energía cinética tendrán y cuanto más se eleve un terreno a causa de ellas, más energía potencial tendrán los objetos ubicados en la cima de esos terrenos. El movimiento de las placas cambia de dirección y por tanto, aunque no cambie su rapidez si cambia su velocidad porque esta última implica dirección y sentido. Otro aspecto importante es que al introducirse la placa del Coco bajo la placa Caribe se forma una palanca que tiende a levantar a la placa Caribe.

### **Generalidades de los tsunamis**

Los tsunamis se pueden definir como oscilaciones del agua del mar o del océano generadas por grandes y abruptas perturbaciones del fondo marino (oceánico) o de la superficie tales como desplazamientos en fallas (lo que a su vez genera un temblor), erupciones volcánicas, deslizamientos de tierra e impacto de meteoritos. El término tsunami es japonés y proviene de las raíces TSU (Puerto) y NAMI (Ola), lo que en conjunto significa Ola de Puerto; lo utilizaron los japoneses para referirse a grandes olas que impactaban sus puertos después de la ocurrencia de grandes temblores. El sinónimo en el idioma Español es Maremoto, aunque este término no es adecuado

porque da la idea de que el mar interviene en su génesis. Las tres etapas de un tsunami son: generación, propagación e inundación.

### *Generación*

Es el proceso mediante el cual una columna de agua del mar o del océano es alterada por procesos geológicos del fondo (movimiento de fallas, deslizamientos, erupciones volcánicas) o por caída de meteoritos, perdiendo tanto su forma como su equilibrio, dando origen a ondas de agua similares a las que se observan cuando un objeto es lanzado a un estanque de agua. El repentino desplazamiento de una gran falla bajo el piso oceánico mueve el agua como si estuviera siendo empujada por un enorme remo produciendo grandes ondas de agua en la superficie del océano llamadas tsunamis.

### *Propagación*

Estas ondas de agua se dispersan desde la vecindad de la fuente y se mueven a través del océano hasta alcanzar la línea de costa. En aguas profundas alcanzan velocidades que pueden sobrepasar los 700 km/h pero aun así no son peligrosos porque en tales condiciones su altura es apenas de pocos metros y la longitud de sus ondas superior a 750 km por lo que la pendiente que crea en la superficie del agua es tan pequeña que apenas pueden ser percibidos por personas que se encuentren en un barco. Conforme la onda de agua se aproxima a la costa produce un gran ruido, y por las irregularidades de fondo, pierde velocidad. Al disminuir la profundidad del agua, las ondas pierden aun más velocidad por lo que las postreras alcanzan a las primeras, sobreponiéndose y aumentando con ello la altura de las que finalmente llegan a la costa.

### *Inundación*

Si la fuente es cercana, estas ondas pueden cubrir por completo una comunidad costera minutos después de su origen y causar pérdidas de vida, destrucción de la estructura e infraestructura y severa erosión de la línea de costa. La gente es arrastrada

junto a otros materiales en las corrientes inducidas por el tsunami a velocidades arriba de los 60 km/h, resultando en muerte debido a múltiples lesiones. En las horas posteriores al ataque del tsunami, los sobrevivientes pueden sufrir por la exposición al medio ya que heridas no tratadas pueden favorecer la gangrena y por ende, la muerte.

Las olas se regresan con una fuerza similar a la que traían al llegar, arrastrando árboles, estructuras y personas al océano. Grandes corrientes arrastran edificios, vehículos, embarcaciones y materiales pesados a las áreas costeras, transformándolos en proyectiles que arrasan todo a su paso; por ellos muchos no mueren ahogados sino por los golpes recibidos. Un periodo de seductiva calma puede ocurrir entre ondas sucesivas, invitando a los confiados a retornar a la costa, ignorando el peligro de la próxima onda.

En países preparados ante ellos, pocos tsunamis llegan a ser destructivos pero en aquellas naciones con pocos o ningún programa de educación comunitaria, las catástrofes por tsunami aumentan. En estos países los residentes costeros no reconocen en un temblor fuerte la alerta natural de un posible tsunami y por tanto no huyen a sitios altos después de él.

Decir con antelación donde puede golpear un tsunami ayuda a salvar vidas y pertenencias si los habitantes costeros reconocen la amenaza y responden apropiadamente. Japón es un país severamente afectado por los tsunamis debidos a los grandes terremotos submarinos que ocurren frente a sus costas. Reconociendo la amenaza recurrente, los japoneses han invertido a través de los años en mitigación de la amenaza por tsunamis, incluyendo programas educativos, un efectivo sistema de alerta, barreras boscosas en la línea de costa y muros para detener el agua. Gracias a todo esto se ha podido reducir el número de víctimas por tsunamis en este país asiático, allí los residentes costeros no lo piensan dos veces para huir de la costa después de un fuerte temblor.

En países sin educación ante tsunamis la situación es muy diferente. Cuando un fuerte temblor remece las costas de uno de estos países, la gente verdaderamente camina hacia el océano para investigar el disturbio, sellando así su destino. Por ignorancia y curiosidad, la gente camina por la banda de playa expuesta después del retiro de las aguas provocadas por el terremoto. Caminan plácidamente mar adentro preguntándose que habría pasado. Buscan con afán peces atrapados en pequeñas pozas de agua sin la más leve sospecha de que un gran peligro los acecha. Algunos incluso sienten curiosidad por ir a ver la llegada de un tsunami cuando han sido notificados del avance de uno hacia las costas. El problema es que cuando quieren escapar ya no pueden porque el tsunami es más rápido que ellos.

### **Tsunamis en América Central y Costa Rica**

La amenaza por tsunamis en América Central fue subestimada hasta marzo de 1992, cuando un tsunami de casi 10 metros de altura llegó a las costas nicaragüenses, anegando grandes sectores de la misma, matando 170 personas. Tal tsunami fue precedido por un temblor lento percibido como leve por la población, la cual no se dio cuenta del peligro y fue sorprendida por el destructivo evento. A partir de entonces iniciaron estudios sobre tal amenaza en la región encontrándose que desde 1539 hasta el presente 49 tsunamis han afectado las costas centroamericanas, cobrando cerca de 500 vidas (Fernández et al. 2000). Las fuentes locales producen tsunamis pero no solo ellas, también temblores de Alaska y Colombia han generado tsunamis que han llegado hasta las costas centroamericanas, cobrando vidas incluso. Las investigaciones revelan que a Costa Rica han llegado 15 tsunamis, 10 al Pacífico y 5 al Caribe, casi todos pequeños y no destructivos. El más importante de todos destruyó la Villa Golfo Dulce, Zona Sur de Costa Rica, en 1854. No se sabe que tan grande era esa villa ni cuantos muertos causó tal tsunami pero eso no es tan importante, como saber que ha habido tsunamis destructivos en Costa Rica. Ello hace imperativo estudiar con mayor precisión la vulnerabilidad de las localidades costeras costarricenses ante tales eventos a fin de reducir los efectos de un futuro desastre.

## **Educación y Prevención**

En 1993 un tsunami de 31 metros de altura inundó la península de Okushiri, Japón, matando a 239 personas. De este tsunami se dijo: “La pérdida de vidas en este evento fue una gran tragedia pero es claro que la alerta tecnológica y la educación comunitaria redujo grandemente el número de víctimas. La Agencia Meteorológica del Japón emitió oportunas y precisas alertas, y muchos residentes se salvaron a si mismos al huir hacia tierras altas inmediatamente después del temblor principal-aun antes del aviso. Okushiri claramente demostró que el impacto de los tsunamis puede ser reducido. Cinco minutos después del temblor la Agencia Meteorológica del Japón emitió una alerta en la Televisión y Radio de que un tsunami estaba en camino. Para entonces ondas de agua de 10 a 20 metros de altura ya habían golpeado parte de la costa reclamando un número de víctimas antes de que ellos pudieran huir. Muchos huyeron a tierras altas tan pronto como ellos sintieron el evento principal. Unos minutos más tarde ondas de agua habían arrasado cientos de sus hogares y negocios, arrastrándolos al mar. Murieron más de 200 personas pero la rápida respuesta salvó un número de vidas mucho mayor” (González, 1999).

Los investigadores en tsunamis y los oficiales de respuesta a emergencias concuerdan en que tsunamis destructivos futuros son inevitables y la tecnología por si sola no puede salvar vidas. Los residentes costeros deben ser capaces de reconocer los signos de un posible tsunami – tales como un fuerte y prolongado movimiento del suelo – y saber que ellos deben buscar sitios altos inmediatamente. La comunidades costeras necesitan mapas de inundación que identifiquen con mucha anticipación que áreas son propensas a ser inundadas para que ellos puedan diseñar rutas de evacuación. Todos estos esfuerzos son esenciales para la primordial meta de evitar tragedias como las del Okushiri, Nueva Guinea e Indonesia.

La educación sigue siendo un aspecto fundamental en la mitigación de la amenaza por tsunamis. Usted mismo puede salvarse de un tsunami aun sin ayuda del experto, como lo confirma el siguiente relato sobre el tsunami de Vanuatu de 1999 que causó mucho

daño pero pocas muertes: *“El pequeño número de víctimas se debió a previa educación y a una fiesta. A causa de una boda en el día del temblor, casi todos (los habitantes de Baie Martelli) estaban aun en pie celebrando cuando el evento ocurrió. Un vigilante fue enviado a mirar la condición del mar. Cuando él reportó que el agua estaba retrocediendo, los pobladores concluyeron que un tsunami estaba por venir, y ellos corrieron a las laderas cercanas para escapar de la onda. Los pobladores dieron el mérito de su respuesta a un video del tsunami de Papua Nueva Guinea de 1998, que ellos habían visto unos meses antes. Las únicas víctimas fueron aquellos demasiado ancianos para poder escapar de la onda, aquellos que regresaron por sus posesiones después del paso de la primera onda, y un hombre muy borracho, en Kava, que ignoró a quienes lo estaban señalando el refugio” (Caminade et al. 2000).*

Con el objetivo de identificar zonas en riesgo por tsunamis en Costa Rica y educar y preparar la población ante la amenaza, para que sepan responder a las alerta emitidas por la naturaleza y autoridades competentes, la Universidad de Costa Rica, a través del Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI) y la Red Sismológica Nacional (RSN: ICE-UCR), ha iniciado un proyecto para determinar el grado de exposición de las comunidades ante la amenaza y capacitar a los residentes costeros con el fin de enfrentar correctamente un eventual tsunami. La RSN coordina con el Ministerio de Educación Pública para difundir más ampliamente la información sobre tsunamis.

### **Enfrentando un tsunami**

Conocer el fenómeno y estar conciente de su amenaza podría salvar vidas de las garras de un tsunami. Los residentes costeros y los turistas cuentan con los siguientes recursos para enfrentar un evento de esta naturaleza:

Preste atención a los avisos de la naturaleza. Un terremoto puede servir como un aviso de que un tsunami se aproxima. Después de un movimiento telúrico sentido en zonas costeras, mucha gente ha decidido dirigirse a los cerros cercanos, salvando con ello sus vidas. Para tal acción, sus únicos avisos de alarma fueron los minutos de sacudida, o



quizás los cambios en el nivel del mar o de un río cercano al mar. Lamentablemente, muchos no atienden la alerta natural y perecen.

Preste atención a los avisos oficiales. Asegúrese, aunque los avisos parezcan ambiguos o usted piense que el peligro ha pasado. Si ha escuchado de una alerta oficial contra tsunamis no vaya a la playa a esperarlo, aléjese de la costa y no regrese hasta recibir la indicación oficial de que el peligro ha pasado.

Diríjase a un largo alto y permanezca allí. Suba a un cerro o al menos aléjese de la costa. Durante el tsunami de 1960, causado por el terremoto más grande hasta el momento, el de Chile de magnitud 9.5, el hecho de dirigirse a un lugar alto y esperar, salvó muchas vidas no solo en Chile, sino también en Onagawa, Japón. En este poblado, las destructivas olas, que transportaban angulosos restos de madera, alcanzaron alturas de 4 metros y se mantuvieron llegando por más de tres horas. En otras localidades de Japón el tsunami mató a 122 personas, pero Onagawa nadie murió, probablemente, debido a que la mayor parte de su población se dirigió a sectores altos. Algunos alcanzaron a subir alrededor de las 4:40 a.m., precisamente cuando la primera gran ola entraba en el pueblo.

Abandone sus bienes. Salve su vida, no sus posesiones. Hay quienes sobreviven un terremoto y pueden librarse del ataque de su asociado tsunami pero pierden su vida durante la inundación mientras trataba de salvar sus bienes. Durante el tsunami de las Islas Vanuatu, Pacífico Sur, en 1999 algunas personas murieron de esa forma.

No cuente con vías transitables para huir. Cuando esté huyendo de un tsunami, podría encontrar los caminos averiados o bloqueados si fue un terremoto la causa del mismo. El sismo provoca grietas y deslizamientos de tierra que podrían cortar los caminos.

Suba a un piso superior, al techo o a un árbol. Sólo si está atrapado o incapacitado de ir a un sector alto, suba a un nivel superior o al techo de una construcción firme. Esto es útil en costas muy planas donde no hay sitios altos cercanos. En 1998 un tsunami

arrasó las localidades de Sissano, Arop y Warapu ubicadas en la barra de arena Sissano, matando más de 2200 personas. Después de investigar el fenómeno, el grupo científico concluyó: “Cada familia en una zona en riesgo debe tener un árbol asignado (preferiblemente Casuarina) con una escalera o gradas labradas, para permitir la evacuación vertical posible, cuando no hay otra opción”. Esto parece irrisorio pero durante el tsunami de 1960 salvó gente en Chile.

Suba a algún objeto que flote. Si es alcanzado por un tsunami, busque algo para usarlo como balsa. Si una persona que ha sido alcanzada por un tsunami logra aferrarse a un tronco o a cualquier objeto flotante, flotará con él y tendrá más posibilidades de sobrevivir.

Estas acciones y las características esenciales de los tsunamis están siendo enseñadas en las comunidades costeras del país y se espera que el conocimiento se difunda por todo Costa Rica. Este es un esfuerzo esencial para el logro de la primordial meta de evitar tragedias como la de Nicaragua, Okushiri, Nueva Guinea e Indonesia.

## **Bibliografía**

Caminade, P., Charlie, D., Kanoglu, U., Koshimura, S., Matsutomi, H., Moore, A., Ruscher, Ch., Synolakis, C., Takahashi, T., 2000, Vanuatu Earthquake and Tsunami Cause Much Damage, Few Casualties: *Eos Trans. AGU*, Vol. 81, No. 52, pp 641-646.

Fernandez, M., Molina, E., Havskov, J., Atakan, K., 2000, Tsunamis and Tsunami Hazards in Central America: *Natural Hazards*, V 22, No 2, pp. 91–116.

González, F., 1999, Tsunami: *Scientific American*, Vol. 280, No. 5: 56-65.