

PREVENCION DE TSUNAMI EN COLOMBIA

Hansjürgen Meyer *

ABSTRACT

All known tsunamis which have hit Colombia's Pacific coast were from a near source, the Nazca - Southamerica subduction zone. The typical wave travel time to the closest town (Tumaco) was half an hour. A few years ago it was concluded that a local and autonomous tsunami detection and warning system was a necessity and its implementation feasible. Design and installation of this system began in 1989, with the general coordination and support from national authorities and the scientific and technical responsibility of OSSO. The design of the system aims at a true detection capability, automatic processing and message release and at a forecasting capability beyond the small time window opened by the parent earthquake, using different prediction methods. Installation of the system began in 1991, with international funding. Recently national sources granted major funds for further development of the system and its complementary research programs. It is planned to have the detection and warning system operational in about two years. There are partial results in all different segments of the Colombian Tsunami Prevention Program; some of these results have already entailed impact as to mitigation policies and actions.

INTRODUCCION

Entre los fenómenos naturales que más violentamente afectan zonas costeras están los tsunamis, grandes olas marinas causadas por deformación cósmica del fondo marino, por erupciones volcánicas y deslizamientos marinos. En casos extremos las alturas de estas olas pueden alcanzar en la costa más de 20 m de altura, pero aún con pocos metros causan grandes estragos por impacto, por inundación y por erosión de terrenos. La gran mayoría de los tsunamis desastrosos - también en el caso de Colombia - son generados por 'zonas de subducción', los límites convergentes en el esquema de la tectónica de placas.

En comparación con otros fenómenos peligrosos, es relativamente poco factible realizar edificaciones resistentes al impacto de tsunamis, pero sí es posible diseñar estrategias de evacuación muy eficientes, aprovechando que los tsunamis son actualmente el fenómeno violento más predecible entre aquellos que tienen su causa en el cuerpo terrestre, por ser consecuencia de otro fenómeno bien observable - el terremoto tsunamigénico - cuyas señales (las ondas sísmicas) se propagan con mucho mayor velocidad que las olas de tsunami.

La posibilidad de pronosticar la ocurrencia de tsunamis a partir de la detección de su terremoto causante se previó casi desde los inicios de la sismología instrumental (ver p. ej. Finch, 1923)

* Universidad del Valle
Observatorio Sismológico del Suroccidente - OSSO
A.A. 25360, Fax (23) 313418, e-mail osso@univalle.edu.co
Cali, Colombia

Durante mucho tiempo las limitaciones a una eficiente realización de la idea fueron más de orden tecnológico que fundamental.

A raíz de los grandes tsunamis (desastrosos también en costas lejanas) de Chile (1960) y Alaska (1964) se creó el 'International Coordination Group for the Tsunami Warning System in the Pacific ITSU' y el 'Pacific Tsunami Warning Center' en Hawaii. Durante muchos años la atención estuvo centrada en el problema de los tsunamis de origen lejano. Sin embargo, las estadísticas de los últimos 100 años demuestran (Lander & Lockridge, 1986) que las víctimas han sido en un 99% por eventos ocurridos a menos de 400 km de la costa y en los primeros 30 minutos después de la ocurrencia del sismo. La mayoría de los países en desarrollo están en esta situación, con amenazas por tsunamis de fuente cercana.

Todos los tsunamis históricamente conocidos que han afectado costas colombianas en el Océano Pacífico han sido de origen cercano, la zona de subducción de las placas Nazca y Suramérica. Los tiempos de arribo de la primera ola a la población más cercana (Tumaco) fueron de media hora. Después del desastroso tsunami de diciembre 1979 (originado frente a las costas del sur del país), Colombia se afilió al ITSU y a su centro de alertas en Hawaii, a través de la Comisión Colombiana de Oceanografía, en la cual se creó también entonces el Comité Técnico para el Sistema de Alerta de Tsunami (CTAT)

Con el programa 'Mitigación de Riesgos en Colombia' (cofinanciación y coordinación general de ACADI, UNDRP y ONAD) surgió la posibilidad de aplicar recursos a la evidente necesidad de iniciar un programa nacional de prevención de tsunamis, con un sistema de detección y alerta diseñado para la fuente de amenaza más importante, la cercana zona de subducción.

El CTAT solicitó al OSSO, en razón de su experiencia en el estudio de tsunamis, a la disponibilidad de recursos específicos y a su área de estudio, una propuesta para el diseño e instalación de un sistema de detección y alerta de tsunamis de origen cercano, a la vez que otros organismos representados en este comité iniciaron actividades en otros segmentos del Programa Nacional de Prevención de Tsunamis (cartilla de información pública, modelos de inundación) La propuesta del OSSO fue aceptada por todas las instancias; en 1989 se iniciaron las actividades con apoyo del programa de ACADI/UNDRP/ONAD. En razón a la localización de los grandes terremotos/tsunamis históricamente conocidos y a la concentración de vidas y bienes expuestos, se decidió dar por ahora prioridad en el programa de prevención al área de Tumaco. Debido a la simultaneidad de los fenómenos (terremoto y tsunami) en la región, se decidió también promover y adelantar proyectos que tuvieran en cuenta éste hecho, lo cual llevó pronto a subproyectos como la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de Tumaco.

EL PROBLEMA

Escenarios históricos

La escasez de fuentes históricas relacionadas con el Litoral Pacífico ha hecho que hasta ahora sólo se tenga conocimiento de sismos/tsunamis ocurridos en el presente siglo, aún cuando el conocimiento sismotectónico general sugiere que tienen que haber ocurrido eventos grandes también en el período histórico anterior

Para la Ensenada de Tumaco, donde la amplitud de las mareas puede alcanzar máximos superiores a cuatro metros, la amenaza por tsunami está relacionada, de una manera excepcional, con el nivel de la marea. Bancos de arena localizados frente a las islas de Tumaco quiebran el oleaje y disipan mayor o menor parte de su energía, según el nivel de marea del momento. No es exagerado afirmar que Tumaco en este siglo se ha salvado dos veces de un desastre mucho mayor, porque los tsunamis de 1906 y 1979 ocurrieron ambos cerca a niveles mínimos de las mareas semidiurnas y quincenales. Es válido inferir que la costa colombiana en el Pacífico aún no ha soportado un evento máximo probable. Este tendría características 'tipo 1906' en cuanto a localización y tamaño del sismo, pero ocurriría durante niveles de marea altos.

Mientras que poblaciones como Tumaco y Buenaventura han sobrellevado los tsunamis históricos grandes sin consecuencias catastróficas por condiciones locales y coincidencias favorables (barras protectoras, ubicación en bahía, nivel de marea, etc), otros sectores y poblaciones del Litoral fueron golpeados duramente. El caso más dramático es quizás San Juan de la Costa (menos de 100 km al norte de Tumaco), arrasado totalmente en 1906 y en 1979.

El impacto desastroso del tsunami de 1906 abarcó todo el Litoral colombiano. Según testimonios de la época, Puerto Mutis (unos 450 km al norte de Tumaco) fue inundado; se reconstruyó luego en una bahía más protegida, con el nombre Bahía Solano.

Sismotectónica regional y fuentes de tsunami

Frente a las costas de Colombia en el Pacífico se halla una de las zonas de subducción con mayor velocidad de convergencia (7 a 10 cm/año según Freymueller et al., 1993) y sísmicamente más activas. En el presente siglo han ocurrido cuatro terremotos con $M > 7.0$ y generación de tsunami, dos de ellos muy grandes (1906, 1979).

Tanto las características de los grandes sismos conocidos como los rasgos sismotectónicos de la región sugieren que el segmento más peligroso de la zona de subducción en la región colombo - ecuatoriana es aquel comprendido entre la Dorsal de Carnegie (aprox. latitud de Guayaquil) y la inflexión del rumbo de la zona, a la latitud de Buenaventura. Este segmento corresponde aproximadamente a la extensión del área de ruptura del gran terremoto de 1906.

La información histórica y sísmológica solamente da testimonio de terremotos tsunamigénicos grandes en la parte sur del Litoral colombiano (el segmento entre Buenaventura y Tumaco) y norte del Litoral ecuatoriano. El potencial del segmento septentrional aún es desconocido.

Evolución de exposición y vulnerabilidad

El escenario para un terremoto/tsunami en el Litoral Pacífico está cambiando rápidamente: el crecimiento demográfico, el desarrollo socioeconómico, así como importantes proyectos de infraestructura (base naval, desarrollo de balnearios, interconexión eléctrica, industrias pesqueras, nuevas vías de acceso, nuevos puertos, etc.) elevan el nivel de riesgo aceleradamente. La población urbana de Tumaco ya pasa de 60.000 hab y en años recientes se han ocupado grandes áreas de playa.

El escenario de riesgo para un tsunami grande en el Litoral comprende no solamente muchas vidas, bienes y servicios, sino también el mismo ambiente natural, actualmente sujeto a sensible

degradación. Los escenarios históricos hacen evidente, cómo el ambiente (barras de arena, vegetación costera) en algunos casos ha actuado como importante reductor de la exposición.

ESTRATEGIAS PARA LA MITIGACION

El Programa Nacional abarca, actualmente con diversos niveles de financiación y ejecución, todos los segmentos que son críticos para el logro del objetivo de la reducción de riesgo: la evaluación de la amenaza, exposición y vulnerabilidad; los preparativos para casos de emergencia, y el diseño y realización de políticas y medidas de mitigación.

Conceptos de diseño

El diseño del Programa se ha fundamentado sobre los siguientes conceptos, principalmente:

- Acorde con la distribución de niveles de amenaza y elementos expuestos en el Litoral, la realización del Programa se ha *priorizado* en el área de Tumaco.
- Por su complejidad, el Programa no puede ser ejecutado por un solo organismo, pero debe tener una instancia de *coordinación interinstitucional* (CTAT).
- El Programa debe ser nacional y *autónomo*, pero también debe recurrir en lo posible a la cooperación internacional, para lograr un mejor acceso a tecnologías de evaluación y mitigación avanzadas.
- El Programa procura una permanente *articulación* entre científicos, técnicos, administradores y comunidad, para lograr una óptima y rápida ejecución de medidas, aún con resultados parciales.
- Se procura al máximo la utilización de los *recursos disponibles*.
- Debido a que en la mayoría de los casos y áreas del Litoral la ocurrencia de tsunami y movimiento sísmico fuerte es simultánea, se procura un tratamiento *integral* de estos fenómenos.

Aspectos institucionales

Desde sus inicios, la coordinación general de este Programa ha estado a cargo del CTAT, de la Comisión Colombiana de Oceanografía, la cual lo ha puesto como prioritario en su plan de desarrollo decadal. En este comité están representadas la Dirección Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, la Armada Nacional, el Instituto Geográfico 'Agustín Codazzi', el HIMAT (Servicio Meteorológico), el INGEOMINAS (Servicio Geológico), la Defensa Civil, el Instituto Geofísico de la Universidad Javeriana, y el OSSO. El CTAT se reúne unas cuatro veces por año.

La mayor parte de los subproyectos científico-técnicos están a cargo del OSSO. Sin embargo y debido a su complejidad y magnitud, el Programa ha contado de manera progresiva con el apoyo y participación de un conjunto de organismos nacionales e internacionales, oficiales y privados: Fondo Nacional de Calamidades (que dedica una gran parte de sus recursos a la

prevención), Armada Nacional, Naciones Unidas (DHA-UNDRO y PNUD), Corporación Autónoma Regional del Cauca - CVC, Municipios de Tumaco y Buenaventura, COLCIENCIAS, Third World Academy of Sciences, Fondo de Vigilancia y Seguridad del Municipio de Cali, Fundación 'Compañeros de las Américas', Comisión Oceanográfica Intergubernamental, Canadian International Development Agency, SERPA Ltda., y otros. Recientemente anunció su participación el Cuerpo Suizo de Socorro, el cual ya había hecho considerables aportes para la creación del OSSO.

Los primeros recursos para el Programa (aprox. US \$ 70.000,-), aportados por el programa 'Mitigación de Riesgos en Colombia' (ACDI/UNDRO/ONAD), fueron dedicados a actividades como la evaluación de la vulnerabilidad sísmica y por tsunamis de Tumaco, el diseño del sistema de detección y alerta de tsunamis, cálculo de modelos de inundación para Tumaco, así como la adquisición de los primeros equipos e instrumentos para el sistema. A través de la Dirección Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, el Fondo Nacional de Calamidades aprobó recientemente unos US \$ 300.000, para la adquisición de diversos equipos, para el desarrollo del sistema de detección y alerta y la realización de investigaciones complementarias.

Cooperación regional

El conocimiento histórico y sismotectónico regional hace evidente que el origen de la amenaza - la zona de subducción Nazca - Suramérica - es compartido por Colombia y Ecuador. Esto llevó a que desde recién iniciado el Programa se promoviera la cooperación con el vecino país.

Desde 1989 se han organizado conjuntamente o compartido diversas actividades, como seminarios (Esmeraldas, Cali) auspiciados por la Fundación 'Compañeros de las Américas', asesoría del OSSO en Ecuador bajo el auspicio de UNDRO, cursos, investigaciones históricas conjuntas, intercambio de datos sísmológicos, etc. En todo esto el OSSO ha estado cooperando directamente con el Instituto Geofísico en Quito (Escuela Politécnica Nacional). Actualmente está en proceso la interconexión telemétrica de estaciones sísmológicas del OSSO y del Instituto Geofísico.

El objetivo es que ambos países tengan sistemas de detección y alerta similares, autónomos y complementarios

Evaluación de amenaza y exposición

La Armada Nacional (Duarte, 1993) realizó el primer modelaje de tiempos de arribo y alturas de ola para las islas de Tumaco, para una fuente 'tipo 1979', mediante la aplicación de relaciones empíricas. Actualmente está en preparación un proceso de simulación matemática para calcular con mayor detalle y precisión las áreas expuestas a tsunamis.

La búsqueda de fuentes históricas aún no ha aportado evidencias de sismos/tsunamis anteriores a 1906, lo cual por ahora se explica con el poco desarrollo demográfico y socioeconómico del Litoral, y la desaparición de mucha información histórica por desastres (incendios, etc.). Esta búsqueda así como el análisis de bases de datos modernas tampoco ha demostrado que el Litoral Colombiano haya sido afectado por tsunamis de origen lejano.

Para el pronóstico de la ocurrencia de sismos tsunamigénicos y tsunamis se ha diseñado, rebasando el concepto tradicional de sistema de alerta, una metodología de 'ventanas' de

predicción, fundamentado en la observación de diversos fenómenos que han demostrado su mayor o menor eficiencia como precursores, especialmente en zonas de subducción. Estas ventanas abarcan escalas de tiempo (y niveles de resolución y confiabilidad) diferentes. Actualmente estamos trabajando con ó preparándonos en los siguientes métodos:

- Evaluación de períodos de recurrencia de terremotos grandes, mediante análisis de información sismológica instrumental, análisis histórico, análisis arqueológico y evaluación geológica.
- Observación de deformaciones verticales presísmicas, mediante la técnica GPS.
- Observación de 'sismos lentos', que en varias ocasiones se han evidenciado como precursores de grandes sismos de zonas de subducción, con plazos de decenas de minutos.
- Análisis de patrones precursores en el catálogo instrumental, con las metodologías desarrolladas por el Instituto Internacional de Teoría de la Predicción de Terremotos y Matemática Geofísica - Academia de Ciencias de Rusia (Keilis-Borok, Kossobokov et al.).
- Evaluación de la correlación entre la ocurrencia de sismos mayores y grandes, y las fases de marea gravimétrica.

En la evaluación de la exposición a tsunamis, mediante el análisis de escenarios históricos, se ha encontrado que la destrucción de la vegetación costera (manglares) ha jugado un papel importante, por ejemplo en el caso de San Juan de la Costa. En Tumaco se ha dado un fenómeno muy particular y cíclico: bancos de arena e islotes que han protegido a las islas en los eventos de este siglo disipando energía de las olas, son destruidos por el evento mismo, para luego volver a formarse lentamente mediante los procesos normales de la dinámica costera.

El sistema de detección y alerta

El objetivo principal del sistema de detección y alerta es ayudar a proteger la vida de la población expuesta y la normalidad de las operaciones navales y portuarias, mediante la determinación rápida del potencial tsunamigénico de terremotos cercanos y la difusión oportuna de mensajes sobre alturas de ola probables.

El parámetro sísmico más estrechamente relacionado con el tamaño del tsunami es el llamado 'momento sísmico' (representativo del volumen deformado por la ruptura de la falla). Para el caso de los tsunamis este parámetro es imaginable - en primera aproximación - como el volumen del 'émbolo' que en el instante de la ruptura desplaza súbitamente el agua del océano. Mediante esta analogía es posible estimar el tamaño (i.e. alturas de ola) del tsunami generado. El conocimiento y las tecnologías de observación y procesamiento actuales permiten en la actualidad calcular el momento sísmico en 'tiempo real' (Talandier & Okal, 1989). Además, las olas de tsunami se propagan a una velocidad muy inferior a la de las ondas sísmicas; ésto es la base del principio de funcionamiento de los sistemas de detección y alerta que operan con la observación y evaluación indirecta, es decir del fenómeno causante.

Para el diseño del sistema colombiano se partió de información sobre sistemas existentes o propuestos, del estado actual del conocimiento sismológico y de las tecnologías de observación

y procesamiento actualmente disponibles. En la mayoría de estos sistemas se encontraron características que los limitaban como posibles modelos para el proyecto colombiano: tiempos de evaluación demasiado largos; evaluación a partir de parámetros sísmicos no suficientemente correlacionados con el potencial tsunamigénico; utilización de datos no disponibles en el área del proyecto (aceleraciones); limitación del objetivo a alerta (sin cuantificación); dependencia de sistemas de comunicación de otros países; etc. Sólo en el sistema de prevención de la Polinesia Francesa (Talandier & Okal, 1989) se encontraron características que prometían la posibilidad de realización de un sistema eficiente y confiable bajo las necesidades y condiciones en Colombia. Este sistema, que tiene fundamentos teóricos novedosos, como es el caso con el concepto de 'magnitud de manto', aprovecha tecnologías de instrumentación actuales (sismógrafos de banda ancha), funciona aún a distancias locales (como se requiere en Colombia y Ecuador), opera en 'tiempo real', y ya ha realizado un número de observaciones suficiente para establecer los rangos de error del cálculo de potencial (o sea del momento sísmico).

En el diseño del sistema de detección y alerta se han puesto como metas generales la capacidad de cuantificación rápida (pocos minutos, en función de la llegada de ondas sísmicas superficiales) del potencial tsunamigénico, así como una capacidad de pronóstico más allá de la ventana de tiempo que abre el terremoto causal, a diversas escalas de minutos hasta décadas, diagnosticando diversos tipos de fenómenos precursoros. Los conceptos de diseño básicos para el sistema han sido:

- las condiciones locales (cercanía de la fuente, riesgo sísmico) no permiten realizar un sistema de detección directa (p. ej. con mareógrafos o sensores submarinos);
- el sistema debe priorizar la fuente más cercana y demostradamente peligrosa, la 'zona de subducción colombo - ecuatoriana';
- el sistema debe proveer información predictiva en una de varias 'ventanas' complementarias;
- debe lograrse una capacidad de cuantificación confiable del potencial tsunamigénico, evitar falsas alarmas, además de poder emitir mensajes sobre sismos sentidos no tsunamigénicos;
- se deben evitar períodos de espera intertsunami 'ociosos' (que en promedio serán de varias décadas), para lograr una mayor confiabilidad, operando el sistema en una unidad con otros intereses y tareas, relacionadas y más continuas;
- fundamentar el sistema en recursos específicos disponibles., tales como la red sismológica del SW y su observatorio;
- instrumentar el sistema mediante desagregación tecnológica y procurando la mayor autonomía posible en el diseño, ensamblaje, construcción, mantenimiento y reparación de los equipos.

Instrumentos y redes

El sistema prevee por ahora cuatro tipos de redes de observación básicas, actualmente en operación, desarrollo o diseño:

a) Red sísmica regional de período corto

En operación desde 1987, con actualmente 10 estaciones telemetradas provistas de sensores verticales de periodo corto. Su umbral de magnitud para el segmento colombiano de la zona de subducción es de aprox. 3.2. En el centro de adquisición (OSSO), las señales análogas son convertidas y luego registradas y procesadas en sistemas digitales, con algoritmos desarrollados en el OSSO. En el marco del diseño del sistema, esta red provee datos para los cálculos de parámetros hipocentrales de los sismos de magnitudes pequeñas e intermedias, y de esta manera el seguimiento continuo de la sismicidad en el área. Está previsto que en unos dos años la información acumulada con esta red permitirá aplicar procedimientos de predicción de plazo intermedio 'localizada' (Kossobokov et al., 1990).

b) Red regional de banda ancha

Con esta red, la parte fundamental y crítica del sistema de detección y alerta, se adquirirán los datos para el cálculo de los parámetros de potencial tsunamigénico (Talandier & Okal, 1989). Se ha planeado instalar tres estaciones. La primera, en Isla Gorgona, está actualmente en funcionamiento de prueba, equipada con un sensor de banda ancha para movimientos fuertes.

c) Red mareográfica

Los dos mareógrafos que han operado en la región (Buenaventura, Tumaco) no han podido registrar señales de tsunami de origen cercano, en parte por destrucción sísmica. Como parte del proyecto se instalará al menos un mareógrafo telemétrico, probablemente en Isla Gorgona, para obtener datos de tsunami y así poder calibrar los modelos de propagación, y para apoyar procedimientos de alerta hacia sitios más alejados (por ejemplo Buenaventura), el segmento norte del Litoral, y países vecinos.

d) Red de deformaciones

Observaciones en otras zonas de subducción y simulaciones matemáticas han demostrado que el ciclo sísmico genera deformaciones verticales pre y cosísmicas de extensión regional medibles. El análisis de datos mareográficos y geodésicos en el marco del ambiente espaciotemporal del terremoto de diciembre 1979 (Luschen, 1982) confirman que el fenómeno también es observable en el caso particular. Dentro de la estrategia de las múltiples ventanas de predicción que hace parte de este proyecto, se ha previsto hacer mediciones geodésicas verticales. Después de algunos ensayos iniciales con inclinómetros se está diseñando actualmente una red para utilizar la técnica de geodesia por satélite GPS.

Sistema de comunicaciones

No se han realizado aún canales de comunicación específicos para este proyecto, que por la cercanía de las fuentes de amenaza deberán ser automáticos y directamente hacia las comunidades expuestas. El diseño de esta parte esencial del sistema está en proceso, incorporando todas las consideraciones necesarias sobre las limitaciones de la infraestructura en el Litoral y sobre su idiosincracia cultural y social. Para el sistema de comunicaciones se ha previsto la utilización de receptores dedicados, estaciones de radio locales y sistemas públicos de señalización acústica.

Investigaciones complementarias

El proyecto del sistema de detección y alerta abarca otras actividades complementarias, como son investigaciones sobre las siguientes cuestiones:

- Evaluación del potencial de sismos tsunamigénicos en el segmento norte (Buenaventura - Panamá) de la zona de subducción, para la cual no hay evidencias instrumentales de sismos grandes.
- Estabilidad del modo de ruptura de grandes sismos en el segmento sur, en donde los cuatro terremotos tsunamigénicos del presente siglo han presentado ruptura unilateral, de sur a norte. Este problema es pertinente al fenómeno de directividad en la generación de tsunami.

Impacto de los resultados parciales

La estrategia de articulación entre científicos, administradores y comunidad ha permitido avanzar en las acciones de mitigación, con base en resultados parciales.

Por su propia iniciativa, el Municipio de Buenaventura encargó al OSSO un estudio de riesgo y alternativas de mitigación para una gran parte del Litoral (Meyer & Velasquez, 1992).

En un proyecto de infraestructura sanitaria (acueductos, alcantarillados) de gran magnitud para el Litoral - AT-PAS - se incluyeron consideraciones de amenaza (terremoto, licuación, tsunami) en los diseños.

En diversos casos de planificación de infraestructura el OSSO ha sido consultado directamente por las administraciones municipales y departamentales, para hacer recomendaciones de mitigación.

Los primeros resultados del análisis de precursores sísmicos (Kossobokov & Meyer, 1993), entregados a la DN-PAD en 1992, han generado importantes acciones de mitigación, entre las cuales está un programa de relocalización para una parte de la población de Tumaco, actualmente cofinanciado con aprox. US \$ 10'000.000,- de la Comunidad Europea. Se ha dado aquí el caso de información predictiva divulgada ampliamente, sin que hasta el momento se hayan presentado efectos adversos o caóticos. Esto, aparte de manejo que se le ha dado a la información por parte de medios de comunicación, administradores y científicos, probablemente también se debe a las características de la metodología aplicada, que calcula 'ventanas de probabilidad de ocurrencia' de cinco años, evitando así el efecto psicológico de fechas precisas y permitiendo una percepción que deja margen para el ajuste a la amenaza.

BIBLIOGRAFIA

- Finch, R.H. (1923). 'On the prediction of tidal waves'. Proceedings, Pan-Pacific Science Congress, edit G Lightfoot, vol. 2, p. 1366-1368, Melbourne.
- Freymueller, J.T., J.N. Kellogg, V. Vega (1993). 'Plate Motions in the North Andean Region'. *Journal of Geophysical Research* vol. 98, no. B12, p 21 853-21 863
- Duarte M. A (1993). 'Determinación del grado de exposición del área urbana de Tumaco a la inundación por tsunami'. Tesis en Oceanografía, Escuela Naval 'Almirante Padilla', Armada de la República de Colombia, Cartagena

- Gonzalez, S. (1990). 'Vulnerabilidad sismica de Tumaco' Informe final al programa 'Mitigacion de Riesgos en Colombia', presentado a ONAD y UNDRO; OSSO, Universidad del Valle, Cali.
- Herd, D.G., T L Youd, Hj. Meyer, J.L. Arango, W. J. Person, C. Mendoza (1981). 'The Great Tumaco, Colombia Earthquake of 12 December 1979'. *SCIENCE* vol 211, no 4481.
- Kossobokov, V.G., V.I. Keilis-Borok, S W. Smith (1990) 'Localization of intermediate-term earthquake prediction' *Journal of Geophysical Research* vol 95, no. B12, p. 19.763 - 19.772
- Kossobokov, V G., Hj. Meyer (1993) 'Regions of increased probability of magnitude 7.5+ earthquakes for the period from January 1, 1993 to July 1, 1993 in Colombia and adjacent territories'. Interim report to Direccion Nacional para la Prevencion y Atencion de Desastres, 5 p., Cali.
- Lüschen, E. (1982) 'Gravimetrische und geodätische Wiederholungsmessungen zum Studium rezenter Vertikaltektonik in einer plattentektonischen Konvergenz-Zone am Beispiel der nördlichen Anden in Kolumbien'. Tesis doctoral, Christian-Albrechts-Universität Kiel, 190 p.
- Lander, J.F., P.A. Lockridge (1986). 'Uses of a tsunami data base for research and operations'. Abstract *EOS* vol. 67. p. 1003
- Lay, T , H Kanamori, L. Ruff (1982). 'The asperity model and the nature of large subduction zone earthquakes'. *Earthquake Prediction Research* vol. 1, no. 1, p. 3-71
- Meyer, Hj., A. Velasquez (1992). 'Aproximacion a los riesgos por tsunami en la costa del Pacifico de Colombia'. Serie *Publicaciones Ocasionales del OSSO*, no. 2, 43 p , Cali.
- Meyer, Hj. (1993). 'The Colombian Tsunami Detection and Warning System'. Annex to the national report to ITSU/IOC, 6 p , OSSO, Cali.
- Talandier, J., E.A. Okal (1989) 'An algorithm for automated tsunami warning in French Polinesia based on mantle magnitude'. *Bulletin of the Seismological Society of America* , vol 79, p 1177-1193.