

# INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y PREPARACIÓN ANTE DESASTRES

**Microzonificación urbana**  
**Gestión de crisis**  
**Comunicación**

**II Simposio Científico Internacional**  
**12-13 de octubre 2009**  
**Lima-Perú**



**Hernando Tavera**  
**EDITOR**

COMISIÓN EUROPEA



Ayuda humanitaria



Institut de recherche  
pour le développement

# **INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y PREPARACIÓN ANTE DESASTRES**

**II SIMPOSIO CIENTÍFICO INTERNACIONAL**

**Microzonificación urbana  
Gestión de crisis  
Comunicación**

**Hernando Tavera  
Editor**

**Comunidad Andina de Naciones  
Auditorio Simón Bolívar  
12 y 13 de octubre, 2009  
Lima, Perú**

La elaboración de esta publicación ha sido posible gracias a la financiación de la Dirección General de Ayuda Humanitaria de la Comisión Europea. Su contenido no necesariamente refleja la opinión de la Dirección General de Ayuda Humanitaria de la Comisión Europea.

“Comunidades organizadas de la costa del Perú y Ecuador preparadas ante desastres, utilizando instrumentos comunes e intercambiando experiencias” en el marco del sexto Plan de Acción DIPECHO para América del Sur.

© COOPI – Cooperazione Internazionale  
Calle Coronel Zegarra 264, Jesús María, Lima, Perú  
Telefax: (0051-1) 4710585, correo electrónico: peru@coopi.org  
www.coopi.org

© IGP – Instituto Geofísico del Perú  
Calle Badajoz 169, Mayorazgo IV Etapa, Lima, Perú  
Teléfono: (0051-1) 3172300, correo electrónico: web@geo.igp.gob.pe  
www.igp.gob.pe

© Institut de Recherche pour le Développement (IRD)  
Calle Teruel 357, Miraflores, Lima, Perú  
Teléfono: (0051-1) 4413223, correo electrónico: perou@ird.fr  
www.peru.ird.fr

Hecho el depósito legal N° 2010-09049 en la Biblioteca Nacional del Perú

Diagramación e Impresión: Ediciones Nova Print SAC  
Ignacio Merino 1546, Lince  
Primera edición: julio 2010, Lima, Perú  
Tiraje: 600 ejemplares

Está rigurosamente prohibida la reproducción total o parcial de este libro, la recopilación en sistema informático, la transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, por registro o por otros métodos sin el permiso previo y por escrito de los propietarios del copyright.

## **COMITÉ ORGANIZADOR**

Lic. Morena Zuchelli (COOPI)  
Dr. Hernando Tavera (IGP)  
Dr. Robert D'Ercole (IRD)

## **Integrantes del Comité**

Isabel Bernal  
Consuelo Agüero  
Juan Carlos Villegas  
Luz Arredondo  
Sheila Yauri  
Patricia Guardia  
Liliana Torres  
Bilha Herrera



## PRÓLOGO

El II Simposio Científico Internacional “**Investigación Científica y Preparación ante Desastres**” (Lima, 12 y 13 de Octubre de 2009) fue organizado por Cooperazione Internazionale (COOPI) juntamente con el Instituto Geofísico del Perú (IGP) con el apoyo financiero de la Comisión Europea a través del VI Plan de Acción DIPECHO para America del Sur (Proyectos COOPI y UNESCO), de COSUDE y del PNUD. Asimismo, el evento contó con el auspicio del Institut de Recherche pour le Développement (IRD) y de la Comunidad Andina de Naciones (CAN)

El II Simposio Científico Internacional “**Investigación Científica y Preparación ante Desastres**” nace del I Simposio Internacional “**La Geofísica y su aporte en la reducción de riesgos de desastres naturales**” realizado en el 2008 en Arequipa (Perú) con el objetivo de promover el intercambio científico en América Latina y otros países, centrado en investigación científica sobre fenómenos de la naturaleza y preparación/ prevención de desastres realizada en el mismo continente. En este evento se han congregados a representantes de los diversos Institutos Geofísicos Latinoamericanos de los países de Venezuela, Ecuador, Colombia, Perú, Chile, Argentina y Bolivia para presentar y discutir temarios referentes a la microzonificación urbana. Así mismo se ha contado con especialistas en la gestión de crisis y la comunicación que han debatido sobre las intervenciones y la información para alertar sobre riesgos. Se contó con la participación de veinte especialistas con prestigio internacional en estos temas, cuyas presentaciones y convivencia permitieron enriquecer mucho más el conocimiento ya adquirido sobre la problemática social y política de las ciudades latinas en desarrollo. La presencia de científicos de Francia y Suiza fue enriquecedora permitiendo compartir experiencias con los colegas Latinoamericanos. Se contó con la asistencia y participación de ochenta y cinco profesionales/estudiantes/público inscritos que no escatimaron esfuerzos en instar a los expositores a dar respuestas a todas sus preguntas, además de discusiones fructíferas fuera de las diversas sesiones de trabajo.

Los trabajos aquí incluidos tienen la forma de resúmenes de las presentaciones realizadas y/o de publicaciones que los expositores realizaron en revistas científicas sobre los temas por ellos presentados; estos últimos reproducidos con la expresa autorización de los autores respectivos.

El cierre del evento consideró el desarrollo de una mesa redonda sobre el tema “**Investigación Científica y Gestión de Crisis**” cuyo objetivo fue reflexionar sobre el aporte de la

investigación científica en apoyo a los que intervienen en situaciones de emergencias y tienen también que informar acerca del evento. La investigación científica produce informaciones útiles para la acción de emergencia y permite reducir las incertidumbres que caracterizan a los periodos complejos de desorganización de la sociedad. El debate se centró sobre el tipo de información más relevante y de utilidad para actuar durante un periodo de crisis, así como los estudios y disciplinas científicas que producen esta información en cooperación con las instituciones que manejan situaciones de emergencia.

Finalmente, expresamos nuestro agradecimiento a la Comunidad Andina de Naciones (CAN) por albergarnos durante los dos días de exposiciones y debates entre distinguidos investigadores, profesionales en gestión de emergencias e información y público en general.

Hernando Jhonny Tavera H.  
Lima, diciembre de 2009

## RELACIÓN DE EXPOSITORES

1. MsC. Felipe Leyton  
Universidad de Talca, CIIT Montessus de Ballore, Chile
2. Ing. Mario Zabala  
Observatorio San Calixto (OSC), La Paz, Bolivia
3. Dr. Salvador Gregori  
Universidad Nacional de San Juan, Argentina
4. Ing. Cecilio Morales  
Fundación Venezolana de Investigación Sismológica, (FUNVISIS), Venezuela
5. Dr. Carlos Alvarado  
Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS), Colombia
6. Dr. Marc Wathelet  
Universidad de Grenoble, Francia
7. Arq. Giuseppe Damiano  
Rapid LatinoAmérica (Rapid-LA), Lima, Perú
8. Ing. Joaquín Aguilar  
Gobierno Municipal de La Paz, Bolivia
9. Ing. Jérôme Chandès  
Cooperación Logística Solidaria (CLS), Lima, Perú
10. Dr. Robert D'Ercole  
Institut de Recherche pour le Développement, IRD, Francia
11. Dr. Max Wyss  
World Agency of Planetary Monitoring and Earthquake Risk Reduction, (WAPMERR), Suiza
12. Ing. José Sato  
Centro de Estudios y Prevención de Desastres (PREDES), Lima, Perú
13. Ing. Luisa Macedo  
Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), Lima, Perú
14. MsC. Gilberto Cruzado  
Universidad Nacional de Cajamarca, Perú



15. Ing. Sandro Vaca  
Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
16. Lic. Luis Lozada  
Radio Cutivalú, Piura, Perú
17. Lic. Rogerio Mobilia  
REDHUM-OCHA, PNUD, Panamá
18. Lic. Marco Jácome  
Universidad de Bolívar, Guaranda, Ecuador.
19. Cap. N (R) Arístides Mussio  
Instituto Nacional de Defensa Civil, Lima, Perú
20. Ing. Jaime Huerta  
Cruz Roja Peruana, Lima, Perú

# CONTENIDO

## SESION: MICROZONIFICACION SISMICA URBANA

1. Microzonificación sísmica de la cuenca de Santiago, Chile  
Felipe Leyton
2. Riesgo sísmico en la ciudad de La Paz, asociado a la geodinámica interna, Bolivia.  
Mario Zabala
3. Estimación del peligro sísmico de la región Centro-Oeste de Argentina  
Salvador Gregori
4. La microzonificación sísmica en Caracas y Barquisimeto: Logros y avances  
Cecilio Morales
5. Implicaciones de información registrada en la Red de Acelerógrafos de Bogotá y la Red Nacional de Acelerógrafos de Colombia sobre la microzonificación sísmica en Bogotá  
Carlos Alvarado
6. Surface-wave inversion using a direct search algorithm and its application to ambient vibration measurements  
Marc Wathelet

## SESION: GESTION DE CRISIS

1. Intervenciones de rescate durante los terremotos  
Giuseppe Damiano
2. Emergencias en La Paz, Bolivia  
Joaquín Aguilar
3. La coordinación logística en la gestión humanitaria de los desastres  
Jérôme Chandès

4. Vulnerabilidad urbana y manejo de crisis: caso de Quito.  
Robert D'Ercole
5. Preliminary loss estimates for possible future earthquake near Lima, Perú  
Max Wyss
6. Diseño de escenario sobre el impacto de un sismo de gran magnitud en Lima Metropolitana y Callao  
José Sato

## **SESION: COMUNICACION**

1. Socialización de la información geocientífica para la reducción de desastres en Arequipa  
Luisa Macedo
2. Gestión de riesgo frente a la amenaza de deslizamientos en la ciudad de Cajamarca  
Gilberto Cruzado
3. Estrategia en la difusión de información sobre el estado de actividad del Volcán Guagua Pichincha  
Sandro Vaca
4. Primer Concurso Radial de reducción de riesgo de desastres en Perú  
Luis Lozada
5. Una panorámica sobre el manejo de información en emergencias  
Rogerio Mabilia
6. La comunicación social reduciendo los riesgos de desastres a nivel local  
Marco Jácome
7. Sistema Nacional de Alerta de Tsunami - SNAT  
Aristides Mussio
8. Herramientas para la comunicación en emergencia  
Jaime Huerta

## **MESA REDONDA**

Investigación científica y gestión de crisis

**SESIÓN**  
**MICROZONIFICACIÓN**  
**SÍSMICA URBANA**

---



# MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA CUENCA DE SANTIAGO, CHILE

Felipe Leyton<sup>(1)</sup>, Sofia Rebolledo<sup>(2)</sup>, Sergio A. Sepúlveda<sup>(2)</sup>, Maximiliano Astroza<sup>(3)</sup>  
Sergio Ruiz<sup>(4)</sup>, Lennar Gonzalez<sup>(3)</sup>, Claudio Foncea<sup>(3)</sup>, Jennifer Lavado<sup>(4)</sup>, Mariajosé Herrera<sup>(2)</sup>

(1) Depto. Ciencias Aplicadas, Universidad de Talca

(2) Depto. Geología, Universidad de Chile

(3) Depto. Ingeniería Civil, Universidad de Chile

(4) Depto. Geofísica, Universidad de Chile

## INTRODUCCIÓN

En la respuesta a grandes terremotos hay una fuerte influencia de las condiciones del sitio, efecto conocido por casi 200 años cuando fue puesto en evidencia por las diferencias de comportamiento en las cercanías a los ríos Mississippi y Ohio, comparados con emplazamientos más elevados, durante las secuencias sísmicas de New Madrid de 1811-1812 (Drake, 1815). Casos similares de la influencia del sitio fueron detectados durante el gran terremoto de Japón de 1891 (Milne, 1898), el terremoto de San Francisco de 1906 (Wood, 1908) y el terremoto de Long Beach de 1933 (Wood, 1933). Una gran parte del daño ocasionado por el terremoto de 1989 de Loma Prieta fue directamente atribuido al efecto de sitio (Holzer, 1994), al igual que los efectos del terremoto de 1994 en Northridge, produciendo sectores con una gran cantidad de daño a menos de 1 km de regiones que prácticamente no sufrieron mayores destrozos en Los Angeles (Wald and Mori, 2000). La ciudad de Santiago no es una excepción en este tipo de comportamiento, fenómeno evidenciado durante el último gran terremoto, el de Valparaíso de 1985 (Monje, 1986). Durante este evento se reportaron diferencias de 0.5 a 2 puntos en Intensidad de Mercalli modificada (IMM), en áreas cercanas (Astroza y Monge, 1989; Menéndez, 1991). Más aún, basado en el análisis de casas de 1 piso de albañilería no confinada, Astroza y Monge (1987)

encontraron valores de IMM de casi IX en lugares donde no deberían superar el VI. Estos autores sugirieron que los responsables de estas amplificaciones eran suelos compuestos principalmente de finos y depósitos fluviales, ambos con poco confinamiento (Astroza y Monge, 1991).

En el presente estudio se busca identificar aquellas zonas con mayor susceptibilidad a presentar grandes daños producto de movimientos sísmicos dentro de la ciudad de Santiago, Chile. Para ello, se recopiló una serie de antecedentes de distinta naturaleza, desde datos netamente descriptivos a valores cuantitativos geotécnicos y geofísicos. Se concluye que la cuenca de Santiago presenta 4 principales tipos de suelos con propiedades definidas que inciden en un marcado comportamiento sísmico particular: finos del noroeste, pumicitas, rípios del Mapocho y Maipo y conos de deyección. Estos resultados permiten lograr una mejor preparación, permitiendo la prevención de daños producto de grandes terremotos.

## DATOS

La Figura 1 presenta un mapa topográfico de la cuenca de Santiago, Chile, en el cual se han marcado todos los puntos donde se tiene algún tipo de información. Tal como se mencionó anteriormente, esta información es de diversa naturaleza, tales

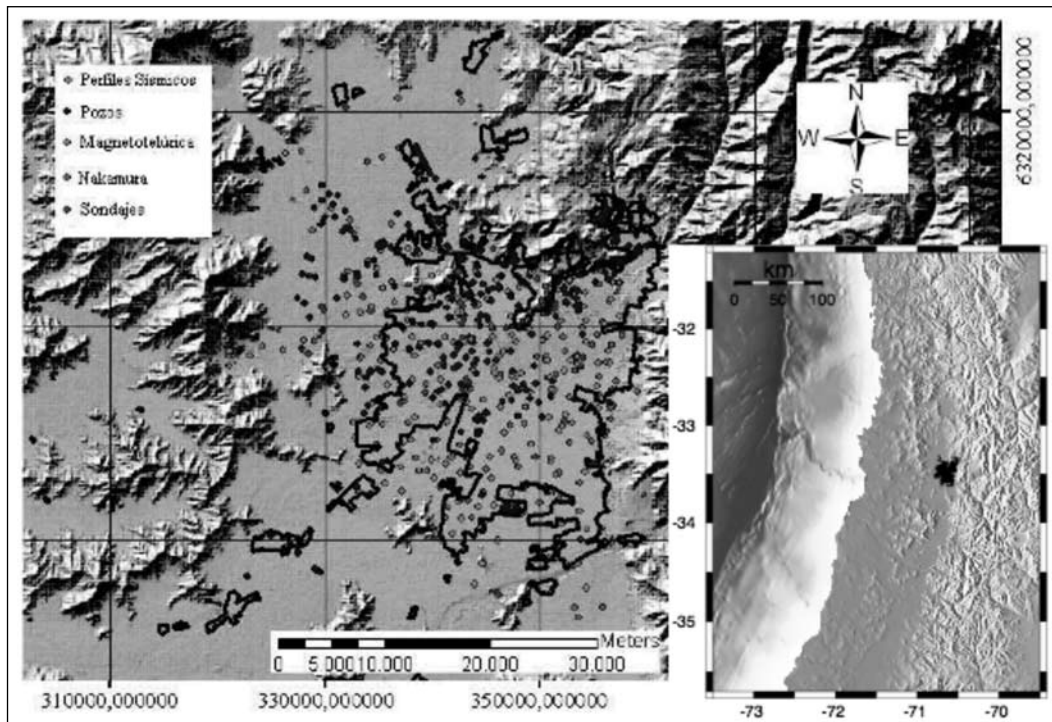


Figura 1: Mapa topográfico de la cuenca de Santiago, el borde negro marca el límite urbano. Los puntos marcan la localización de los distintos datos medidos en la cuenca: celeste para los perfiles sísmicos someros, azul para los pozos de exploración, amarillo los perfiles de magnetotelúrica, verde para las mediciones de microvibraciones (Nakamura, 1989) y en rojo sondajes geotécnicos. La figura del borde inferior derecho muestra la localización general de la zona urbana de Santiago.

como: perfiles sísmicos (principalmente de refracción sísmica de ondas P y S), pozos de exploración para determinar la profundidad de la napa, perfiles magnetoteléuticos, mediciones de microvibraciones o ruido sísmico (utilizando un instrumento de 3 componentes) y sondajes geotécnicos. Además de estos datos, se dispone de información sobre la geología superficial del área de estudio (mostrada en la Figura 5, derecha), datos de la profundidad del basamento derivada de mediciones de gravedad y los reportes de daño del terremoto de Valparaíso de 1985 (mostrados en la Figura 5, izquierda).

De la Figura 1 es posible ver que se tiene una gran cobertura de la zona urbana de Santiago (marcada con línea negra en la misma Figura) pero la distribución de los datos no es homogénea. La más abundante es la información de pozos de reconocimiento, alcanzando a más de 300 puntos, con profundidades que varían entre varias decenas a unos 400 metros de profundidad. Los datos de perfiles sísmicos son relativamente escasos y generalmente no superan los 30 m; mientras que los perfiles magnetoteléuticos alcanzan profundidades de varios kilómetros, pero su resolución superficial es escasa. Además, se dispone de cerca de 400 medi-

ciones de microvibraciones de usadas para calcular razón del espectro horizontal sobre el vertical (H/V) (Nakamura, 1989).

## RESULTADOS

Un primer análisis consistió en comparar los resultados de las mediciones de H/V con los datos de los pozos de reconocimiento. La Figura 2 muestra algunos ejemplos de los resultados obtenidos: (a) y (b) presentan columnas principalmente compuestas por arcilla, con algo de presencia de arenas y gravas, caracterizada por resultados de H/V con un claro pico en frecuencias menores de 3 Hz. Mientras, en (c) se muestra una columna compuesta principalmente por gravas y bolones, con una medición de H/V sin un pico aparente. Resultados como éstos se repiten en varias puntos de lo que se concluye que, generalmente, sitios con presencia de suelos compuestos por arcillas o finos presentan claros picos en frecuencias inferiores a 3 Hz; mientras que sitios con una presencia de gravas y suelos de buena calidad, presentan mediciones de H/V con pico en alta frecuencia (sobre 3 Hz) o sin una clara frecuencia de resonancia

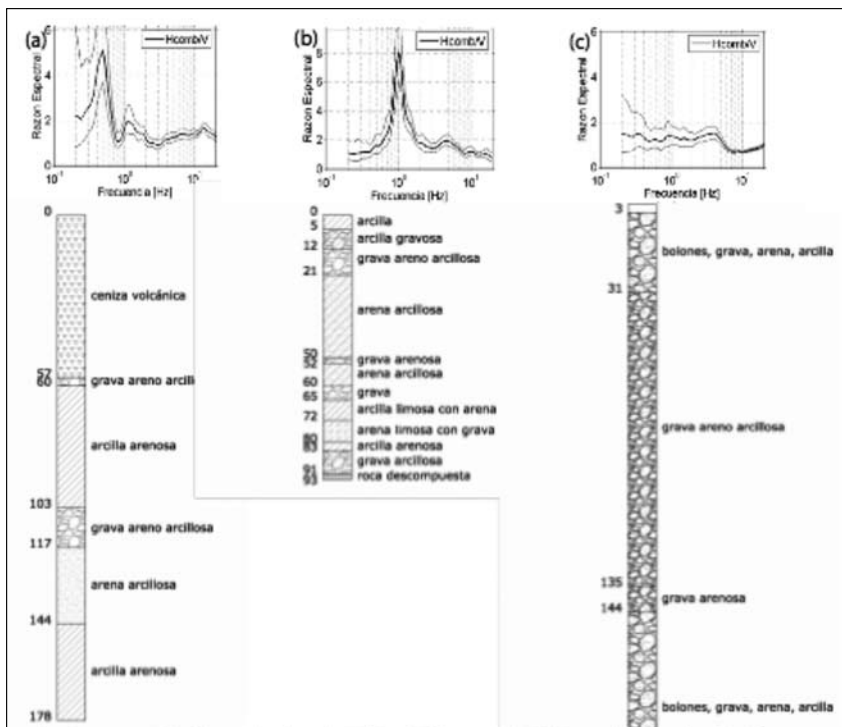


Figura 2: Comparación de resultados de H/V o Nakamura (1989) con la descripción de pozos de exploración cercanos. (a) y (b) muestran columnas con gran presencia de arcillas y finos, las cuales están relacionadas con medidas de H/V con claros picos menores de 3 Hz; mientras que en (c) se muestra un pozo con presencia de gravas y resultados de H/V sin un pico definido.

del suelo (Pasten, 2007). Sin embargo, también se encontraron lugares en los cuales se tenía un suelo poco consolidado, pero no se determinó la presencia de un claro pico en la señal de H/V, probablemente debido a complejidades de la geología del subsuelo (Bonneyoy-Claudet *et al.*, 2008).

Acto seguido, de manera de poder trabajar con toda la información disponible se procedió a realizar

una serie de perfiles que cubran la cuenca, tal como se muestra en la Figura 3. En ella se presenta 12 perfiles, 6 de orientación Este-Oeste y 6 de Norte-Sur, en los cuales se muestra toda la información recopilada para la cuenca de Santiago. En la Figura 4 se presenta un ejemplo de cada una de las orientaciones, Este-Oeste y Norte-Sur, siendo los más representativos de los mostrados en la Figura 3.

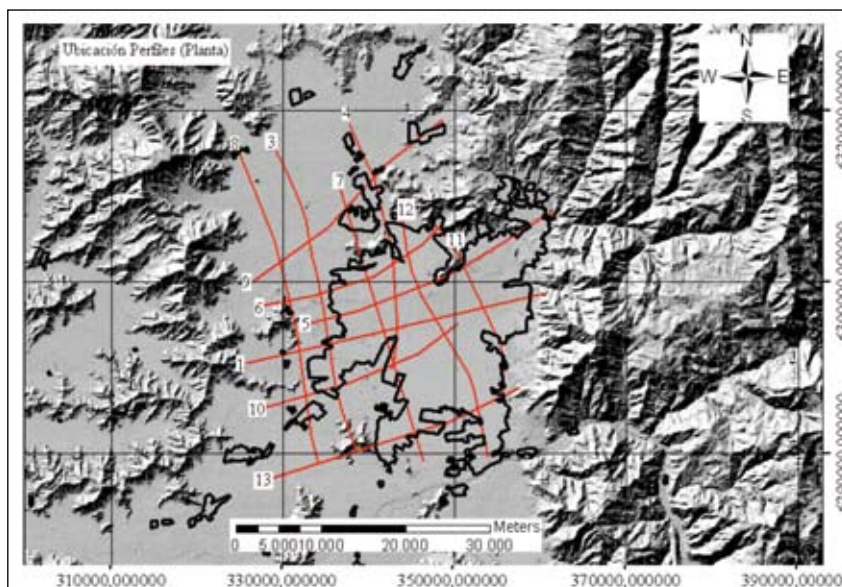


Figura 3: Mapa topográfico con la localización de todos los perfiles considerados.



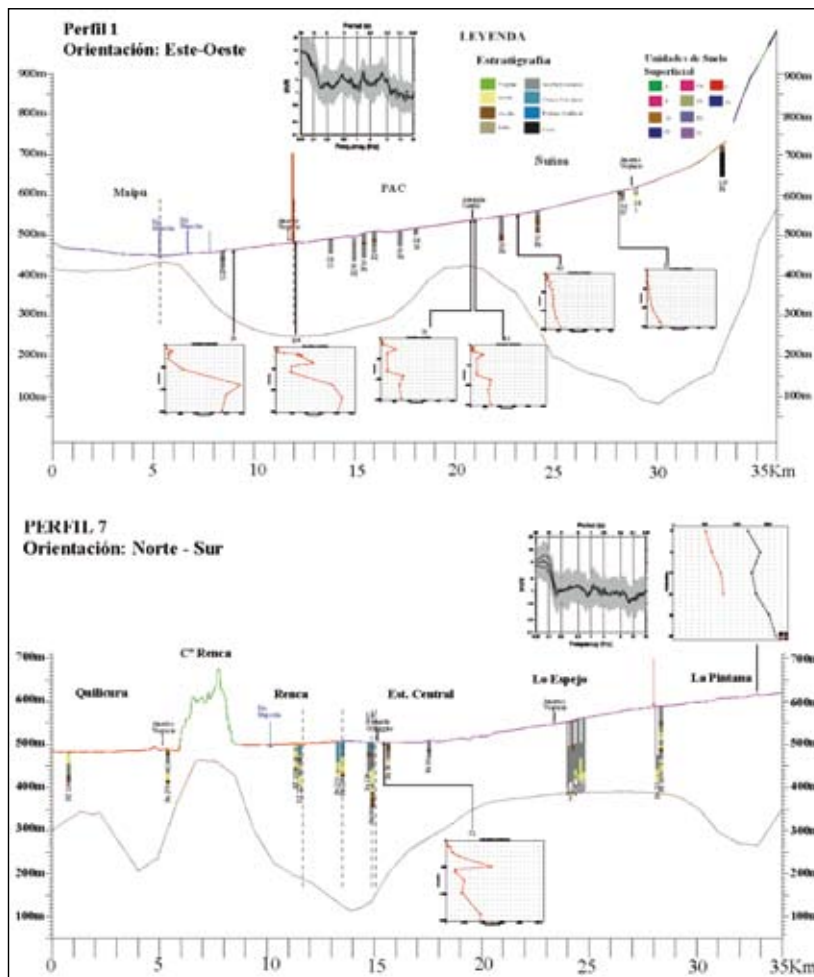


Figura 4: Perfil 1 (orientación Este-Oeste, arriba) y Perfil 7 (orientación Norte-Sur, abajo), la escala vertical está en metros mientras que la horizontal se encuentra en kilómetros. Los colores de la curva de superficie representa las distintas unidades de suelo (ver Leyenda en el borde superior derecho). Las columnas verticales son pozos de exploración y su nomenclatura se encuentra en la leyenda. Los diagramas mostrados abajo son de magnetotelúrica (profundidad versus resistividad) mientras que el mostrada arriba son resultados de H/V de las medidas de microvibraciones.

En la Figura 5, derecha, se presenta el mapa con la geología superficial, basado principalmente en el trabajo de Valenzuela (1978) y recientemente actualizado. De este mapa se destacan las siguientes unidades:

- Ripios del Mapocho y Maipo (B, color verde claro): Suelo constituido por gravas de gran compacidad en matriz arenosa a areno-arcillosa, cuyo origen está ligado a la acción fluvial de los ríos Mapocho y Maipo.
- Depósitos de conos de deyección (C1, color verde pálido): Acumulaciones sedimentarias de clastos duros, de formas subangulares a redondeados en una matriz de finos con una cantidad variable de arena originadas por removilización de escombros de falda de cerros debido a la acción combinada de la gravedad y lluvias, siendo depositadas en forma de conos al pie de cada quebrada.
- Depósitos de pumicita (D3, rosa pálido): Cenizas volcánicas (arena limosa) y piedra pómez con bajo porcentaje de gravas y de cementación de leve a alta.
- Finos del noroeste (E1, color rojo): Suelos consistentes de limos (ML) y arcillas (CL) con lentes irregulares de arena fina-limosa, grava y ceniza volcánica, originados por un represamiento progresivo del drenaje debido al desarrollo de los conos correspondientes a los ríos Mapocho, Lampa y estero Colina.

En la Figura 4 se ha repetido la misma nomenclatura en la línea que marca la topografía, marcando así la clasificación según la geología super-

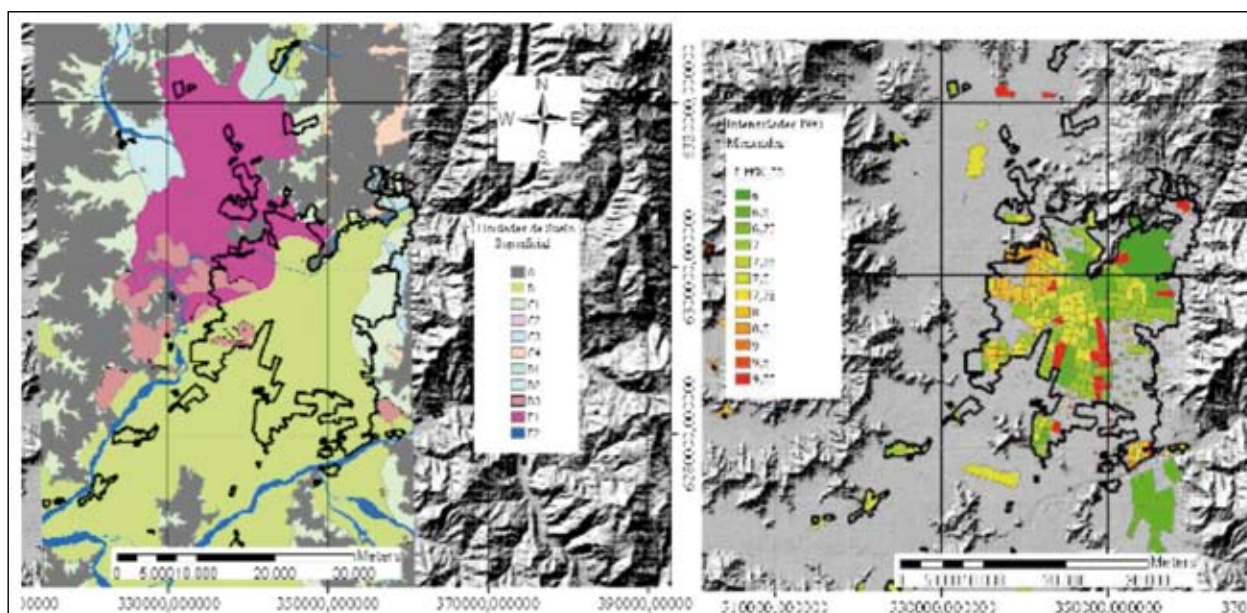


Figura 5: Derecha: mapa con las unidades de geología superficial usadas en este estudio. Izquierda: valores de Intensidad de Mercalli Modificada (IMM) observadas para el terremoto del 85. Ver detalles en el texto.

ficial; además, la línea café muestra la posición del basamento inferida de mediciones de gravedad. De esta Figura es posible ver que las zonas de gravas relacionadas al Maipo presentan inclusiones de arenas y otros finos, lo que no se destaca en las gravas del Mapocho. Del análisis detallado es posible ver que las zonas con gravas (B) presentan valores estimados de  $V_{s30}$  (velocidad promedio de los primeros 30 metros) entre 600 a 1000 m/s, las pumicitas (D3) entre 500 y 750 m/s, mientras que los finos del noroeste (E1) presenta valores cercanos a 450 m/s.

Finalmente, en la Figura 5, izquierda, se presentan los valores de Intensidad de Mercalli Modificada (IMM) reportados para el terremoto de Valparaíso de 1985 (Menéndez, 1991). Al comparar estos 2 mapas es posible ver que las unidades antes referidas presentan características peculiares de daño: pumicitas (D3) ~ IX, finos del noroeste (E1) ~ VII, conos de deyección (C1) ~ VI y gravas (B) entre VI y VII.

## CONCLUSIONES Y COMENTARIOS FINALES

En el presente estudio se ha recopilado una serie de antecedentes que permiten caracterizar e identificar zonas con amplificaciones producto de las ondas sísmicas. Se ha logrado identificar 4 grandes zonas con características particulares: rios del Mapocho

y Maipo, conos de deyección, finos del noroeste y pumicitas.

Entre los aspectos que queda por analizar es la posible diferenciación entre los rios del Mapocho y el Maipo, cuantificando el efecto de la presencia de una mayor cantidad de material fino que presenta la segunda unidad. Otro aspecto que es necesario analizar es la existencia de una posible zona de transición entre los depósitos de gravas del Mapocho y Maipo, caracterizada por una presencia aún mayor de finos en profundidad.

Finalmente, cabe destacar que en el presente estudio se presentan zonas del suelo de Santiago con propiedades particulares las que son claramente reflejadas en los daños observados para el terremoto de Valparaíso de 1985. Esta información es de suma importancia para definir un plano de desarrollo sustentable de la zona urbana de Santiago, que permita prevenir el efecto destructor de los grandes terremotos.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio contó con el apoyo del Núcleo Científico Milenio en Sismotectónica y Peligro Sísmico y Fondecyt 11070030. Algunas figuras fueron elaboradas usando GMT (Wessel y Smith, 1991).

## REFERENCIAS

- Astroza, M., and J. Monge (1991) Seismic microzones in the city of Santiago. Relation damage-geological unit, paper presented at Proceedings of the 4th international conference on seismic zonation, Earthquake Engineering Research Institute, Stanford, CA, Stanford, CA, USA.
- Bonnefoy-Claudet, S., S. Baize, L. F. Bonilla, C. Berge-Thierry, C. Pasten, J. Campos, P. Volant, and R. Verdugo (2008) Site effect evaluation in the basin of Santiago de Chile using ambient noise measurements, *Geophys. J. Int.*
- Drake, D. (1815) *Natural and Statistical View, or Picture of Cincinnati and the Miami County, Illustrated by Maps*, Looker and Wallace, Cincinnati, OH, USA.
- Holzer, T. L. (1994) Loma Prieta damage largely attributed to enhanced ground shaking, *EOS Trans. AGU*, 75, 299-301.
- Menéndez, P. (1991) Atenuación de las intensidades del sismo del 3/3/85 en función de la distancia a la zona de ruptura y del tipo de suelo, Dissertation for Civil Engineering, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Milne, J. (1898) *Seismology*, Kegan Paul, Trench, Truber, London.
- Monje, J. (1986) *El sismo del 3 de marzo de 1985, Chile (in Spanish)*, CAP, Santiago, Chile.
- Nakamura, Y. (1989) A method for dynamic characteristics estimations of subsurface using micro-tremors on the ground surface, *Q. Rep. Railway Tech. Res. Inst. Japn.*, 30, 25-33.
- Pasten, C. (2007) Respuesta sísmica de la cuenca de Santiago, Dissertation for Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias de la Ingeniería, mención Ingeniería Getécnica, 265 pp, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Valenzuela, G. (1978) Suelo de fundación del gran Santiago, Sernageomin, Santiago, Chile.
- Wald, L. A., and J. Mori (2000) Evaluation of methods for estimating linear site-response amplifications in the Los Angeles region, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 90, S32-S42.
- Wessel, P., and W. H. F. Smith (1991) Free software helps map and display data, *EOS Trans. AGU*, 72, 441.
- Wood, H. D. (1908) Distribution of apparent intensity in San Francisco, in the California earthquake of April 8, 1906, Report of the State Earthquake Investigation Commission Carnegie Institution, 220-245 pp, Washington, D.C.
- Wood, H. D. (1933) Preliminary report on the Long Beach earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 23, 42-56.

# RIESGO SÍSMICO EN LA CIUDAD DE LA PAZ, BOLIVIA ASOCIADO A LA GEODINAMICA INTERNA

Estela Minaya y Mario Zabala  
Obsevatorio San Calixto  
oscdrake@entelnet.bo

## RESUMEN

La ciudad de La Paz ubicada entre el borde oeste del altiplano boliviano y la Coodillera Oriental, presenta una serie de amenazas ocasionadas por procesos geológicos activos como hundimientos en calles, deslizamientos e inundaciones.

Desde mediados del año 2008 se viene realizando el monitoreo de zonas de alta vulnerabilidad en la ciudad de La Paz; todos estos estudios, que aún son preliminares, nos han mostrado claramente que existe un diferente comportamiento de los suelos ante eventos que causen vibración, sean estos o no de origen tectónico.

Una de las características es precisamente la diferencia que existe en el periodo de las ondas, siendo estas menores a 0.1s cuando son recibidas en rocas, y con una tendencia a ser mayores a 0.1 s en sedimentos suaves como depósitos aluviales, material retrabajado por antiguos deslizamientos, material coluvial, etc.

Toda esta información sobre las diferentes respuestas de los suelos es muy importante para llevar a cabo una micro zonificación, y poder identificar zonas específicas de amenaza para la población.

## MONITOREO DE LA MICROSISMICIDAD EN ZONAS DE ALTA VULNERABILIDAD DE LA CIUDAD DE LA PAZ

El estudio de los microsismos tiene mucha importancia en las zonas pobladas como la ciudad de La Paz, esto debido a la información que nos proporciona, y que está relacionada a la Evaluación del Riesgo Sísmico que incluye: identificación de estructuras activas que pueden producir grandes terremotos en el futuro, evaluación del ciclo sísmico, y proporción de datos para predecir la respuesta del suelo ante eventos sísmicos.

Para llevar a cabo este estudio sobre el riesgo sísmico en la ciudad de La Paz, el OSC utilizó 4 estaciones sísmicas portátiles. El registro de datos tomó el tiempo aproximado de 2 meses por zona, las estaciones fueron desplegadas en áreas de alta vulnera-

bilidad en La Paz; durante este lapso un sismólogo del OSC visitó periódicamente las estaciones (una vez por semana) para verificar su buen funcionamiento.

Las ventajas de trabajar con estaciones portátiles son las siguientes:

- Son menos caras de mantener que las estaciones permanentes.
- Son más fáciles de transportar.
- Cubren un área mayor con menos estaciones.

Después de obtener los registros sísmicos de las estaciones, los sismólogos del OSC analizaron los datos durante 5 meses aproximadamente, obteniendo también la localización de microsismos y determinando áreas donde ocurren con mayor frecuencia así como la evaluación de las amplitudes de las ondas sísmicas.

### OBJETIVO

Analizar la probable micro sismicidad de la ciudad de La Paz, mediante el monitoreo y vigilancia en zonas de alta vulnerabilidad. Los datos servirán para catalogar y evaluar zonas de riesgo.

### UBICACIÓN

La ciudad de La Paz se encuentra ubicada en una cuenca de erosión entre el borde Este del Altiplano y el SW de la Cordillera Oriental en el departamento de La Paz en la provincia Murillo, sus coordenadas geográficas son: Latitud 16° 29' 43" S y Longitud 68° 07' 57" O, a una altura de 3650 m.s.n.m.

### CLIMA

El clima de la zona de estudio es templado, con precipitaciones pluviales durante el verano (Diciembre

a Marzo) y sequedad durante la estación invernal (Abril a Julio).

De acuerdo a la clasificación establecida por W. Koppen (1936), el clima de la región corresponde a las siglas Dw, que es Mesotérmico con invierno seco, este clima es característico de las mesetas elevadas en el que a mayores latitudes las temperaturas son más bajas.

### GEOLOGÍA GENERAL DEL VALLE DE LA PAZ

El valle de La Paz es una cuenca producida por la captura de uno de los tributarios al Río Beni que permitió la erosión retrógrada entre la cordillera oriental y el altiplano; debido a esto se produjo el afloramiento escarpado de los depósitos del altiplano que corresponden a sedimentos lacustres, glaciares y fluvioglaciares. (Figura 1)

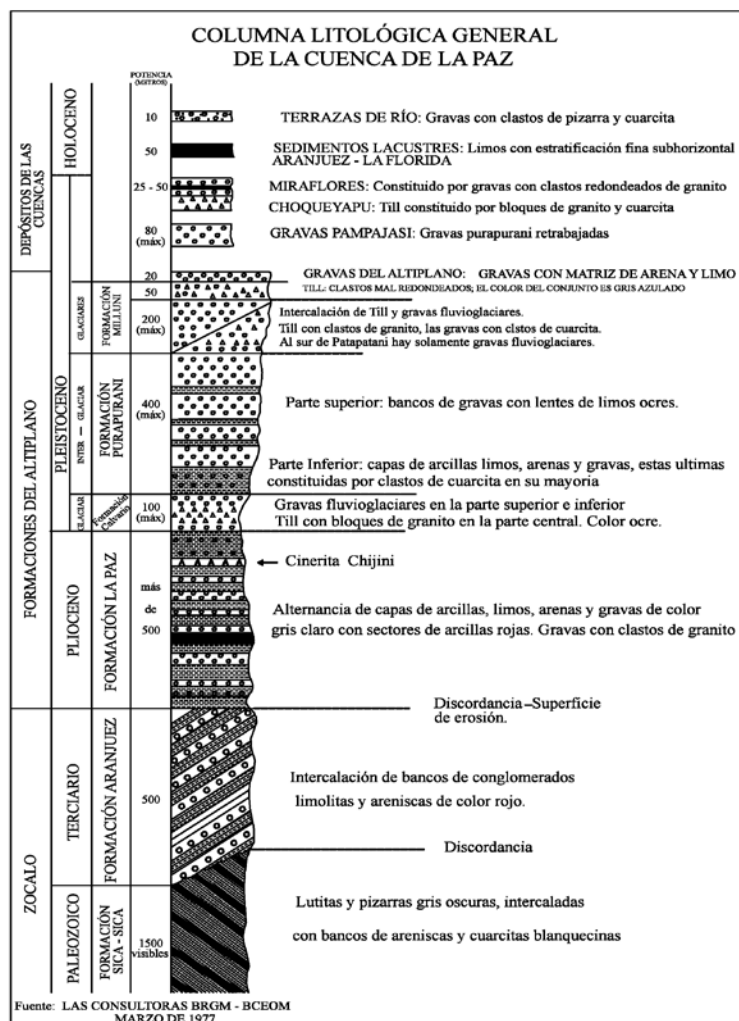


Figura 1

Las principales formaciones litológicas se describen a continuación en un orden que va desde el más antiguo (base) al más reciente (tope):

- Formación Sica-Sica.- Se ubica al Sur de la ciudad y está compuesta de lutitas y pizarras oscuras intercaladas con bancos de areniscas y corresponden al periodo Devónico. (Espesor: 1500 m)
- Formación Aranjuez.- Son bancos de conglomerados intercalando con limonitas y areniscas de color rojo que corresponden a la época del Paleoceno. (Espesor: 500 m)
- Formación La Paz.- Es la de mayor extensión, está compuesta de arcillas, limos, arenas y gravas predominando las primeras. En el tope de esta formación se encuentra una ceniza volcánica (Cinerita Chijini). Las arcillas de la formación La Paz se encuentran bien consolidadas; su edad corresponde al Plioceno. (Espesor: 500 m)
- Formación Calvario.- Su ubicación se limita a la parte más septentrional de la ciudad, está compuesta de Till con pedrones y bloques de granitos. (Espesor: 100 m)
- Formación Purapurani.- Esta compuesta principalmente por gravas con lentes de limos de color ocre, en su base se identifica un nivel alterado de color rojizo. (Espesor: 400 m)
- Formación Milluni.- Formación compuesta por una intercalación de Till con gravas fluvio-glaciares. (Espesor: 250 m)

## LA AMENAZA GEOLÓGICA

En la ciudad de La Paz, especialmente, en las zonas periféricas, los procesos de remoción de masas son de carácter omnipresente, ya que durante la época lluviosa o inmediatamente después de ella,

es posible advertir en forma alarmante sucesos de este tipo.

Parte del área que es objeto del presente estudio, ha sufrido y sufre con mucha frecuencia deslizamientos, los mismos que van produciéndose desde épocas pretéritas hasta la actualidad.

## DESARROLLO DEL TRABAJO

### Fase 1

La necesidad de conocer la dinámica que gobierna la cuenca de la ciudad de La Paz es imprescindible, más aún si la información con la que se cuenta es escasa y restringida. La amenaza más frecuente a la que está sometida la cuenca de la ciudad de La Paz es la remoción en masa y generalmente se la asocia con un gran contribuyente el agua. Sin lugar a dudas es uno de los más importantes componentes en ese proceso, pero no el único.

Al revisar el estado tectónico de la cuenca, especialmente del pasado reciente, y dinámica actual surge la pregunta. Cuál es el estado de los esfuerzos y su aporte para la ocurrencia de remisión en masa?

Este estudio se convierte en un reto, esperando obtener la suficiente información, en un periodo relativamente corto, de la actividad asociada a reajustes dinámicos de una zona de la ciudad de La Paz.

En la zona seleccionada se procuró instalar los cuatro equipos sísmicos, Figura 2, con el menor intervalo de tiempo entre ellos y un funcionamiento simultáneo de un periodo de 88 días (del 20/07 al 16/09), Tabla 1. Las estaciones DS1 y DS4 no funcionaron por 14 días la primera y 6 días la segunda, por problemas menores sin gran relevancia, Tabla 1.

**TABLA 1**

Sigla de Estación	Ubicación	Barrio	Fecha instalación	Fecha de retiro	Periodo efectivo de registro
DS1	Iglesia Sagrados Corazones	Alto Seguencoma	16/06/2008	16/09/2008	88 días
DS2	Instituto Geográfico Militar/ Estado Mayor	Miraflores	17/06/2008	09/11/2008	145 días
DS3	Hidrografía Naval	Miraflores	16/06/2008	09/11/2008	145 días
DS4	Colegio Pedro Poveda	Cuarto Centenario	25/06/2008.	31/10/2008	129 días

## Ubicación

Ubicación gráfica de las estaciones; DS1, DS2, DS3 y DS4, Figura 2.

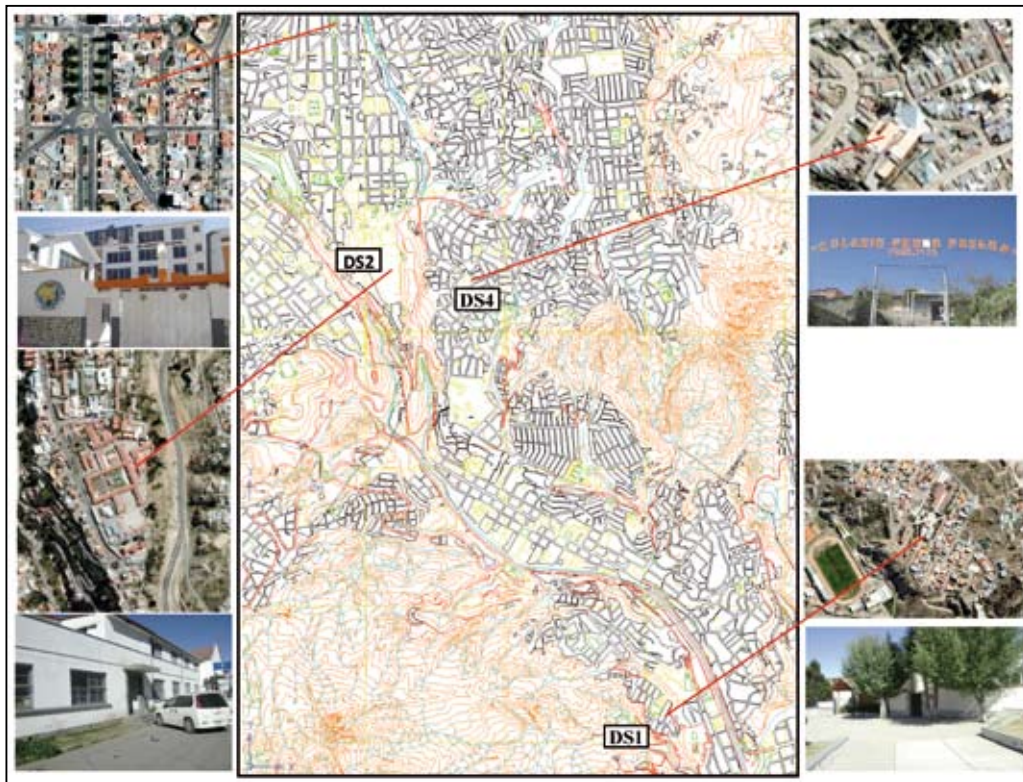


Figura 2. Ubicación de las estaciones en la zona de estudio

El día 14 de julio a partir de las 5:00 AM se registraron varias vibraciones en la estación DS1 de las cuales una se registró primero en la estación DS4. Lo que indicaría que la fuente se ubicaría más próxima a esa estación. Un aspecto aparentemente anómalo es que este probable micro sismo

no se registra en las estaciones DS2 y DS3 que se encuentran entre las anteriores mencionadas. Esta probable anomalía también ha ocurrido con algunos otros eventos lo que posiblemente significaría que existe una anomalía entre las estaciones DS2 y DS3. (Figura 3)

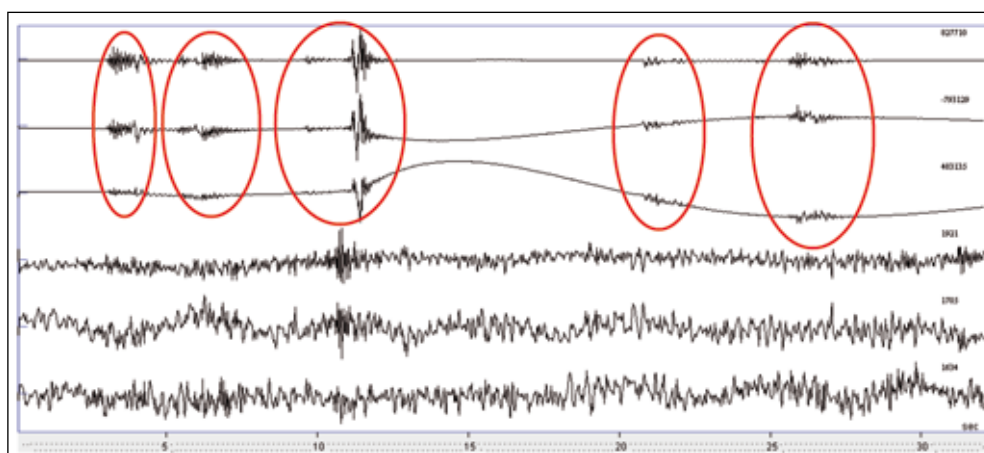


Figura 3

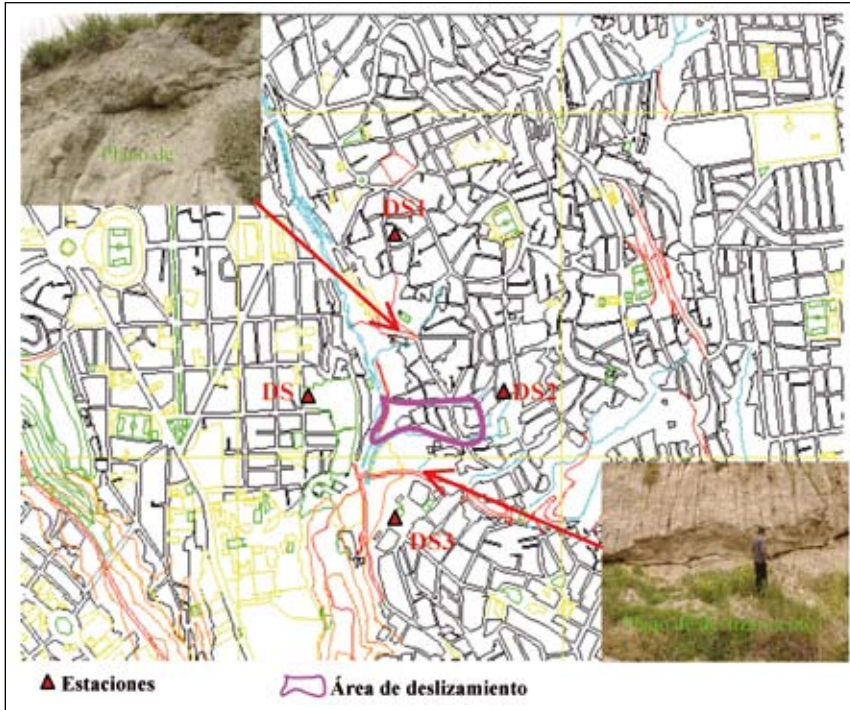


Figura 4. Equipos temporales instalados alrededor del área de deslizamiento, plano de falla en la Av. Regimiento Castrillo, y plano de deslizamiento en el río Gringojahuirá.

**Fase 2**

Cuatro sismómetros portátiles se han trasladado el 25 de febrero del presente año, en las ubicaciones de la Figura 4. En un área más reducida que la de la primera etapa, el objetivo no es monitorear movimientos en masa, sino sitios asociados a algunas micro fallas visibles en los alrededores del sector deslizado.

Los periodos relativamente altos (0.15 s – 0.4 s) son más frecuentes en depósitos como torrentes

de barro y antiguos deslizamientos que en gravas semiconsolidadas como las que se encuentran en la terraza Miraflores (Estación DS4). (Figura 5)

Estación	Latitud °	Longitud °
DS1	-16.499423	-68.1146389
DS2	-16.506716	-68.114761
DS3	-16.503086	-68.112336
DS4	-16.503031	-68.117065

TABLA 2. Coordenadas de las estaciones

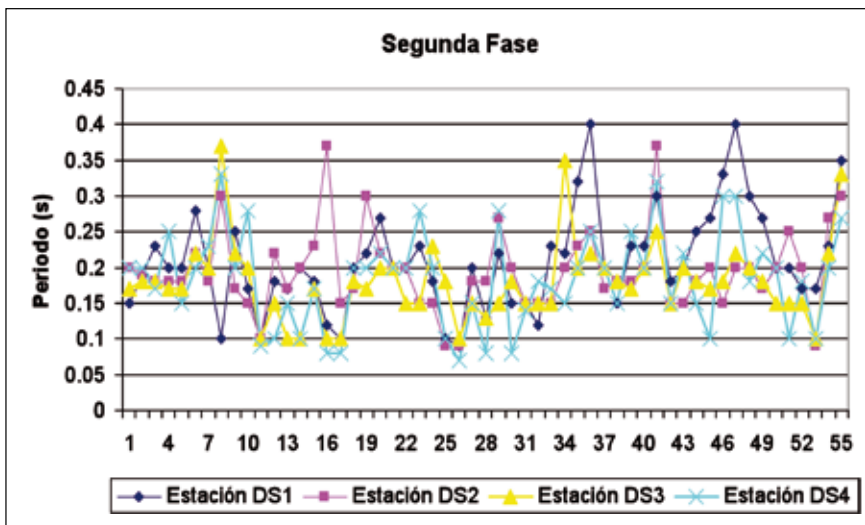


Figura 5



### Fase 3

Se monitorea la zona de Aranjuez por afloramientos geológicos, actualmente estamos en esta etapa, se monitorea la zona con tres estaciones, la cuarta estación (DS1) esta en OSC adquiriendo datos y además se hizo pruebas para poder transmitir por Modem o Null Modem “sin modem”, lo cual se logró.

En la figura 6 se puede observar la ubicación de los lugares donde están instaladas las estaciones y en la tabla 3 se hallan las coordenadas de las mismas.



Figura 6. DS2, DS3, DS4 en Aranjuez

	Latitud	Longitud
DS2	-16.559686	-68.095186
DS3	-16.560915	-68.093412
DS4	-16.559697	-68.092686

Tabla 3. Coordenadas de las estaciones

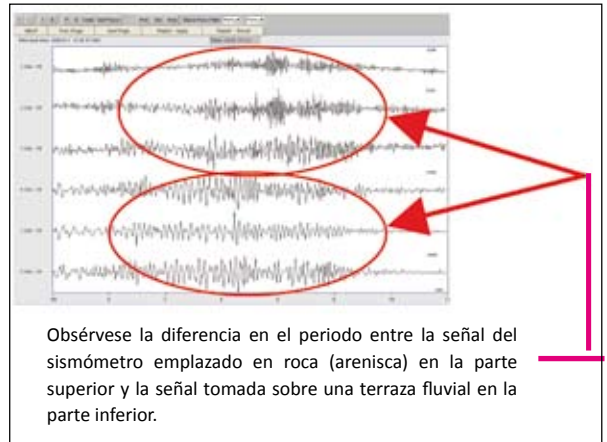


Figura 7

Se puede apreciar en la gráfica, que los periodos predominantes mayores a 0.1 s corresponden a depósitos de una terraza fluvial (Estación DS3),

mientras que las estaciones emplazadas sobre roca dura presentan periodos menores a 0.1 s preferentemente. (Figura 8).

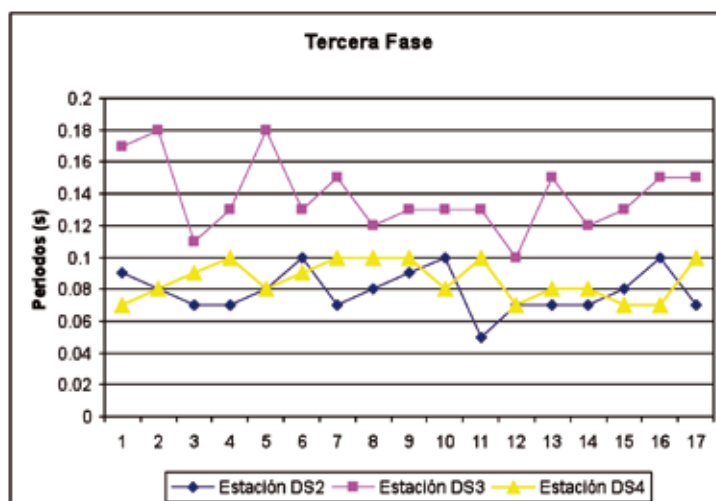


Figura 8

## CONCLUSIONES

- Los periodos predominantes registrados en sismómetros instalados sobre roca (arenisca) son menores o igual a 0.1 s, mientras que los periodos predominantes registrados en sismómetros emplazados sobre la terraza fluvial y suelos transportados (como antiguos deslizamientos o torrentes de barro) se encuentran alrededor de 0.15 s. y 0.25 s. respectivamente.
- Los suelos en la ciudad de La Paz tienen una respuesta diferente ante vibraciones, y dicha respuesta esta en función de las propiedades físico mecánicas de los mismos y también a la potencia.
- Los sedimentos blandos poco consolidados amplifican las vibraciones y disminuyen su frecuencia.
- Los suelos que amplifican en mayor grado las vibraciones corresponden a los de edad Cuaternaria.
- Los micro sismos pueden ser medidos en cualquier momento, por tanto no es necesario esperar la ocurrencia de un evento sísmico para poder analizar las estructuras superficiales y de respuesta.
- Para sismos distantes (como por ejemplo el del norte de Chile), con la llegada de ondas largas, los periodos para rocas duras aumentan, mientras que para sedimentos más blandos como los de la terraza fluvial disminuyen.
- Los equipos están cumpliendo su función y aportando a un gran estudio científico, los datos que se obtengan serán de gran ayuda y referencia para posteriores investigaciones.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bles, J.L., 1977a. Características Litoestratigráficas de la Cuenca de La Paz, Cuadro Geológico General. Consultoras BRGM – BCEOM Prudencio Claros y Asociados, Bolivia.*
- Bustillos, J., 1974a. Estudio Geotécnico de Villa Armonia, Tesis de Grado, Facultad de Ciencias Geológicas, Bolivia.*
- Neumann, Frank,. 1970a. Principios Fundamentales para la Interpretación de Sismogramas, CERECIS.*
- Udias, A., 1971a. Introducción a la Sismología y Estructura Interna de la Tierra,*

# ESTIMACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO DE LA REGIÓN CENTRO-OESTE DE ARGENTINA

Gregori, Salvador Daniel (1,2), Alvarado, Patricia (1,3), Guspi, Fernando (4), Sáez, Mauro (1)

*Departamento de Geofísica - Facultad de Ciencia Exactas, Físicas y Naturales- UNSJ*

*(2) Instituto de Investigaciones Antisísmicas - Facultad de Ingeniería UNSJ*

*(3) CONICET*

*(4) Grupo Geofísica, Instituto de Física Rosario - UNR*

*E-mail: [dgregori@unsj.edu.ar](mailto:dgregori@unsj.edu.ar)*

## RESUMEN

En este estudio se evalúa el peligro sísmico en forma probabilística para la región centro-oeste de Argentina entre 30°S - 35.5°S y 66.5°O - 71°O, considerando estudios recientes que han cuantificado a los mayores terremotos ocurridos en la región durante el siglo pasado y las últimas investigaciones paleosismológicas y neotectónicas relacionadas.

A partir del análisis de la sismicidad cortical histórica y moderna para una escala local a regional y de la información neotectónica, se identificaron y delimitaron cuatro fuentes sismogénicas correspondientes a Precordillera, Sierras Pampeanas Occidentales, Norte de Mendoza y Arco Volcánico Activo, para las cuales se esperan para alguna de ellas magnitudes momento máximas que superan los 7.5. La estimación se realizó evaluando la contribución de cada una de las fuentes al peligro sísmico total y en conjunto. En todos los casos se consideró condición de suelo roca.

Para realizar la estimación de peligro sísmico se utilizó el código CRISIS2003 de Ordaz *et al.*, (2003) siguiendo la metodología probabilística.

Los resultados se presentan en una colección de mapas que muestran aceleraciones máximas, en su siglas en inglés (*PGA*), con 50%, 10% y 2% de probabilidad de ser excedidos en 50 años, equivalentes a períodos de retorno de 72, 475 y 2475 años, respectivamente.

Los valores encontrados, muestran que la zona de mayor peligro sísmico es aquella comprendida entre la Precordillera y las Sierras Pampeanas Occidentales (Sierra de Pie de Palo), la cual incluye a la ciudad capital de la provincia de San Juan y departamentos del Gran San Juan, con valores de *PGA* de 400 gal para un período de retorno de 475 años. Otra zona, con una alta exposición al peligro sísmico de sismicidad cortical, es el Norte de Mendoza que también incluye a la ciudad capital de esa provincia y departamentos vecinos, con valores de *PGA* cercanos a 300 gal para el mismo período de retorno.

## ABSTRACT

*This study evaluates the seismic hazard from the probabilistic point of view for the central west region of Argentina between 30°S - 35.5°S and 66.5°W - 71°W. It is based on recent studies, which have quantified the major earthquakes that have occurred in the region in the past century, as well as paleoseismological and neotectonic investigations.*

*Four seismogenetic sources are identified and characterized using analysis of historical and modern crustal seismicity at a local to regional scale and neotectonics information. These seismic sources are the Precordillera, Western Sierras Pampeanas, North of Mendoza and Active Volcanic Arc for which a maximum moment magnitude over 7.5 is expected. The estimation considers both the contribution of each source to the total seismic hazard and all of the sources as a whole. All estimations considered bedrock*

*The code CRISIS2003 from Ordaz et al. (2003) to estimate the seismic hazard following the probabilistic methodology was used.*

*The results are presented in a collection of maps, which quantify the seismic hazard in the studied region. The maps show maximum accelerations (PGA) values in units of gal, with 50%, 10% and 2% of probability of being exceeded in 50 years, corresponding to return periods of 72, 475 and 2475 years, respectively.*

*The results indicate that the area between the Precordillera and the Western Sierras Pampeanas (Sierra Pie de Palo) is the region of the highest seismic hazard. This includes the city of San Juan and its neighbor localities. The PGA values are of 400 gal approximately for a return period of 475 years. Another area with a high exposure to the crustal earthquake hazards is North of Mendoza, including the main city of Mendoza and its adjacent departments, which show PGA values of about 300 gal for the same return period.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, la sismicidad ha sido considerada como la distribución geográfica de los terremotos y sus efectos destructivos. La base para su estudio es, por lo tanto, la determinación de parámetros relacionados con los sismos, tales como su fecha y el momento preciso de ocurrencia, su localización, tamaño de la fuente sísmica, daños producidos, etc. Sin embargo el análisis en forma sistematizada de esta información muestra que la actividad sísmica tiene una relación directa con las estructuras geológicas y el tipo de deformación de las mismas. Para la región centro-oeste de Argentina se observa una actividad sísmica significativa dentro de la corteza continental (Placa Sudamericana) con sismos de poca profundidad menores de 35 km aproximadamente; también puede apreciarse otra actividad sísmica dentro de la placa subductada (Placa de Nazca) con profundidades que van desde los 100 a 300 km. Comparativamente, los sismos de poca profundidad ( $\leq 35$  km) han sido los responsables de los mayores desastres naturales en la historia argentina y se asocian con las estructuras de Precordillera, Sierras Pampeanas Occidentales y la interacción entre ambas en el Norte de Mendoza. Como ejemplo, pueden citarse los terremotos de San Juan de 1894, 1944, 1952 y 1977 y de Mendoza de 1861 y 1985 (Figura 1), que causaron una gran destrucción y víctimas fatales que en algunos casos se contaron por miles. Otra región que muestra una actividad sísmica significativa, tal vez menos conocida, es aquella correspondiente en la corteza del

Arco Volcánico Activo en el límite oeste de nuestro país entre la provincia de Mendoza y el país vecino de Chile.

Por las razones anteriormente mencionadas, la región centro-oeste de Argentina se reconoce como la zona expuesta a la mayor ocurrencia de sismos y de gran magnitud (Gregori et al., 1993; INPRES, 2008), posiblemente relacionado con el tipo de estructura cortical y la geometría de la placa de Nazca que subduce horizontalmente bajo Sudamérica (Alvarado et al., 2007).

### 1.1. Motivación del presente estudio

Si se analizan en la actualidad los efectos producidos por los terremotos ocurridos en la región centro-oeste de Argentina, puede caerse en el error de no darle al problema sísmico argentino la real importancia que le corresponde, ya que, si bien el número de víctimas fatales no supera las 25.000 personas (INPRES, 1977), se debe tener en cuenta una serie de factores que en conjunto muestran la situación real, y que pueden resumirse de la siguiente manera:

El terremoto más destructivo que afectó a la ciudad de Mendoza produjo la muerte de 8.000 personas, pero ocurrió en el año 1861 cuando dicha ciudad contaba con 13.000 habitantes (INPRES, 1977). Es decir, que dos de cada tres personas fallecieron en dicho terremoto. Actualmente el conglomerado urbano de Mendoza cuenta con más de 1.000.000

de habitantes. Este terremoto destruyó en un 90 % la edificación.

El terremoto de mayor tamaño (en base a la información de área afectada por los daños) ocurrido en el país, se produjo en el año 1894 (Fig.1), ubicándose su epicentro en una zona completamente despoblada. Sin embargo, produjo grandes daños en las ciudades de San Juan y La Rioja separadas por 280 km. En aquel momento, estas dos ciudades tenían aproximadamente 30.000 y 15.000 habitantes, respectivamente. Asimismo, redujo a escombros a muchas poblaciones intermedias, afectando también las edificaciones de una extensa área que incluyó a ciudades como Córdoba, cuya población no sobrepasaba los 150.000 habitantes (INPRES, 1977). Actualmente las ciudades de San Juan, La Rioja y Córdoba cuentan con 695.640, 341.000 y 3.358.147 habitantes respectivamente, según proyecciones al mes de agosto de 2008 de acuerdo al censo 2001 (INDEC, 2008). Los movimientos sísmicos fueron claramente sentidos en la ciudad de Buenos Aires, ubicada a 1.100 km de la zona epicentral. Tal como se mencionó, por haberse localizado el epicentro del terremoto de 1894 en una región casi despoblada, el número de víctimas fatales fue de alrededor de 100.

El terremoto de San Juan del 15 de enero de 1944 (Fig. 1), es el evento que ocasionó mayor cantidad de víctimas, oscilando entre diez y quince mil (INPRES, 1977), cuando la población total de la provincia era de 80.000 personas. Se produjo la destrucción casi total de las edificaciones. Por este motivo el terremoto de 1944 ha sido considerado como el mayor desastre natural en la historia de nuestro país (CRID, 2008).

El terremoto ocurrido el 26 de enero de 1985 afectó al Gran Mendoza. A pesar de su moderada magnitud ( $M_w = 5.9$ ) produjo daños de consideración en todo este núcleo urbano, perjudicando en distinto grado a por lo menos 20.000 construcciones, de las cuales no menos de 5.000 debieron ser demolidas por la severidad de los daños que presentaban (INPRES, 1986). Cabe destacar que en muchos casos, las demoliciones en los Departamentos del Gran Mendoza fueron menos de las esperadas de acuerdo con las inspecciones, debido al problema social que originaba la falta de vivienda (INPRES, 1986). Como consecuencia de ello, muchas viviendas han quedado en pie, reparadas superficialmente, constituyendo un riesgo muy elevado

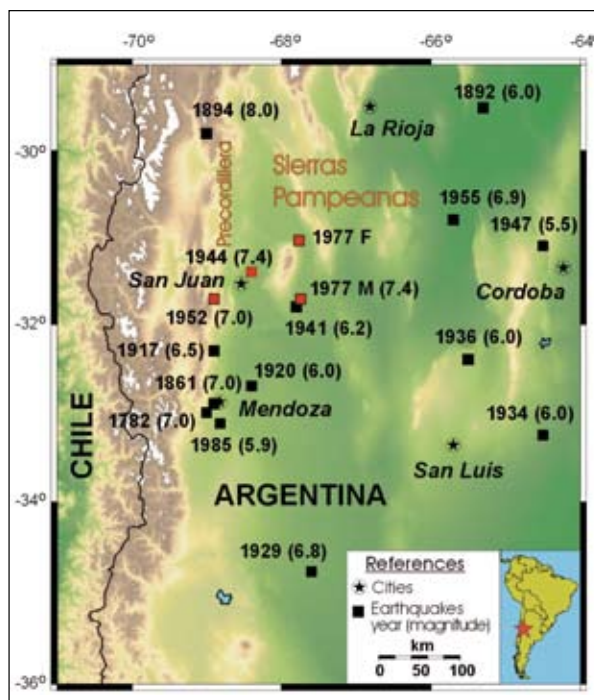


Figura 1: Distribución epicentral de terremotos históricos en la región centro-oeste de Argentina, de acuerdo a INPRES (2008). Las magnitudes reportadas por INPRES (M<sub>i</sub>) se indican entre paréntesis. Se muestra las provincias geológicas de Precordillera, Sierras Pampeanas y la interacción entre ambas que se extiende hasta el Norte de Mendoza.

para sus moradores. Otro dato de interés, es aquel relacionado con los daños en algunos edificios del Gran de Mendoza, que habían sido construidos de acuerdo a las reglamentaciones sismorresistentes (INPRES, 1986).

Un alto porcentaje de sismos destructivos ocurridos en el pasado afectaron a zonas rurales de muy escasa densidad de población, caracterizadas por la ausencia casi completa de edificios habitados. Hoy la provincia de San Juan registra un crecimiento poblacional en los últimos 10 años del 32% y la Provincia de Mendoza del 11 % (INDEC, 2008).

Gran parte de las obras de infraestructura que hacen al desarrollo del país tales como complejos hidroeléctricos (más de diez), extracción y destilería de petróleo, oleoductos, industrias manufactureras, complejos turísticos incluyendo a los invernales, el corredor bioceánico y un vertiginoso crecimiento de la actividad minera se encuentran construidas o proyectadas en la región centro-oeste de Argentina donde se presenta el más alto nivel de actividad sísmica.

Estas son algunas consideraciones, a tener en cuenta, para comprender que el problema sísmico

es una realidad que puede afectarnos en cualquier momento con consecuencias imposibles de predecir. Es por ello, que las construcciones ubicadas en la región centro-oeste de Argentina deben estar protegidas por los factores de seguridad que correspondan. Pero como la seguridad debe compatibilizarse con la economía, es necesario conocer cuantitativamente con el más alto grado de precisión posible el nivel de peligrosidad sísmica potencial de cada zona, lo que ha motivado a la realización del presente estudio, incorporando para su cálculo la información de mayor actualidad disponible a la fecha, y la utilización de software estándar que permita la comparación de resultados con otras zonas del país y el exterior, de manera de mantener actualizada la información sísmica.

## 2. METODOLOGÍA

La evaluación del peligro sísmico de la región centro-oeste de Argentina, entre las latitudes 30°S y 32°S y longitudes 67°O y 69.5°O, se realizó mediante la metodología probabilística clásica de Cornell (1968). La misma, se basa en la definición de una función de distribución de probabilidad para un parámetro seleccionado del movimiento sísmico en un punto de interés, debido a la sismicidad esperada en el área alrededor del sitio, durante un período de exposición estipulado.

El método requiere como primer paso la elaboración de un catálogo de sismos razonablemente completo, para el cual se deben unificar cuidadosamente los distintos tipos de magnitudes sísmicas reportadas. Para este caso se convirtieron todas las magnitudes sísmicas a magnitud momento  $M_w$ . Para evaluar la integridad del catálogo se analizó la distribución de eventos en tiempo para diferentes rangos de magnitudes.

Dado que el fenómeno sísmico puede asumirse como un proceso aleatorio que tiene una distribución de Poisson, fue necesario eliminar toda la actividad sísmica dependiente o repetitiva (réplicas o "aftershocks") del catálogo a utilizar.

Posteriormente, con el análisis espacial de la actividad sísmica proporcionada por el catálogo y sobre la base de información adicional: geológica, geofísica, neotectónica, paleosismológica y satelital se procedió a identificar las fuentes sísmicas, dividiendo el área de estudio en un sistema de

regiones geológicas y sísmicamente homogéneas (Regionalización Sismotectónica) para las cuales se determinó un modelo de ocurrencia de sismos por medio de su correspondiente distribución frecuencia-magnitud. Además, es necesario conocer la ley de atenuación de los movimientos del suelo con la distancia. Finalmente con los datos seleccionados y aplicando una distribución de Poisson, se realizó un análisis probabilístico que permitió estimar los valores del movimiento del suelo para un período de retorno de 475 años.

Para el cálculo, se empleó el programa CRISIS, versión 2003 desarrollado en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, y escrito por M. Ordaz, A. Aguilera y J. Arboleda (Ordaz, et al. 2003). A continuación, se analiza con mayor detalle los datos de entrada que se utilizaron en la estimación del peligro sísmico siguiendo el método de Cornell.

## 3. CATÁLOGO DE SISMOS

El catálogo de parámetros sísmicos utilizado en este trabajo está compuesto por datos del Centro Regional de Sismología para América del Sur CERESIS hasta 1981 (CERESIS, 1985) y, posteriores a ese año y hasta el 25 de julio de 2007 con datos del centro internacional "National Earthquake Information Center NEIC" (USGS, 2008). El catálogo CERESIS cuenta con información de parámetros sísmicos para Argentina desde 1692 hasta 1981. El mismo nace por la necesidad de unificar los catálogos de América del Sur bajo el auspicio del "Programa para la Mitigación de los Efectos de los Terremotos en la Región Andina" (conocido como Proyecto SISRA) y comprende a eventos para América del Sur (CERESIS, 1985). En este trabajo se ha considerado un conjunto de 3341 sismos corticales intraplaca continentales

Todas las magnitudes del catálogo fueron convertidas a magnitud momento ( $M_w$ ) a través de un proceso multipasos propuesto por Scordilis (2006), quien derivó relaciones empíricas válidas globalmente que permiten convertir magnitudes expresadas en diferentes escalas utilizadas mundialmente en magnitud momento  $M_w$ . De esta forma es posible obtener una herramienta muy útil en la compilación de catálogos sísmicos homogéneos.

Mediante un programa se procedió a reconocer y eliminar los sismos secundarios o aftershocks presentes en los subcatálogos de sismos obtenidos para cada una de las dos fuentes sísmicas identificadas en este estudio. Este procedimiento permitió separar los sismos principales (mainshocks) de los secundarios (aftershocks). En la fuente sísmica Precordillera se eliminaron 7 réplicas resultando un subcatálogo de 122 sismos principales; en la fuente sísmica Sierra de Pie de Palo (Sierras Pampeanas Occidentales) se eliminaron 98 réplicas resultando un subcatálogo de 127 sismos principales, y para las fuentes sísmicas Norte de Mendoza y Arco Volcánico activo se eliminaron 25 y 41 aftershocks, resultando subcatálogos de mainshocks de 388 y 2704 eventos respectivamente.

#### 4. RELACIÓN DE ATENUACIÓN

Para evaluar el peligro sísmico de una región es necesario conocer la relación de atenuación de los movimientos del suelo con la distancia. Cuanto mayor sea la distancia de área de ruptura al sitio en que se evalúa el peligro, menor será su influencia. Debido a que no existe hasta el momento una relación de atenuación de la pseudoaceleración con la distancia para la zona de trabajo, se utilizó para el cálculo las curvas de atenuación propuestas por Abrahamson y Silva (1997). Estos autores obtuvieron una relación de atenuación de la pseudoaceleración en función de la distancia y la magnitud para distintos períodos estructurales, teniendo en cuenta sismos superficiales en zonas tectónicamente activas del mundo, y tomando como base 655 registros observacionales de componentes horizontal y vertical, correspondientes a 58 sismos de magnitud mayor que 4.4.

Este análisis de regresión de Abrahamson y Silva (1997) se desarrolló en base a un modelo de efectos aleatorios, que utiliza el método de máxima verosimilitud para correlacionar los registros obtenidos de un terremoto. Así por ejemplo, si un sismo tiene una caída de esfuerzos (stress drop) mayor que el promedio de los sismos de esa magnitud, puede esperarse que los movimientos del suelo en todos los sitios producidos por este evento, sean mayores que el promedio. Es importante destacar que el muestreo de los datos debe ser uniforme para poder observar alguna tendencia producida

solo por efectos de la fuente o el sitio. La ecuación del modelo de efectos aleatorios puede escribirse de la siguiente manera:

$$Y_{ij} = f(M_i, R_j) + h_i + e_j \quad (1)$$

donde  $Y_{ij}$  es el movimiento del suelo para los  $j$  registros, del sismo  $i$ ;  $M_i$  es la magnitud del sismo  $i$ , y  $R_j$  es la menor distancia entre el área de ruptura y los sitios donde se registraron los  $j$  registros del sismo  $i$ .

La ventaja del método es que particiona los residuos para cada registro en dos términos estocásticos  $h_i$  y  $e_j$  que se consideran con una distribución normal y media cero. De esta manera, es posible separar aquellos efectos que pudieran estar causados por un pobre muestreo de los registros (variaciones intra-evento), de aquellos efectos provocados por diferencias sistemáticas entre un evento y el promedio de los mismos (variaciones inter-evento).

Para todas las estimaciones de peligro sísmico realizadas en este trabajo, se consideró la curva de atenuación correspondiente al promedio de las componentes horizontales y condición de suelo roca o suelo firme.

#### 5. REGIONALIZACIÓN SISMOTECTÓNICA

La zona bajo estudio forma parte de la región andina de trasarco como consecuencia de la compresión este-oeste generada por la subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana. Estudios recientes de GPS indican un velocidad relativa de movimiento de 63 a 79 mm/año (Kendrick et. al., 2003).

Las principales unidades morfoestructurales que se observan en la región corresponden a la Cordillera Principal, Cordillera Frontal, Precordillera y Sierras Pampeanas Occidentales (Figura 2).

La zona de la alta cordillera de Los Andes se puede dividir en dos bloques: el sector norte de los Andes Centrales Meridionales, que incluye al segmento entre 28°S y 33°S, en el cual no se observa volcanismo reciente (últimos 10 millones de años) y, el sector situado hacia el sur de 33°S hasta 35.5°S correspondiente al Arco Volcánico Activo. Más hacia el este, donde la placa de Nazca subduce horizontalmente, se encuentra el sector de Precordillera

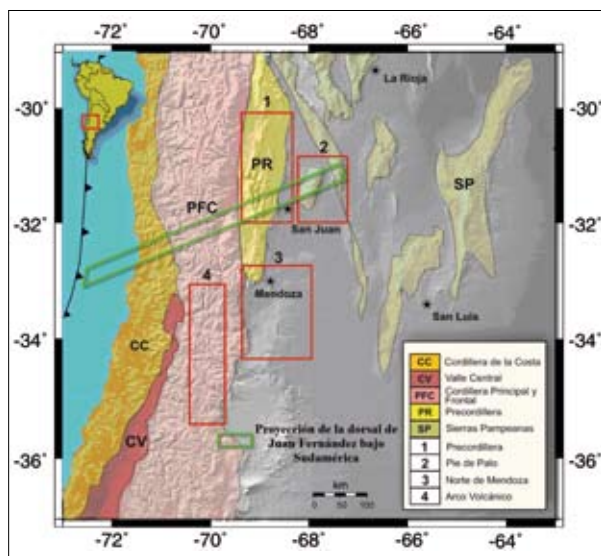


Figura 2: Mapa de la zona de estudio donde se pueden observar los grandes rasgos morfoestructurales, geología y subregiones sismotectónicas (fuentes sísmicas) seleccionadas para este estudio. También se muestran las principales capitales de provincia de la región, y en color verde la proyección de la dorsal de Juan Fernández bajo Sudamérica.

y de las Sierras Pampeanas Occidentales. Algunos autores han asociado la colisión de la dorsal de Juan Fernández como uno de los factores responsables del efecto de horizontalización en la geometría de la placa de Nazca subductada que ha producido el levantamiento simultáneo de los bloques de basamento cristalino de las Sierras Pampeanas (Jordan y Allmendinger, 1993; Yañez et al., 2001; Ramos et al., 2002).

### 5.1. Principales zonas sismogénicas

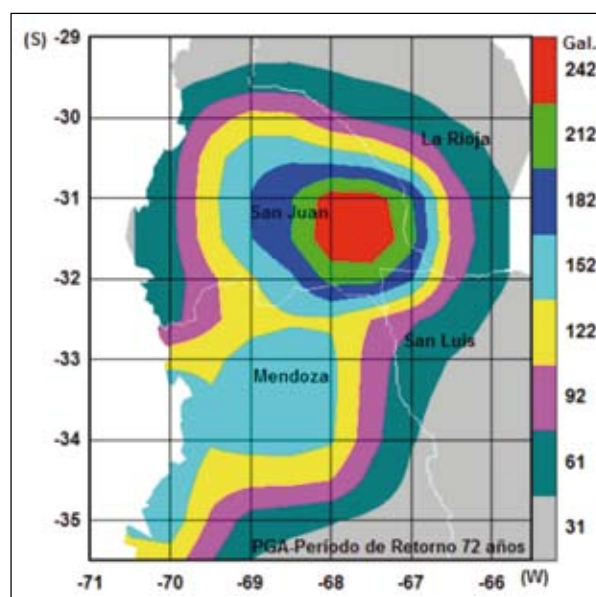
La actividad sísmica en el margen activo se caracteriza por la ocurrencia de sismos intraplaca “outerise” en la zona correspondiente a la placa de Nazca antes de subductarse (Fromm et al., 2006; Clouard y Campos, 2006). La zona de acoplamiento de placas produce grandes terremotos (magnitudes > 8.0) asociados a ese contacto, cuyas profundidades pueden alcanzar los 50-60 km provocando gran destrucción y víctimas fatales. Un ejemplo es el terremoto de Valdivia de 1960 reconocido como el más grande (magnitud  $M_w \sim 9.5$ ) registrado en la era sismológica instrumental (Manns, 1972; Kausel, 2006). Existe otra sismicidad de profundidad intermedia generada principalmente dentro de la placa que subducta (Araujo y Suarez, 1994; Pardo et al., 2002; Anderson et al., 2007). Dentro de la placa continental Sudamericana se producen sis-

mos superficiales con profundidades focales < 35 km, los cuales han registrado más de 4 terremotos de magnitud  $M > 6.5$  en las provincias de San Juan y Mendoza en el último siglo (INPRES, 2008). Debido a la magnitud de estos últimos sismos ( $M > 6.5$ ) y consecuentemente a la liberación de energía cerca de centros poblados, la sismicidad cortical que ocurre en la región centro-oeste de Argentina ha provocado la mayor cantidad de daños y víctimas fatales en Argentina (INPRES, 1986).

Del análisis conjunto de la actividad sísmica cortical asociada a las unidades morfoestructurales y estudios neotectónicos, se han seleccionado en este trabajo cuatro subregiones sismotectónicas o fuentes sísmicas que son: Precordillera, Sierras Pampeanas Occidentales (Sierra de Pie de Palo), Norte de Mendoza y Arco Volcánico Activo (ver Figura 2).

## 6. RESULTADOS - MAPAS DE PELIGRO SÍSMICO

En las Figuras 3, 4 y 5 se presenta el peligro sísmico al que está expuesta la región centro - oeste de Argentina, en valores de aceleración máxima (PGA) con un 50%, 10% y 2% de probabilidad de ser excedidos en 50 años, lo que corresponde a períodos de retorno de 72, 475 y 2475 años, respectivamente,



Figuras 3: Mapa de Peligro Sísmico representado por Picos Máximos de Aceleración (PGA) con el 50% de probabilidad de ser excedidos en 50 años (72 años de período de retorno), generado por las cuatro fuentes sísmicas analizadas en este estudio: Precordillera, Sierras Pampeanas Occidentales, Norte de Mendoza y Arco Volcánico Activo, para sismo reportados con profundidad cortical. Condición del suelo roca.



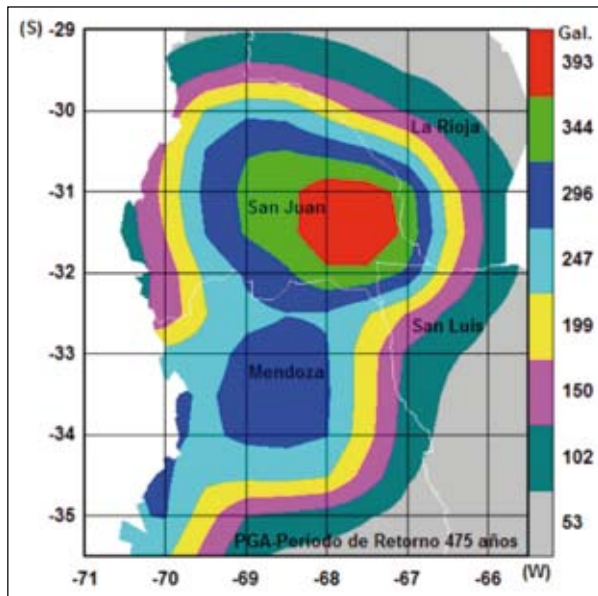


Figura 4: Mapa de Peligro Sísmico representado por Picos Máximos de Aceleración (PGA) con el 10% de probabilidad de ser excedidos en 50 años (475 años de período de retorno), generado por las cuatro fuentes sísmicas analizadas en este estudio: Precordillera, Sierras Pampeanas Occidentales, Norte de Mendoza y Arco Volcánico Activo, para sismos de profundidad cortical. Condición del suelo roca.

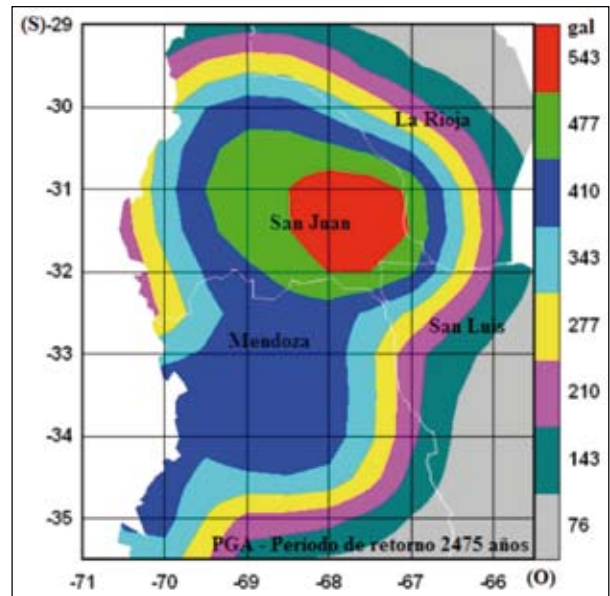


Figura 5: Mapa de Peligro Sísmico representado por Picos Máximos de Aceleración (PGA) con el 2% de probabilidad de ser excedidos en 50 años (2475 años de período de retorno), generado por las cuatro fuentes sísmicas analizadas en este estudio: Precordillera, Sierras Pampeanas Occidentales, Norte de Mendoza y Arco Volcánico Activo en conjunto, para sismos de profundidad cortical. Condición del suelo roca.

generado por las cuatro fuentes sísmicas analizadas en su conjunto. En los mapas se muestran las curvas de isoaceleraciones y en color rojo se observa que las mayores aceleraciones máximas están localizadas en una zona circular que abarca la capital de la provincia de San Juan y departamentos aledaños llegando a valores de aceleración máxima de 242 gal para sismos con un período de retorno de 72 años, y a 393 y 543 gal para el caso de sismos con períodos de retorno de 475 y 4275 años, respectivamente. Sin dudas, es la zona de mayor peligro sísmico de Argentina, coincidente con la

localización de las subregiones sismotectónicas (fuentes sísmicas) Precordillera y Sierras Pampeanas Occidentales, que han generado importantes terremotos en el último siglo (ver Figura 1). Otra zona en donde los mapas muestran un alto peligro sísmico, es la que corresponde a la región norte y centro de Mendoza donde se encuentra localizada su capital con valores de 152, 296 y 452 gal, para períodos de retorno de 72, 475 y 2475 años, respectivamente.

En la Tabla 1 se muestran los resultados del peligro sísmico para la región centro - oeste de Argentina

**TABLA 1:**

Rango de valores de las aceleraciones máximas del suelo (PGA), en unidades de gal, con 50%, 10%, y 2% de probabilidad de ser excedidos en 50 años (72, 475, y 2475 años de período de retorno), teniendo en cuenta sismos de profundidad cortical. Contribución al peligro sísmico de las cuatro fuentes sísmicas (peligro sísmico Total) y de cada una en forma individual. Condición del suelo roca.

Fuente sísmica	Probabilidad de excedencia del movimiento sísmico		
	50% en 50 años (72 años de período de retorno)	10% en 50 años (475 años de Período de retorno)	2% en 50 años (2475 años de período de retorno)
Total	31 – 242	53 – 393	76 – 543
Sierras Pampeanas Occidentales	16 – 239	26 – 386	36 – 534
Precordillera	10 – 153	21 – 310	31 – 460
Norte de Mendoza	10 – 147	19 – 280	28 – 417
Arco Volcánico Activo	10 – 150	18 – 263	26 – 383

en valores de aceleración máxima (*PGA*), con 50%, 10%, y 2% de probabilidad de ser excedidos en 50 años (72, 475, y 2475 años de período de retorno), calculados en roca y para sismos de profundidad cortical. Para analizar la contribución de cada una de las fuentes sísmicas, se muestran los resultados por separado, junto al valor que resulta de analizar las cuatro fuentes en conjunto “peligro sísmico total”.

Como se observa en la Tabla 1, la fuente sísmica de Sierras Pampeanas Occidentales con valores de aceleración máxima de 534 gal para sismos con un período de retorno 2475 años, es la responsable de generar las mayores aceleraciones máximas seguida por la fuente sísmica Precordillera.

## 7. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha realizado la estimación probabilística del peligro sísmico para la región centro-oeste de Argentina entre las latitudes 30°S y 35.5° S y las longitudes 66.5° y 71° O, en base a estudios recientes que cuantifican a los mayores terremotos ocurridos en la región durante el siglo pasado y las últimas investigaciones geológicas, geofísicas, paleosismológicas y neotectónicas para la zona investigada.

Los avances obtenidos en el desarrollo de esta investigación son los siguientes:

Se reconocieron y delimitaron geográficamente en el área investigada cuatro subregiones sismotectónicas (fuentes sísmicas) asociadas a sismos de profundidad cortical ( $\leq 35$  km), identificadas en este estudio como Precordillera, Sierras Pampeanas Occidentales, Norte de Mendoza y Arco Volcánico Activo.

Los parámetros sísmicos que identifican a cada una de las cuatro fuentes sísmicas, según su distribución frecuencia magnitud, fueron obtenidos sobre la base de un catálogo sísmico regional que se preparó para tal fin, con datos hasta julio de 2007. Los valores del parámetro *b* obtenidos de la relación de Gutenberg y Richter varían entre 0.87 y 1.11.

Las regiones de Precordillera y Sierras Pampeanas Occidentales representan las zonas de mayor peligro sísmico del área investigada, dado los altos valores de aceleración máxima y pseudoaceleración que estas dos fuentes sísmicas generan.

Los mapas con valores de aceleraciones máximas (*PGA*) con un 50% de probabilidad de ser excedidos en 50 años (72 años de período de retorno), muestran valores que varían entre (~30 a 250 gal). Esta estimación es poco conservativa, es decir, corresponde a sismos pequeños y frecuentes y refleja la vida útil de un edificio; es por ello, frecuentemente utilizada.

Las estimaciones de aceleraciones máximas (*PGA*) con un 10% de probabilidad de ser excedidas en 50 años (475 años de período de retorno), muestran valores que varían entre (~50 a 400 gal). En este caso, las estimaciones corresponden a un grado estándar de conservación para terremotos de tamaño moderado a grande. La importancia de este tipo de mapas se debe a que en general, ha sido empleado en el desarrollo de los códigos de construcción durante las últimas décadas.

Las estimaciones de aceleración máxima (*PGA*) con un 2% de probabilidad de ser excedidas en 50 años (2475 años de período de retorno), varían entre (~75 a 550gal). Estas estimaciones son muy conservativas ya que muestran valores para terremotos muy grandes, los cuales ocurren de manera poco frecuente. Se emplean en los nuevos códigos de construcción y se recomienda tomarlas en cuenta en caso de construcción de hospitales, escuelas u obras de ingeniería similares.

Las zonas de mayor peligro sísmico (Precordillera y Sierras Pampeanas Occidentales) corresponden a una zona de estructura de corteza engrosada, más fracturada y fallada que aquellas relacionadas con el Arco Volcánico Activo y Sierras Pampeanas Orientales.

La distribución geográfica del peligro sísmico observado en los mapas, marcan una alineación noreste - suroeste, coincidente con la traza de la dorsal de Juan Fernández (Yañez et al., 2001; Anderson et al., 2007). Esta buena correlación indica que la dorsal de Juan Fernández favorece a un mayor acoplamiento entre las placas lo que permite una mejor transferencia de los esfuerzos a la placa superior (Sudamericana) con el consecuente aumento de la actividad sísmica.

## 8. REFERENCIAS

Abrahamson, N. and Silva, W., 1997. Empirical response spectral attenuation, relations for

- shallow crustal earthquakes. *Seismological Research Letters*, 68(1): 94-116.
- Alvarado, P., Beck, S., Zandt, G., Araujo, M. y Triep, E., 2005. Crustal deformation in the south-central Andes backarc terranes as viewed from regional broad-band seismic waveform modeling. *Geophysical Journal International* 163 (2), 580-598.
- Alvarado, P. y Beck, S., 2006. Source characterization of the San Juan (Argentina) crustal earthquakes of 15 January 1944 (Mw 7.0) and 11 June 1952 (Mw 6.8). *Earth and Planetary Science Letters* 243, 615 – 631.
- Alvarado, P., Beck, S. y Zandt, G., 2007. Crustal structure of the south-central Andes cordillera and backarc region from regional waveform modeling. *Geophysical Journal International*, 170(2), 858-875.
- Alvarado P., Barrientos, S., Saez, M., Astroza, M., Beck, S., 2008. Source Study and Tectonic Implications of the Historic 1958 Las Melosas Crustal Earthquake, Chile, Compared to Earthquake Damage. Aceptado para su publicación en *Physics of the Earth and Planetary Interiors*.
- Anderson, M., Alvarado, P., Zandt, G. and Beck, S., 2007. Geometry and brittle deformation of the subducting Nazca Plate, Central Chile and Argentina. *Geophysical Journal International*, 171(1): 419-434. doi: 10.1111/j.1365-246X.2007.03483.x
- Araujo, M. y Suarez, G., 1994. Araujo, M. & Suarez, G., 1994. Geometry and state of stress of the subducted Nazca plate beneath central Chile and Argentina: evidence from teleseismic data, *Geophys. J. Int.*, 116, 283–303
- CERESIS, 1985. Centro Regional de Sismología para América del Sur. Terremotos destructivos de América del Sur 1530 – 1894. Volumen 10
- Clouard, V., Campos, J., Lemoine, A., Perez, A., Kausel, E., 2006. Outer rise stress changes related to the subduction of the Juan Fernandez Ridge, central Chile *Journal of Geophysical Research*, vol. 112, b05305, doi:10.1029/2005jb003999.
- Cornell, C. A., 1968. Engineering seismic risk analysis. *Bull. Seism. Soc. Am.* 58, 1583-1606.
- CRID, 2008. Centro Regional de Información sobre Desastres. [www.crid.or.cr](http://www.crid.or.cr)
- Fromm R., Alvarado P., Beck S. and Zandt G., 2006. The April 9, 2001 Juan Fernandez Ridge (Mw 6.7) tensional outer-rise earthquake and its aftershock sequence. *Journal of Seismology* (2006) 10: 163–170. DOI: 10.1007/s10950-006-9013-3
- Giardini, D., Grunthal, G., Shedlock, K., Zhang, P., 1999. The GSHAP global seismic hazard map. *Ann Geofis.* 42, 1225-1230.
- Gregori, S. D., 1993. Estudio de riesgo sísmico en la República Argentina. Centro IITEP (Rusia) y MAFRE (España), Beca desarrollada en Rusia y España. P. 125.
- Gregori, S. D., 1996. Atenuación por distancia e influencia del terreno en valores espectrales del movimiento de terremotos en territorio Argentino. Informe Beca de Iniciación, CONICET.
- INDEC, 2008. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Catálogo de datos poblacionales online.
- INPRES, 1977. El terremoto de San Juan del 23 de noviembre de 1977. Informe preliminar, 102p. San Juan.
- INPRES, 1977. Zonificación Sísmica de la República Argentina. Publicación Técnica N° 5, 42p. San Juan.
- INPRES, 1986. Gran Mendoza, el núcleo urbano expuesto al mayor nivel de riesgo sísmico en República Argentina. Publicación Técnica N° 10.
- INPRES, 1986. Características principales del terremoto de Mendoza de 26 de enero de 1985. Publicación Técnica N° 11.
- INPRES, 2008. Listado de sismos históricos de Argentina ([www.inpres.gov.ar](http://www.inpres.gov.ar)) catálogo de sismos online.
- INPRES-CIRSOC 103, 1983. Normas Argentinas para construcción sismorresistente. Parte I: Construcción en general. Instituto Nacional de Prevención Sísmica. Centro de Investigación de los Reglamentos de Seguridad para las Obras Civiles.
- Jordan, T. E., Allmendinger, R. W., Damanti, J. F. y Drake, R. E., 1993. Chronology of motion in a complete thrust belt: the Precordillera, 30-31°S, Andes Mountain. *Journal of Geology*, 101: 137-158.
- Kausel, E., 2006. Boletín informativo de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. <http://ing.uchile.cl/boletín/noticia.php>
- Kendrick, E., Bevis, M., Smalley, B., Brooks, B., Barriga Vargas, R., Lauría, E. y Souto Fortes, L.,

2003. The Nazca–South America Euler vector and its rate of change. *Journal of South American Earth Sciences*. Volume 16, p. 125-131.
- Manns, P., 1972. Los terremotos chilenos (Libro uno). Empresa Editorial Nacional Quimantu Ltda.
- Ordaz, M., Aguilera, A. y Arboleda, J., 2003. CRISIS2003. Ver. 3.1.0 - Program for computing seismic hazard. Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- Pardo, M., Comte, D. and Monfret, T., 2002. Seismotectonic and stress distribution in the central Chile subduction zone, *Journal of South American Earth Sciences* 15(1) 11-22. doi:10.1016/S0895-9811(02)00003-2
- Ramos, V.A., Cristallini, E.O. & Perez, D.J., 2002. The Pampean flat-slab of the central Andes, *J. South Am. Earth Sci.*, 15, 59–78.
- Ramos, V.A., 2002. La transición entre las fajas plegadas y corridas de Aconcagua y Malargüe; influencia del basamento de la cordillera frontal. Decimoquinto Congreso Geológico Argentino, Acta 3: 166-167, Calafate.
- Scordilis, E. M., 2006. Empirical global relations converting Ms and mb to moment magnitude. *Journal of seismology* (2006) 10: 225 – 236.
- Tanner, J., Shedlock, K., 2004. Seismic hazard maps of Mexico, the Caribbean, and Central and South America. *Tectonophysics* 390, p. 159-175.
- USGS, 2008. U. S. Geological Survey. [www.usgs.gov/](http://www.usgs.gov/)
- Yañez, G.A., Ranero, C.R., von Huene, R. and Díaz, J., 2001. Magnetic anomaly interpretation across the southern central Andes (32°-34°S): The role of the Juan Fernández Ridge in the late Tertiary evolution of the margin. *Journal of Geophysical Research* 106(B4): 6325-6345.

# MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA EN CARACAS Y BARQUISIMETO: LOGROS Y ALCANCES

Schmitz<sup>1</sup>, M., Hernández<sup>2</sup>, J.J., Morales<sup>1</sup>, C., Domínguez<sup>1</sup>, J., Tagliaferro<sup>1</sup>, M., García<sup>1</sup>, K., Amarís<sup>1</sup>, E., Reinoza<sup>1</sup>, C., Leal<sup>1</sup>, V., Cano<sup>1</sup>, V., Rocabado, V<sup>1</sup>., Paolini, M.<sup>1</sup> y el grupo de trabajo del Proyecto de Microzonificación sísmica de Caracas y Barquisimeto

1. FUNVISIS, Final calle Mara, Urb. El Llanito, Caracas, e-mail: cmorales@funvisis.gob.ve
2. Consultor en Ingeniería Estructural e Ingeniería Sísmica, Caracas, e-mail: julher@cantv.net

## INTRODUCCIÓN

Los Proyectos de Microzonificación Sísmica que se realizan en la actualidad en las principales ciudades de Venezuela, obedecen a la necesidad de delimitar la respuesta local del subsuelo ante la ocurrencia de un sismo principalmente en los centros urbanos en donde se concentra la mayor densidad de la población de Venezuela. La ejecución del Proyecto de Microzonificación Sísmica de Caracas y Barquisimeto corresponde a la circunstancia de que el norte de Venezuela está sometido a una amenaza sísmica elevada, asociada a la interacción de las placas tectónicas del Caribe y Sudamérica. Caracas ha sufrido terremotos históricos destructivos y según la norma sísmica nacional está ubicada en la zona sísmica 5, a la cual se le asigna una aceleración pico en roca para período de retorno de 475 años ( $A_0$ ) de 0.3 g (COVENIN, 2001). Además, en el terremoto que sufrió Caracas en el año 1967, se evidenciaron fuertes efectos de sitio, los cuales influyeron en la cantidad y en la localización de los daños generados por el terremoto. Esto implica que hay parámetros que controlan la respuesta sísmica dentro de la ciudad, que no están reflejados en la norma sísmica (COVENIN, 2001), la cual considera como principal factor de diferenciación el perfil superficial de suelo, sin tomar en cuenta estratos sedimentarios mayores a 50 m de espesor. Bajo esta premisa y siendo la capital venezolana la ciudad pionera para estudios de Microzonificación Sísmica en el país,

se planteó la evaluación detallada de la respuesta sísmica, basándose en la información previa, así como en nueva información sismogénica, geológica, geomorfológica, geotécnica y geofísica; información sobre la cual se elabora una metodología que permite asociar a cada sitio dentro de una ciudad un espectro de diseño característico, derivado de modelos dinámicos 1-D tipificados, incorporando aproximadamente efectos de cuenca 2-D y 3-D calibrados para las diferentes microzonas identificadas. La metodología desarrollada para Caracas se ha aplicado posteriormente en la región de Barquisimeto-Cabudare.

## METODOLOGIA

La metodología utilizada en el presente proyecto está descrita en líneas generales en Hernández et al. (2006). Los principales elementos del estudio son: 1) Evaluación probabilística de la amenaza sísmica uniforme en afloramiento rocoso; 2) Modelado geofísico del subsuelo, definiendo las propiedades de gruesos estratos del subsuelo y del basamento rocoso (Sánchez et al., 2005) y de los periodos fundamentales de los sitios (Rocabado et al., 2006); 3) Desarrollo de modelos genéricos de respuesta dinámica usando un análisis unidimensional equivalente lineal con el programa SHAKE (Schnabel et al., 1972), considerando variaciones en el espesor de sedimentos (entre 10 y 350 m) y la velocidad pro-

medio de ondas de corte de los primeros 30 m entre 150 y 650 m/s (Morales et al., 2009), y variaciones de los modelos constitutivos del material, conducentes en Caracas a 206 perfiles de suelo, los cuales se agruparon en 12 clases representativas (Hernández et al., 2009a); 4) Modelado 2D y 3D identificando variaciones de los efectos de sitio; 5) Definición de microzonas de respuesta sísmica similar. Para ello, los resultados antedichos se validaron con varias fuentes de información, como el análisis geomorfológico, geológico y geofísico de los sedimentos (e.g. Weston, 1969; Schmitz et al., 2008; Amarís et al., 2009; Reinoza et al., 2009, figura 1), el examen geotécnico de las rocas expuestas en laderas, y el análisis detallado de los daños reportados durante el terremoto de Caracas de 1967. Además, los espectros obtenidos fueron calibrados y corregidos mediante su comparación con espectros de terremotos reales (PEER, 2005); 6) Evaluación del peligro sísmico

a movimientos en masa de las laderas, realizando calibraciones importantes de la metodología (Hernández et al., 2008). De esta manera, se podrán identificar áreas para intervención prioritaria. Adicionalmente, se toman en consideración efectos topográficos en áreas de relieve escarpado. Ambos resultados representan una importante contribución inicial al problema social de las viviendas informales en los cerros; 7) Evaluación de edificaciones en cuanto a su comportamiento estructural típico, con objeto de establecer prioridades para el refuerzo de edificaciones existentes según su localización dentro de las diferentes microzonas (Hernández y Domínguez, 2009). Toda la información generada dentro del proyecto ha sido incorporada en un Sistema de Información Geográfica (SIG), el cual permitirá la interacción con las instituciones locales y planificadores urbanos para la rápida implementación de las recomendaciones.

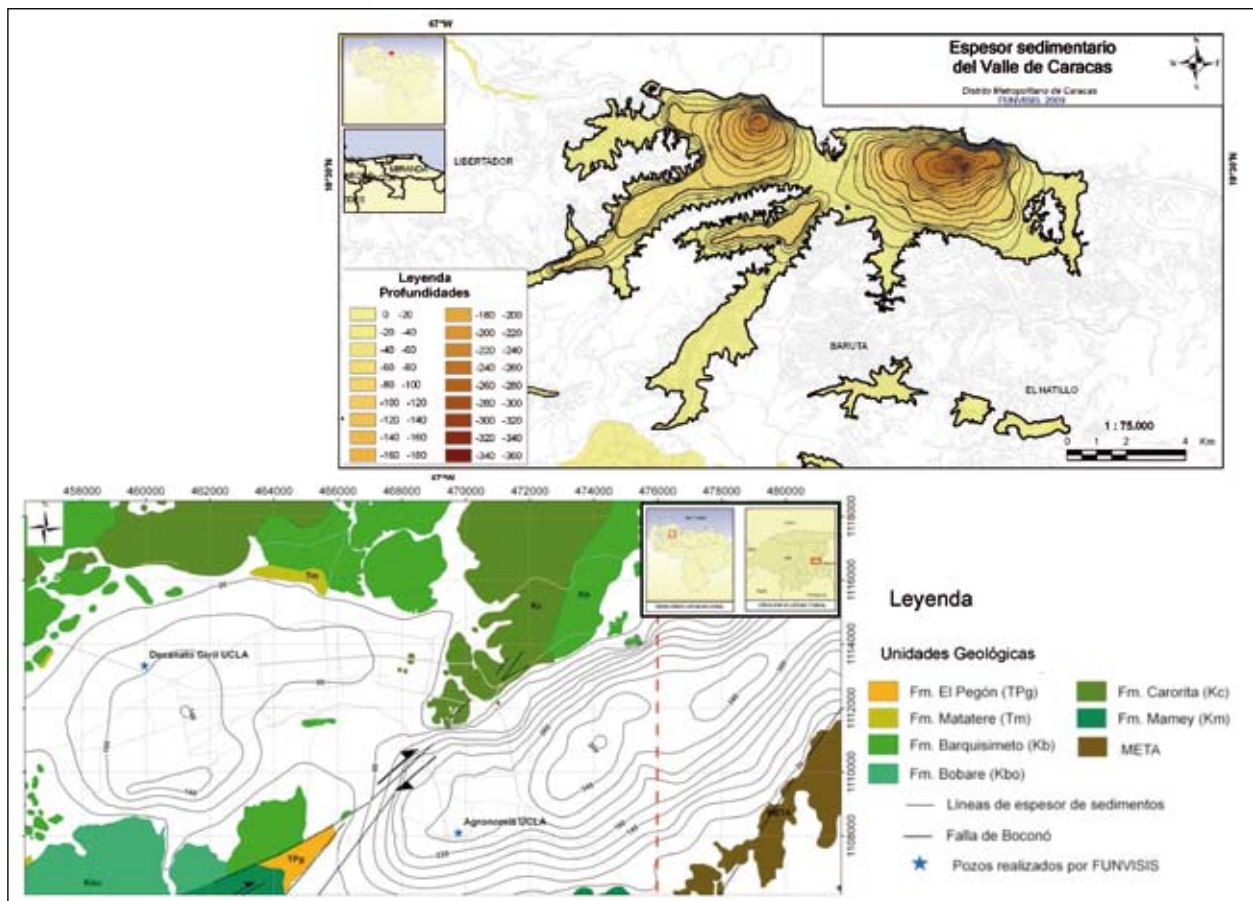


Figura 1. (Arriba) Espesor y distribución de los sedimentos del valle sedimentario de Caracas, calculado a partir del modelado de la respuesta gravimétrica integrado con información sísmica y geotécnica. (Abajo) Espesor y distribución de los sedimentos de la terraza aluvial de Barquisimeto y de la cuenca de tracción de Cabudare, calculado a partir del modelado de la respuesta gravimétrica integrado con información sísmica y geotécnica.

### RESULTADOS

La amenaza sísmica del Área Metropolitana de Caracas, que es definida en la Norma de Edificaciones Sismorresistentes (COVENIN, 2001) en 0.3 g, ha sido detallada a valores de 0.26 a 0.32 g para las aceleraciones pico A0 y 0.21 - 0.28 g para las aceleraciones de respuesta elástica para  $P = 1$  s (Hernández y Schmitz, 2009; figura 1). Para las ciu-

dades de Barquisimeto – Cabudare (con  $A_0 = 0.3$  g en COVENIN, 2001) se detallaron los valores de 0.21 g a 0.32 g como aceleración pico A0 (Hernández et. al., 2009b). Se han definido a partir de los nuevos estudios geológicos, geotécnicos y geofísicos las microzonas de similar comportamiento sísmico dentro y fuera del valle sedimentario de Caracas (figura 2) y de la terraza aluvial de Barquisimeto y en la cuenca de tracción de Cabudare (figura 3).

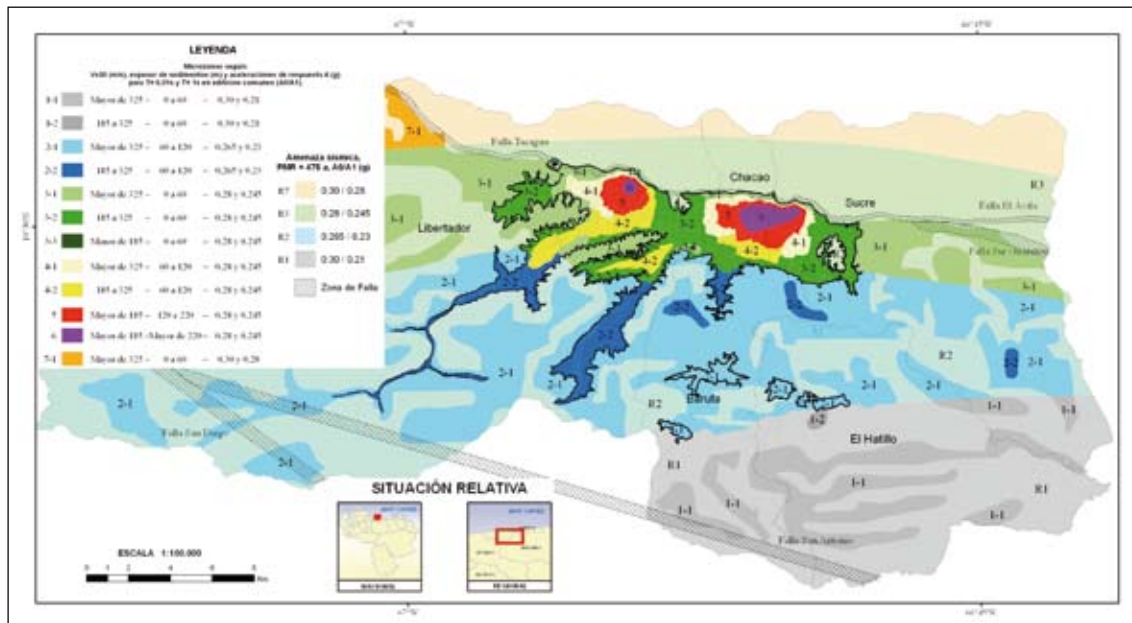


Figura 2. Microzonas de similar respuesta sísmicas delimitadas dentro y fuera de valle sedimentario de Caracas.

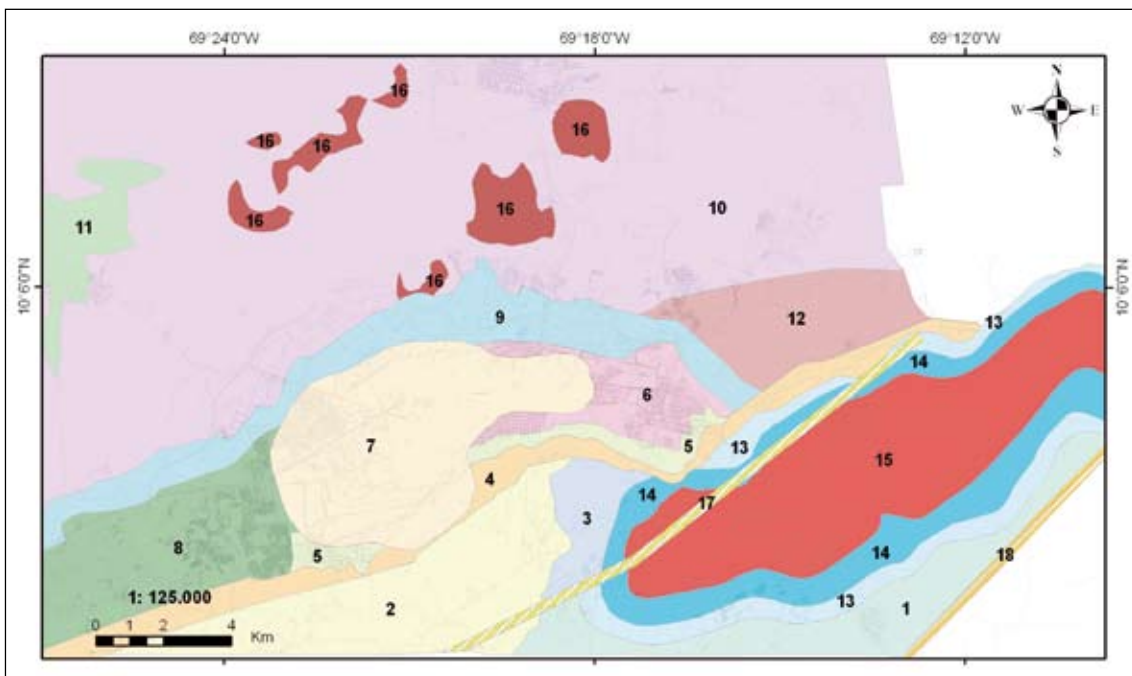


Figura 3. Microzonas de igual respuesta sísmicas delimitadas en la Terraza Aluvial de Barquisimeto y en la Cuenca de Tracción de Cabudare.

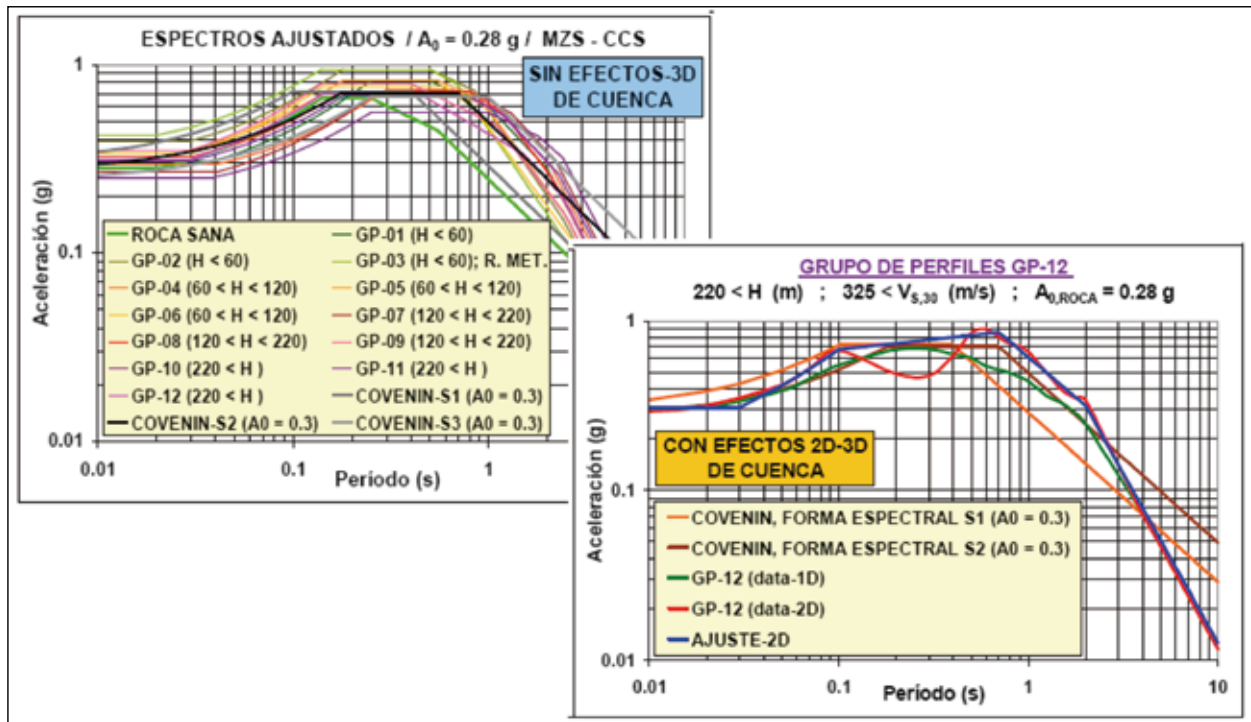


Figura 4. Espectros ajustados y normativos por clases de sitios; A<sub>0</sub> = 0.28 g en Caracas sin efectos 3D de cuenca (izquierda) y ejemplo de espectro recomendado para el grupo GP-12, correspondiente a la microzona 6 (derecha).

A estas microzonas se les han asignado según los parámetros arriba descritos los espectros resultantes, que incluyen en Caracas la incorporación de los efectos 2D y 3D de cuenca (Papageorgiou y Kim, 1991; Delavaud, 2007 figura 4). Otras importantes ciudades venezolanas ya cuentan con estudios geofísicos preliminares sobre la configuración de los sedimentos someros y profundos, tal es el caso Mérida en los Andes (Reinoza et al., 2006), el eje Maracay – Valencia, en el centro del país (Rojas et al., 2008), el eje Puerto La Cruz, Barcelona (Gascón et al., 2009 y Schmitz et al., 2009), Cumaná (Cruces et al., 2008) y Carúpano (Paolini et al., 2009) en el oriente de Venezuela, ciudades en las cuales ya existen mapas de isoperiodos H/V, distribución velocidades sísmicas y en las dos últimas existen mapas y modelos gravimétricos.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La distribución de daños causados por el terremoto de Caracas de 1967 evidenció fuertes efectos de sitio dentro del valle sedimentario. Sin embargo, los parámetros principales que controlan la respuesta sísmica, como el espesor de sedimentos superior a 50 m y la geometría de la cuenca, no están consi-

derados en la norma sísmica venezolana. Durante la ejecución del proyecto se desarrolló una metodología para la evaluación de la respuesta sísmica en diferentes zonas de Caracas. Esta metodología se basa en la obtención de espectros en superficie calculados mediante modelos genéricos del subsuelo, variando la velocidad de propagación de ondas de corte en los primeros 30 m (V<sub>s30</sub>) y los espesores de sedimentos para una configuración fija de características de los sedimentos. Los espectros resultantes se calibraron con diferentes metodologías (perfiles reales del suelo, mediciones de ruido ambiental, resultados de estudios y normas internacionales, etc.) y se incorporaron los efectos de cuenca en las zonas con sedimentos cuaternarios.

Los resultados del proyecto permiten asignar espectros de respuesta modificados para las diferentes partes de Caracas con las recomendaciones correspondientes para su utilización, en complemento de las indicaciones de la norma venezolana. Estos resultados pueden implementarse de una vez por las municipalidades, ya que la norma sísmica permite que estudios especiales autorizados como los correspondientes al Proyecto de Microzonificación sustituyan parcialmente a sus especificaciones.

Se incluyó en el proyecto una evaluación de deslizamientos activados por terremotos (Hernández et



al., 2008). A partir de los resultados obtenidos no se pretende que se tomen decisiones inmediatas de intervenciones locales; el objetivo ha sido la identificación de las zonas más peligrosas a deslizamientos traslacionales y en ellas convendrá que principalmente se realicen estudios y proyectos detallados de carácter multidisciplinario en conjunción de las ingenierías geológica, geotécnica y sísmica.

## AGRADECIMIENTOS

Estudio financiado por FONACIT–BID II 2004000738 como parte del Proyecto de Microzonificación Sísmica de las ciudades Caracas y Barquisimeto.

Demás miembros del grupo de trabajo del Proyecto de Microzonificación Sísmica de Caracas y Barquisimeto son: R. Abreu, A. Aguilar, I. Aguilar, L. Alvarado, L. Andrade, M. Andrade, F. Anzola, J. Araque, F. Audemard, J. Ávila, J. Azuaje, M. Bueno, H. Cadet, E. Caraballo, A. Castillo, L. Colmenárez, C. Cornou, E. Delavaud, J. Delgado, R. DeMarco, L. Figueira, P. Feliziani, Y. Flores, J. González, M. González, J. Guzmán, A. Hernández, A. Justiniano, R. López, M.E. Marante, W. Marín, J. Masy, D. Molina, J. Moncada, R. Ollarves, J. Oropeza, M. Palma, B. Quintero, C. Quinteros, H. Rendón, J. Rodríguez, L. Rodríguez, R. Rojas, G. Romero, C. Sánchez, J. Sánchez, A. Singer, A. Solórzano, N. Timaure, F. Urbani, M. Valleé, P. Varguillas, R. Vásquez, M. Villar, J.-P. Vilotte, A. Zambrano, H. Zambrano, J. Zamora.

## REFERENCIAS

- Amaris, E., Sánchez, J., Rocabado, V., Moncada, J., Schmitz, M., González, M., 2009. Espesores y características de los sedimentos profundos. Subcapítulo 3.4, Proyecto de Microzonificación Sísmica de Caracas, FUNVISIS.
- COVENIN, 2001. Edificaciones sismorresistentes, COVENIN 1756:2001. Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN), FONDO-NORMA, MCT, MINFRA, FUNVISIS, Caracas, pp. 113.
- Cruces, J., Izarra, C., Schmitz, M., 2008. Modelado gravimétrico 3D en Cumaná usando datos procesados a partir de nuevos estándares. XIV Congreso Venezolano de Geofísica, Caracas, Memorias en CD, 7 p.
- Delavaud, E., 2007. Simulation numérique de la propagation d'ondes en milieux géologiques complexes: application à l'évaluation de la réponse sismique du bassin de Caracas. PhD thesis, IGP, France, pp. 155.
- Gascón, R., Paolini, M. y Schmitz, M., 2009. Determinación de los Períodos Fundamentales del Suelo en la Ciudades de Barcelona, Puerto La Cruz y Lecherías, Como aporte a la Microzonificación Sísmica. V Coloquio sobre Microzonificación Sísmica, Caracas, 19 al 22 de mayo de 2009, 4 p.
- Hernández, J.J., Schmitz, M., Audemard, F., Malavé, G., 2006. "Marco conceptual del proyecto de microzonificación de Caracas y Barquisimeto". VIII Congreso Venez. de Sismol. e Ing. Sísmica, Valencia, Venezuela, 2006, Memorias en CD, 8p.
- Hernández, J.J., Schmitz, M., Delavaud, E., Cadet, H., Domínguez, J., Morales, C., 2009a. Espectros de respuesta sísmica en microzonas de Caracas considerando efectos de sitio 1D, 2D y 3D. V Coloquio sobre Microzonificación Sísmica, Caracas, 19 al 22 de mayo de 2009, 4 p.
- Hernández, J.J., Azuaje, J., Molina, D., 2009b. Amenaza sísmica local. Subcapítulo 2.3. Proyecto de Microzonificación Sísmica de Barquisimeto - Cabudare, FUNVISIS.
- Hernández, J.J., Valleé, M., Feliziani, P., Schmitz, M., Oropeza, J., Tagliaferro, M., Castillo, A., Cano, V., 2008. Peligro sísmico de deslizamientos en laderas de Caracas. 50 Aniversario de la Sociedad Venezolana de Geotecnia (SVDG), 6 al 9 de noviembre 2008, Caracas, Memorias, 14 p.
- Hernández, J.J., Schmitz, M., 2009. Evaluación actualizada de amenaza sísmica para la microzonificación de Caracas. V Coloquio sobre Microzonificación Sísmica, Caracas, 19 al 22 de mayo de 2009.
- Hernández, J.J., Domínguez, J.G., 2009. Evaluación aproximada de edificaciones típicas. Subcapítulo 5.3, Proyecto de Microzonificación Sísmica de Caracas, FUNVISIS.
- Morales, C., García, K., Gonzáles, M., Tagliaferro, M., Flores, Y., Villar, M., Justiniano, A., Moncada, J., Schmitz, M., Hernández, J.J., Cano, V., 2009. Características geofísicas y geotécnicas someras (Vs30). Subcapítulo 3.3, Proyecto de Microzonificación Sísmica de Caracas, FUNVISIS.

- Papageorgiou A.S., Kim J., 1991. Study of the propagation and amplification of seismic waves in Caracas valley with reference to the 29 July 1967 earthquake: SH waves. *Bull. Seis. Soc. Am.*, 81, 2214-2233.
- PEER, 2005. PEER NGA Database. Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER), California.
- Paolini, M., Pacheco, D., Rocabado, V., Moncada, J., Reinoza, C., Amarís, E., Schmitz, M., 2009. Estudio geofísico integrado en la ciudad de Carúpano, estado Sucre. V Coloquio sobre Microzonificación Sísmica, Caracas, 19 al 22 de mayo de 2009, 4 p.
- Rocabado, V., Schmitz, M., Rendón, H., Villote, J-P., Audemard, F., Sobiesiak, M., Ampuero, J-P., Alvarado, L., 2006. Modelado numérico de la respuesta sísmica 2D del valle de Caracas. Caracas, Venezuela, *Revista de la Facultad de Ingeniería de la U.C.V.*, Vol. 21, N° 4, pp. 81-93, 2006.
- Reinoza, C., Sánchez, J., Schmitz, M. Y Klárca, E., 2006. Modelado geofísico del basamento del área metropolitana de la ciudad de Mérida, Venezuela. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la U.C.V.*, Vol. 21, N° 4, pp.71-80.
- Reinoza, C., Rocabado, V., Morales, C., Ávila, J., Schmitz, M., García, K., Sánchez, J., Sánchez, C., De Marco, R., Solórzano, A., Varguillas, P., Urbani, F., 2009. Espesores y características de los sedimentos profundos. Subcapítulo 3.3. Proyecto de Microzonificación Sísmica de Barquisimeto - Cabudare, FUNVISIS.
- Rocabado, V., Schmitz, M., Rendón, H., Villote, J-P., Audemard, F., Sobiesiak, M., Ampuero, J-P., Alvarado, L., 2006. Modelado numérico de la respuesta sísmica 2D del valle de Caracas. Caracas, Venezuela, *Revista de la Facultad de Ingeniería de la U.C.V.*, Vol. 21, N° 4, pp. 81-93, 2006.
- Sánchez, J. Schmitz, M., Cano, V., 2005. Mediciones Sísmicas profundas en Caracas para la determinación del espesor de sedimentos y velocidades sísmicas como aporte para el Estudio de Microzonificación Sísmica. *Boletín Técnico IMME Volumen 43 N° 2.* pp. 49-65.
- Schmitz, M., Hernández, J.J., Morales, C., Molina, D., Valleé, M., Domínguez, J., Delavaud, E., Singer, A., González, M., Leal, V., y el grupo de trabajo del proyecto de Microzonificación Sísmica de Caracas, 2008. Resultados principales del proyecto de Microzonificación Sísmica en Caracas. Conferencia 50 Aniversario de la Sociedad Venezolana de Geotecnia (SVDG), 6 al 9 de noviembre 2008, Caracas, 11 p.
- Schmitz, M., Manchego, M., Salcedo, A., Flores, H., Leal, V., Rodríguez, I., Pombo, A., Capriles, M. D., Guzmán, J., Paolini, M., Reinoza, C., Rocabado, V. y grupo de trabajo Gestión de Riesgo, 2009. Proyecto de investigación aplicada a la gestión integral de riesgo en espacios urbanos: Conformación de redes de actores. V Coloquio sobre Microzonificación Sísmica, Caracas, 19 al 22 de mayo de 2009, 3 p.
- Schnabel, P., Lysmer, J., Seed, H., 1972. SHAKE - A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites. Earthquake Engineering Research Center, Report No. UCB/EERC-72/12. Univ. of California, Berkeley.
- Weston Geophysical Engineers International Inc., 1969. Investigaciones Sísmicas en el Valle de Caracas y en el Litoral Central (bajo la planificación y supervisión de la Comisión Presidencial para el Estudio del Sismo), Caracas, 22 pp.

# IMPLICACIONES DE LA INFORMACIÓN REGISTRADA EN LA RED DE ACELERÓGRAFOS DE BOGOTÁ Y LA RED NACIONAL DE ACELERÓGRAFOS DE COLOMBIA, SOBRE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE BOGOTÁ.

Carlos Alvarado Flórez, IC. Esp. INGEOMINAS. calvarado@ingeominas.gov.co  
Carlos Fernando Lozano. IC. INGEOMINAS. clozano@ingeominas.gov.co  
María Luisa Bermúdez, IC. M.Sc. INGEOMINAS. mlbermudez@ingeominas.gov.co

## RESUMEN

Una vez concluido el Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá (MZSB), la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá (DPAE) y el Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS) pusieron en marcha en 1997 el proyecto de instalación y mantenimiento de la Red de Acelerógrafos de Santafé de Bogotá (RASB), cuyo funcionamiento inició en enero de 1999 con treinta (30) estaciones dotadas de acelerógrafos Kinematics: 28 modelo ETNA y 2 tipo K-2 con downhole. Adicionalmente, la ciudad cuenta con 3 estaciones de la Red Nacional de Acelerógrafos de Colombia (RNAC), adscrita al INGEOMINAS.

La RASB ha registrado 47 eventos sísmicos tanto superficiales como profundos, con magnitudes ML entre 3.9 y 6.6 y distancias epicentrales entre 40 y 500 Km., lo que ha permitido conformar una base de datos con movimientos tanto fuertes como débiles. Se presenta la comparación de los espectros de respuesta agrupados por las zonas de la MZSB contra los espectros de diseño adoptados en Bogotá mediante el Decreto 074 de 2001; mostrando que en las zonas lacustres especialmente, hay diversas formas de respuesta cubiertas parcialmente por los espectros de diseño y sugiriendo la existencia de posibles subdivisiones dentro de ellas.

**Palabras clave:** Acelerógrafo, espectro de respuesta, fuente sísmica, distancia epicentral.

## ABSTRACT

*Once concluded the study of seismic microzonification of Bogotá (MZSB in Spanish), the Direction of Prevention and Attention of Emergencies of Bogotá (DPAE in Spanish) and Colombian Institute of Geology and Mining (INGEOMINAS in Spanish) put in progress in 1997 the project of installation and maintenance the Network of Acelerograph of Santa Fé de Bogotá: 28 model ETNA and 2 type K – 2 with downhole. Additionally, the city has 3 stations Colombian National Network of Acelerograph (RNAC in Spanish), ascribed to the INGEOMINAS.*

*The RASB has registered 47 seismic events both shallow as deep, with magnitudes ML between 3.9 and 6.6 and epicentral distances between 40 and 500 Km., what he has permitted conforming a data base with movements both strong as weak. It is shown it comparison of the response spectra grouped for the zones of the MZSB against the designing spectra adopted in Bogotá through the Decree 074 of 2001; showing than at the lakes zones specially, there is diverse forms of response covers partially for the designing spectra and suggesting possible subdivisions's existence within them.*

**Keywords:** Accelerographs, response spectrum, seismic source, epicentral distance.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el momento de la ejecución de las investigaciones correspondientes al Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá -MZSB [1], los datos disponibles tanto de acelerogramas de eventos sísmicos registrados en estaciones ubicadas en los suelos blandos, como de la información y caracterización geotécnica en profundidad, permitieron proponer modelos de respuesta ante comportamiento dinámico con un grado de confiabilidad acorde con el estado del arte y la información existente en su momento.

El Estudio de Microzonificación Sísmica logró un aporte muy significativo en materia de caracterización geológica y geotécnica para la ciudad de Bogotá. Es así como nuevos elementos de la amenaza local surgieron, identificando y cuantificando posibles fuentes sismogénicas que afectan la zona. De otra parte las investigaciones geofísicas y la zonificación geotécnica de la ciudad permitieron una detallada clasificación y caracterización dinámica de los materiales que conforman el subsuelo. Sin embargo, a la luz de reciente información obtenida por la RASB y la RNAC, diferentes aspectos requieren de revisión y actualización, tales como las curvas de degradación del módulo de rigidez y amortiguamiento, las velocidades de onda de corte, la secuencia estratigráfica, los tipos de suelos en profundidad, la presencia de suelos especiales (p.e.turba) y el espesor del depósito (basamento rocoso), así como también la caracterización sismológica regional, la selección de las señales de diseño y la ocurrencia de efectos locales, entre otros.

En ese orden de ideas el presente trabajo, aporta nuevos criterios y herramientas de discusión para la actualización de los espectros y parámetros de diseño sismorresistente en la ciudad y verifica la respuesta sísmica del suelo evaluada en la microzonificación sísmica de Santa Fé de Bogotá mediante

el análisis de los registros sísmicos provenientes de la instrumentación acelerográfica instalada en la ciudad.

## 2. INFORMACIÓN SÍSMICA REGISTRADA POR LA RED DE ACCELERÓGRAFOS DE BOGOTÁ – RASB

Una vez concluido el Estudio de MZSB, la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá (DPAE) y el INGEOMINAS iniciaron en 1997 el Proyecto de Instalación y Mantenimiento de la Red de Acelerógrafos de Santafé de Bogotá (RASB), la cual empezó a funcionar en enero de 1999. Dicha red, propiedad de la DPAE, consta de treinta (30) estaciones, dotadas de acelerógrafos en su gran mayoría de tipo ETNA (28) y K-2 (2) de marca KINEMATRICS. Adicionalmente la ciudad cuenta con tres (3) estaciones pertenecientes a la Red Nacional de Acelerógrafos de Colombia (RNAC) de INGEOMINAS; una de las cuales tiene sensores tanto en superficie como en profundidad. En total, la ciudad cuenta con treinta y tres (33) estaciones de instrumentación de movimiento fuerte, las cuales han registrado eventos sísmicos que se constituyen en una invaluable información para las labores de investigación, verificación y actualización del Estudio de MZSB.

En la tabla 1 se relacionan las estaciones que componen la red, sus principales características y la localización de estas según la MZSB (Fig. 1). Se destacan las estaciones CGRAL, CUAGR y CBOG1, porque tienen sensores tanto a nivel superficial como en profundidad (Down Hole), a 115, 126 y 184 m en roca, respectivamente, constituyéndose en estaciones de referencia directas para la zonas 3 y 5A definidas en el Estudio de MZSB.

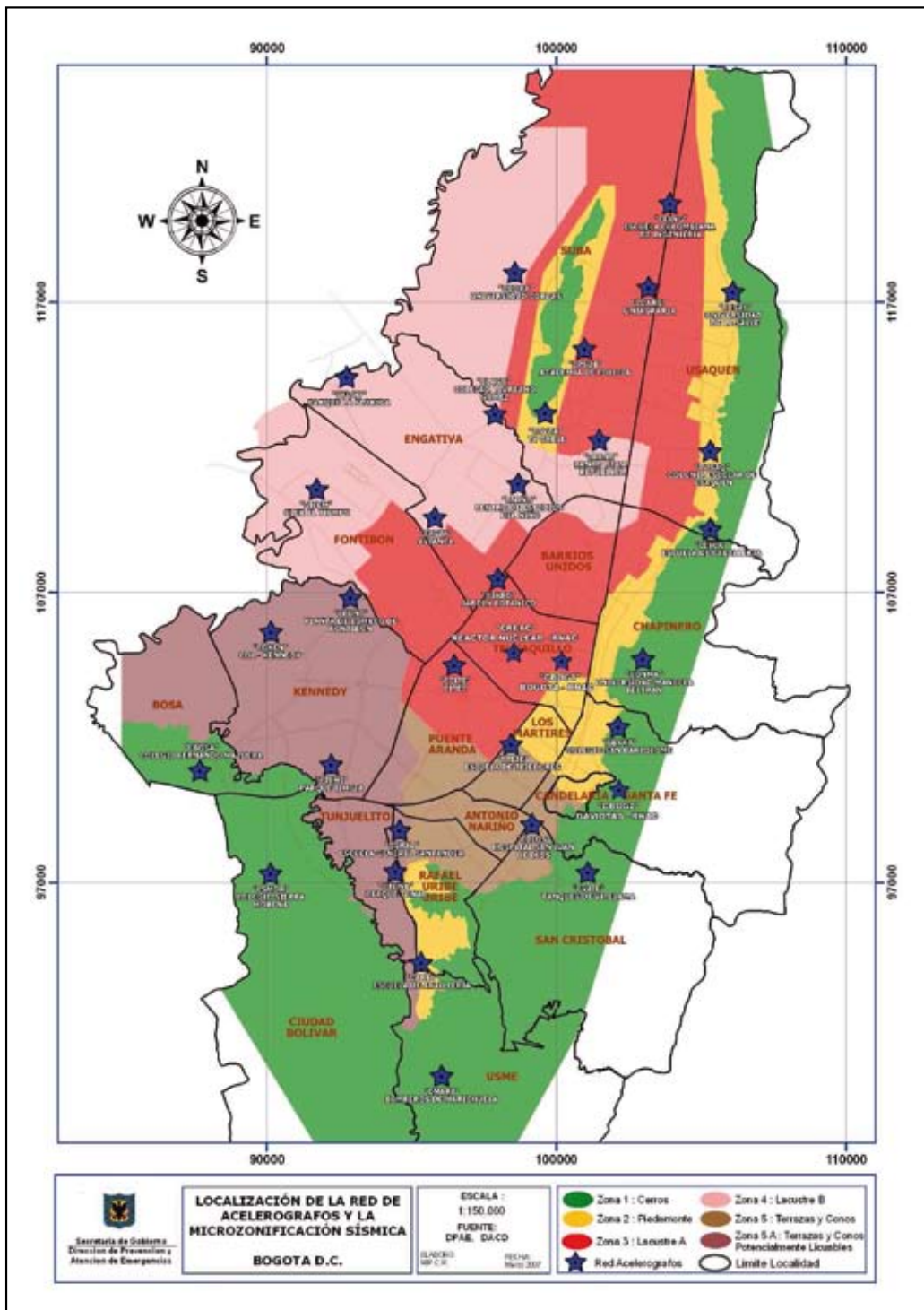
**TABLA 1**  
**ESTACIONES DE LA RED DE ACELERÓGRAFOS DE BOGOTÁ**  
**(RASB) Y DE LA RED NACIONAL DE ACELERÓGRAFOS DE COLOMBIA (RNAC)**

NOMBRE	CODIGO	ZONA	LAT.	LONG.	EQUIPO	GEOLOGIA	TOPOGRAFIA
COLEGIO SAN BARTOLOME	CBART	1	4.621	-74.062	ETNA	ROCA	ONDULADA
GAVIOTAS (*)	CBOG2	1	4.603	-74.063	ETNA	ROCA	ONDULADA
COLEGIO FERNANDO MAZUERA	CBOSA	1	4.607	-74.192	ETNA	SUELO	PLANA
ESCUELA DE CABALLERIA	CESCA	1	4.682	-74.033	ETNA	SUELO	ONDULADA
BOMBEROS MARICHUELA	CMARI	1	4.512	-74.117	ETNA	SUELO	PLANA
COLEGIO SIERRA MORENA	CSMOR	1	4.575	-74.170	ETNA	ROCA	ONDULADA
T.V. CABLE	CTVCA	1	4.718	-74.085	ETNA	ROCA	ONDULADA
UNIVERSIDAD MANUELA BELTRAN	CUNMA	1	4.642	-74.054	ETNA	SUELO	ONDULADA
TANQUES DE VITELMA	CVITE	1	4.575	-74.072	ETNA	SUELO	ONDULADA
ESCUELA DE ARTILLERIA	CARTI	2	4.547	-74.123	ETNA	SUELO	PLANA
ACADEMIA DE POLICIA	CPSUB	2	4.738	-74.073	ETNA	ROCA	ONDULADA
UNIVERSIDAD DE LA SALLE	CUSAL	2	4.756	-74.026	ETNA	SUELO	PLANA
COLONIA ESCOLAR DE USAQUEN	CUSAQ	2	4.706	-74.033	ETNA	SUELO	PLANA
BANCO DE LA REPUBLICA	CBANC	3	4.709	-74.079	ETNA	SUELO	ONDULADA
BOGOTA, INGEOMINAS (*)	CBOG1	3	4.641	-74.080	K -2	SUELO/ROCA	PLANA
CITEC	CCITE	3	4.640	-74.113	ETNA	SUELO	PLANA
ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA	CEING	3	4.783	-74.046	ETNA	SUELO	PLANA
JARDÍN BOTANICO	CJABO	3	4.667	-74.099	ETNA	SUELO	PLANA
REACTOR NUCLEAR (*)	CREAC	3	4.642	-74.095	ETNA	EDIFICIO	EDIFICIO
UNIAGRARIA	CUAGR	3	4.757	-74.053	K -2	SUELO/ROCA	PLANA
AVIANCA	CAVIA	4	4.686	-74.119	ETNA	SUELO	PLANA
UNIVERSIDAD CORPAS	CCORP	4	4.762	-74.094	ETNA	SUELO	PLANA
PARQUE LA FLORIDA	CFLOD	4	4.730	-74.146	ETNA	SUELO	PLANA
COLEGIO LAUREANO GOMEZ	CLAGO	4	4.718	-74.100	ETNA	SUELO	PLANA
CENTRO DE ESTUDIOS DEL NINO	CNIÑO	4	4.696	-74.093	ETNA	SUELO	PLANA
CLUB EL TIEMPO	CTIEM	4	4.694	-74.156	ETNA	SUELO	PLANA
HOSPITAL SAN JUAN DE DIOS	CDIOS	5	4.590	-74.089	ETNA	SUELO	PLANA
ESCUELA DE TEJEDORES	CTEJE	5	4.615	-74.095	ETNA	SUELO	PLANA
COL-KENNEDY	CCKEN	5A	4.650	-74.170	ETNA	SUELO	PLANA
PLANTA DE BOMBEO FONTIBON	CFONT	5A	4.661	-74.145	ETNA	SUELO	PLANA
ESCUELA GENERAL SANTANDER	CGRAL	5A	4.588	-74.130	K -2	SUELO/ROCA	PLANA
RADIO NET (1)	CRADI	5A	4.640	74.169	ETNA	SUELO	PLANA
PARQUE TIMIZA	CTIMI	5A	4.608	-74.151	ETNA	SUELO	PLANA
PARQUE TUNAL	CTUNA	5A	4.575	-74.131	ETNA	SUELO	PLANA

(\*) RNAC (INGEOMINAS).

(1) Estación retirada. Fue remplazada por la estación Col – Kennedy.

**FIGURA 1**  
**LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE LA RASB Y RNAC. ADAPTADO DE [2]**



## 2.1. REGISTROS DE EVENTOS SISMICOS

La sismicidad registrada se agrupó en diversos tipos de fuentes sísmicas asociadas a la actividad cortical y de subducción, como función de la profundidad del sismo y la distancia epicentral al sitio

bajo estudio. En las tablas 2 y 3 se muestra esta clasificación. Durante el período 1994 a 2008, la RASB y la RNAC han registrado 47 eventos sísmicos tanto superficiales como profundos, con magnitudes ML entre 3.9 y 6.6 y distancias epicentrales entre 40 y 500 Km aproximadamente (tabla 4).

**TABLA 2**  
**FUENTES SÍSMICAS ASOCIADAS**  
**A ACTIVIDAD CORTICAL**  
**Distancia Epicentral (Km)**

Cercana o Local	10 – 50
Intermedia	50 – 100
Regional	100 – 200
Lejana	> 200

**TABLA 3**  
**FUENTES SÍSMICAS ASOCIADAS**  
**SEGÚN PROFUNDIDAD**  
**Profundidad (Km)**

Interplaca (Subducción)	< 40
Intraplaca (Zona de Benioff)	70 -200
Nido de Bucaramanga (*)	140 -170

(\*) No está asociado a subducción.

**TABLA 4**  
**EVENTOS SÍSMICOS REGISTRADOS POR LA RASB Y RNAC, DURANTE EL PERÍODO 1994 -2008**

Fecha d/m/a	Hora (UT) hh:mm:ss	Mag. (ML)	Prof. Km	Lat. (°)	Long. (°)	Municipio	Código de la estación
06/06/1994	20:47:39	6.4	Sup.	2,85	-76,07	Páez (Cauca)	CBOG1
19/01/1995	15:05:05	6,6	Sup.	5,03	-72,95	Tauramena (Casanare)	CBOG1
01/01/1997	04:35:55	5,8	152	6,80	-73,15	Los Santos (Santander)	CBOG1
11/06/1997	19:11:04	5,8	151	6,82	-73,10	Los Santos (Santander)	CBOG1
11/06/1997	19:11:04	5,8	151	6,82	-73,10	Los Santos (Santander)	CBOG2
17/07/1997	12:45:36	5,1	Sup.	3,82	-74,11	Cubarral (Meta)	CBOG2
02/09/1997	12:13:21	6,5	226	3,96	-75,83	Roncesvalles (Tolima)	CBOG2
10/02/1998	06:24:51	4,8	Sup.	5,17	-73,03	San Eduardo (Boyacá)	CBOG1, CBOG2
08/03/1998	04:59:10	5,3	Sup.	6,26	-73,90	Cimitarra (Santander)	CBOG1
25/01/1999	18:19:18	6,1	Sup.	4,43	-75,70	Córdoba (Quindío)	CBOG1, CBOG2, CBART
14/04/1999	07:25:06	5,7	156	6,81	-73,13	Nido de Bucaramanga	CBOG1, CBART
15/05/1999	10:20:38	4,6	22.2	4,68	-74,73	Pulí (Cundinamarca)	CBOG1
01/06/1999	21:42:14	5,0	Sup.	4,29	-73,73	Guayabetal (Cundinamarca)	CBOG1, CBOG2, CEING, CBART
10/06/1999	03:21:59	4,6	Sup.	4,30	-73,75	Quetame (Cundinamarca)	CBART
17/07/1999	12:21:57	5,4	Sup.	6,07	-72,73	Sativasar (Boyacá)	CEING, CUSAL, CCORP, CPSUB, CAVIA, CBART, CBOG1
08/11/1999	05:51:20	6,2	164.2	6,87	-73,18	Betulia (Santander)	CEING, CUSAL, CCORP, CPSUB, CBART, CUAGR, CTVCA, CFLOD, CFONT, CDIOS, CTUNA, CARTI, CVITE, CGRAL, CRADI, CBOG1, CBOG2
17/01/2000	12:20:07	5,8	Sup.	6,67	-72,05	Fortul (Arauca)	CBOG1
05/02/2000	21:52:08	5,6	147.2	6,82	-73,25	Nido de Bucaramanga	CBOG1, CUAGR, CTVCA
24/05/2000	01:05:22	4,3	6.6	4,76	-74,66	Pulí (Cundinamarca)	CBOG1
12/09/2000	10:54:16	5,6	158	6,74	-73,17	Nido de Bucaramanga	CBOG1, CUAGR, CBART
08/11/2000	07:00:08	5,9	41.7	6,85	-77,60	Juradó (Chocó)	CBOG1, CUAGR, CFLOD
24/11/2000	19:51:13	5,2	153	6,82	-73,12	Nido de Bucaramanga	CUAGR, CTVCA
17/12/2000	06:13:25	5,5	155	6,82	-73,10	Nido de Bucaramanga	CEING, CUAGR, CPSUB, CUSAQ, CTVCA, CBART, CBOG1
03/05/2001	16:14:00	5,3	152.4	6,83	-73,10	Los Santos (Santander)	CUAGR
18/05/2001	15:04:00	5,4	154	6,84	-73,12	Los Santos (Santander)	CBART, CTVCA, CUAGR
22/09/2001	3:23:39	6	180	3,99	-76,08	Tulúa (Valle)	CBOG1, CUAGR, CGRAL, CTVCA
19/11/2001	21:01:25	5,9	161	6,81	-73,00	Cepitá (Santander)	CBOG1, CEING, CUAGR, CGRAL, CPSUB
26/04/2002	1:36:28	5,4	Sup.	6,72	-73,71	El Carmen (Santander)	CBOG1
12/05/2002	06:23:53	5,1	162	6,85	-73,08	Los Santos (Santander)	CUAGR
12/07/2002	18:08:01	5,2	166	6,84	-73,02	Cepitá (Santander)	CUAGR
24/07/2002	19:38:08	4,7	Sup.	4,69	-74,73	Pulí (Cundinamarca)	CBOG1
23/11/2002	23:56:42	5,6	Sup.	3,30	-74,42	La Uribe (Meta)	CBOG1, CAVIA, CUAGR, CUSAQ
22/01/2003	15:55:36	5,3	Sup.	3,57	-74,57	Colombia (Huila)	CBOG1, CAVIA, CUAGR
03/10/2004	08:30:31	5,6	162	6,84	-73,04	Los Santos (Santander)	CUAGR, CGRAL
15/11/2004	09:06:56	6,7	26	4,77	-77,72	Océano Pacífico	CUAGR, CEING, CGRAL, CCKEN, CTIMI, CUSAQ
25/02/2005	06:41:25	5,8	153	6,84	-73,12	Los Santos (Santander)	CUAGR
21/04/2005	03:39:25	5,3	90	5,19	-76,39	Tadó (Chocó)	CUAGR
26/09/2005	01:55:00	7.5*	85	-5,66	-76,37	Moyobamba (Perú)	CBOG1, CUAGR
06/05/2007	04:47:15	6,0	151	6,82	-73,05	Los Santos (Santander)	CBANC, CUSAL
17/02/2008	21:15:03	5,7	153	6,81	-73,09	Los Santos (Santander)	CUAGR, CGRAL
25/03/2008	07:38:15	4,8	24	5,06	-74,59	Guaduas (Cundinamarca)	CBOG2
24/05/2008	19:20:00	5,7	Sup.	4,39	-73,81	Quetame (Cundinamarca)	CBOG1, CBOG2, CREAC, CEING, CUSAL, CBOSA, CCORP, CUAGR, CUSAQ, CESCA, CBANC, CTVCA, CFLOD, CAVIA, CFONT, CNIÑO, CJABO, CBART, CUNMA, CCITE, CTIEM, CTIMI, CTUNA, CMARI, CSMOR, CTEJE, CVITE, CGRAL, CCKEN
24/05/2008	19:23:04	4,5	6.3	4,42	-73,83	Fómeque (Cundinamarca) El	CBOG1, CBOG2, CREAC, CMARI, CBART CBOG1, CBOG2, CMARI
24/05/2008	20:08:02	4,5	6.3	4,42	-73,83	Calvario (Meta)	
24/05/2008	20:21:32	4,2	16	4,44	-73,77	El Calvario (Meta)	CBOG1, CBOG2, CREAC, CGRAL
24/05/2008	20:36:07	4,1	3.9	4,36	-73,78	El Calvario (Meta)	CBOG1, CBOG2, CREAC
02/06/2008	23:50:25	3,9	Sup.	4,45	-73,76	San Juanito (Meta)	CBOG2

(\*) Magnitud de Momento (Mw). Sup. = Menor a 5 Km.

# SURFACE-WAVE INVERSION USING A DIRECT SEARCH ALGORITHM AND ITS APPLICATION TO AMBIENT VIBRATION MEASUREMENTS

M. Wathelet<sup>1, 2\*</sup>, D. Jongmans<sup>1</sup> and M. Ohrnberger<sup>3</sup>

\* marc.wathelet@ujf-grenoble.fr

1. LIRIGM, Université Joseph Fourier, BP 53, 38041 Grenoble cedex 9, France

2. GEOMAC, Université de Liège, 1 Chemin des Chevreuils, Bât. B52, 4000 Liège, Belgium

3. Institut für Geowissenschaften der Universität Potsdam, POB 601553, D-14415 Potsdam, Germany

Received January 2004, revision accepted August 2004

## ABSTRACT

*Passive recordings of seismic noise are increasingly used in earthquake engineering to measure in situ the shear-wave velocity profile at a given site. Ambient vibrations, which are assumed to be mainly composed of surface waves, can be used to determine the Rayleigh-wave dispersion curve, with the advantage of not requiring artificial sources. Due to the data uncertainties and the non-linearity of the problem itself, the solution of the dispersion-curve inversion is generally non-unique. Stochastic search methods such as the neighbourhood algorithm allow searches for minima of the misfit function by investigating the whole parameter space. Due to the limited number of parameters in surface-wave inversion, they constitute an attractive alternative to linearized methods. An efficient tool using the neighbourhood algorithm was developed to invert the one-dimensional  $V_s$  profile from passive or active source experiments. As the number of generated models is usually high in stochastic techniques, special attention was paid to the optimization of the forward computations. Also, the possibility of inserting a priori information into the parametrization was introduced in the code.*

*This new numerical tool was successfully tested on synthetic data, with and without a priori information. We also present an application to real-array data measured at a site in Brussels (Belgium), the geology of which consists of about 115 m of sand and clay layers overlying a Palaeozoic basement. On this site, active and passive source data proved to be complementary and the method allowed the retrieval of a  $V_s$  profile consistent with borehole data available at the same location.*

## INTRODUCTION

For the majority of seismic prospecting methods, natural or cultural ambient vibrations constitute an undesired part of the signal, which has to be eliminated as much as possible. However, the noise field is influenced by the subsurface structure and the use of array records of seismic noise has been recognized as a method for deriving the S-wave

velocity profile at a given site (e.g. Aki 1957; Asten 1978; Tokimatsu 1995). The hypothesis behind the method is that ambient vibrations mainly consist of surface waves, whose dispersion characteristics depend primarily on the body-wave velocities ( $V_p$  for compressional-wave velocities and  $V_s$  for shear-wave velocities), the density and the thickness of the different layers (Murphy and Shah 1988; Aki and Richards 2002). Noise energy depends upon the



source locations and upon the impedance contrast between the rocky basement and the overlying soft sediments (Chouet *et al.* 1998; Milana *et al.* 1996). A knowledge of the shear-wave velocity ( $V_s$ ) profile at a given site is of major importance in earthquake engineering, and ambient vibrations measured by an array of vertical sensors are increasingly applied for determining  $V_s$  profiles (e.g. Horike 1985; Tokimatsu 1995; Ishida *et al.* 1998; Miyakoshi *et al.* 1998; Yamamoto 1998; Satoh *et al.* 2001; Scherbaum *et al.* 2003).

In a first step, the Rayleigh phase-velocity dispersion curve is derived from the processing of simultaneous ground-motion recordings at various stations. The recording time is usually greater than or equal to half an hour and the number of stations is generally between 6 and 10, depending upon the available equipment (sensors, synchronized or multichannel stations) and time (the set-up may take quite a long time for a large number of sensors). The geometry of the station layout is not strictly imposed by the processing method itself, but a circular shape ensures an equal response of the array for waves coming from all azimuths. The common approaches used to derive the dispersion curve from the raw signals can be classified into two main families: frequency–wavenumber (Lacoss *et al.* 1969; Capon 1969; Kvaerna and Ringdahl 1986; Ohrnberger 2001) and spatial auto correlation (Aki 1957; Roberts and Asten 2004). The first methods are best suited for plane wavefields with a single dominant source of noise but may be also used in more complex situations, averaging the apparent velocity over longer periods of time. The output of a basic frequency–wavenumber processing consists of semblance maps which indicate the azimuth and the velocity (or slowness) of the waves travelling with the highest energy. The grid maps are obtained by shifting and stacking the recorded signals over small time windows. The former class of methods assumes stationary-wave arrivals both in time and space and hence an infinite number of simultaneous sources. Spatial auto-correlation methods are considered as more efficient by some authors (e.g. Ohori *et al.* 2002), but the relative performances of each method have not been rigorously investigated so far. Here, we applied the frequency–wavenumber method which has been widely used (e.g. Asten and Henstridge 1984; Ohrnberger 2001).

At the second stage, the dispersion curve is inverted to obtain the  $V_s$  (and eventually the  $V_p$ ) vertical profile, as in the classical active-source methods (Stokoe *et al.* 1989; Malagnini *et al.* 1995). Compared with these latter methods, noise-based techniques offer the following advantages (Satoh *et al.* 2001): (i) they can be easily applied in urban areas; (ii) they do not require artificial seismic sources; (iii) they allow greater depths to be reached (from tens of metres to hundreds of metres according to the array aperture and the noise-frequency content). Like all surface-wave methods, the geometry obtained is purely one-dimensional and is averaged within the array, implying that the technique is not suitable when strong lateral variations are present.

The derivation of 1D S-wave velocity profiles from surface-wave dispersion curves is a classical inversion problem in geophysics, usually solved using linearized methods (Nolet 1981; Tarantola 1987). In his computer program, Herrmann (1987) implemented a damped least-squares method that uses an analytical formulation for derivatives and a starting model. At each iteration, a better estimate of the model is calculated by linearizing the problem and the best solution, minimizing a misfit function, is obtained after a few iterations. If the misfit function exhibits several minima, which is usually the case when uncertainties on the dispersion curve are high, the derivative-based methods give a single optimal model which strongly depends upon the starting model. For active-source measurements, some authors proposed inverting the complete waveforms or particular wavefield transforms (Yoshizawa and Kennett 2002; Forbriger 2003) to get a better constraint on the solution. This is not applicable to ambient vibrations for which no information about the source properties is available. In geophysics, a new class of methods, based on uniform pseudo-random sampling of a parameter space (Monte-Carlo type), has emerged during the last 15 years: they are simulated annealing (Sen and Stoffa 1991), genetic algorithms (Lomax and Snieder 1994) and more recently the neighbourhood algorithm developed by Sambridge (1999). The objective of these algorithms is to investigate the whole parameter space, looking for good data-fitting sets of parameters.

In this work we have developed a new code using the neighbourhood algorithm for inverting dispersion curves. The software allows the inclusion

of *a priori* information on the different parameters and a major effort has been made to optimize the computation time at the different stages of inversion. In particular, we have re-implemented the dispersion-curve computation in C++ language using Dunkin's (1965) formalism. The code is tested on synthetic cases as well as on one real data set, combining ambient vibrations and active-source data. In both cases, the role of *a priori* information for constraining the solution is emphasized.

## INVERSION METHOD

### The neighbourhood algorithm

The neighbourhood algorithm is a stochastic direct-search method for finding models of acceptable data fit inside a multidimensional parameter space (Sambridge 1999). For surface-wave inversion, the main parameters are the S-wave velocity, the P-wave velocity, the density and the thickness of each layer. Like other direct-search methods, the neighbourhood algorithm generates pseudo-random samples (one sample is one set of parameters corresponding to one ground model) in the parameter space and the dispersion curves are computed (forward problem) for all these models. The *a priori* density of probability is set as uniform over the whole parameter space, the limits of which are defined by the *a priori* ranges of all chosen parameters. The comparison of the computation results with the measured dispersion curve provides one misfit value that indicates how far the generated model is from the true solution. The originality of the neighbourhood algorithm is to use previous samples for guiding the search for improved models. Once the data misfit function is known at all previous samples (forward computations), the neighbourhood algorithm provides a simple way of interpolating an irregular distribution of points, making use of Voronoi geometry to find and investigate the most promising parts of the parameter space. For satisfactory investigation of the parameter space, the number of dispersion-curve computations can be very high (a few thousands to a few tens of thousands). The computation time has then to be optimized in order to obtain an efficient dispersion-curve inversion tool. Compared to other stochastic search methods (genetic algorithm, simulating

annealing) the neighbourhood algorithm has fewer tuning parameters (only 2) and seems to achieve comparable or better results (Sambridge 1999). For poorly constrained parameters, the results may differ when starting two separate inversions. Hence, the robustness of the final results is generally checked by running the same inversion several times with different random seeds, an integer value that initializes the pseudo-random generator.

### Dispersion-curve computation (forward problem)

The theoretical elastic computation of the dispersion curve for a stack of horizontal and homogeneous layers has been studied by Thomson (1950) and Haskell (1953) and has been modified by Dunkin (1965) and Knopoff (1964). Only the Rayleigh phase velocities are considered here as the experimental dispersion curve is generally obtained from processing the vertical components of noise. As ambient vibrations may contain waves travelling in all directions, Love dispersion-curve computation requires the measurement of the two horizontal components and is much more difficult because records contain both Rayleigh and Love waves.

The dispersion-curve computation was carefully designed in order to reduce the computation time and to avoid misinterpretation of the different modes in particular cases. Together with a rewriting of Dunkin's (1965) formulae, we use an efficient root search, based on the Lagrange polynomial and constructed by iteration with Neville's method (Press *et al.* 1992). On a Pentium 1.7 GHz, the code that we have developed is able to compute the fundamental-mode dispersion curve of a single layer over a half-space with 30 samples in 850 microseconds (more than 1000 computations per second).

### Parametrization of the model

The parametrization of the model (i.e. choosing the number of layers to invert) is not a straightforward problem. On the one hand, to avoid ill-posed problems, the number of parameters should be as low as possible; on the other hand, the parametrized model should include all possible classes of 1D structure able to match the complexity of the measured dispersion curve. Probably the best compromise is to start with the simplest model and progressively add new layers if the data are not sufficiently matched (Scherbaum

*et al.* 2003). Obviously, the depth interval of the chosen parametrization should be consistent with the available frequency range of the dispersion curve. Estimations of the penetration depth based on one-third of the wavelength (Tokimatsu 1995) are useful but probably too restrictive. We prefer a trial-and-error approach, starting with large parameter ranges and focusing on the zones where the dispersion curve provides information.

Material density has a very small influence on dispersion curves and is generally fixed at a constant value in each layer, based on geotechnical information.  $V_p$  and  $V_s$  are linked together by Poisson's ratio that must lie between 0 and 0.5. We add an option to specify either the thickness or the depth of the bottom of each layer. This is a useful means of introducing some constraint on depth values (*a priori* information). The dispersion-curve computation is designed for layers with homogeneous properties. However, soft sediment compaction may induce a regular increase in  $V_p$  and  $V_s$  values as a function of depth (Bachrach *et al.* 2000). Scherbaum *et al.* (2003) assumed a power-law variation within the sedimentary column in the Lower Rhine Embayment (Germany) to reduce the number of parameters. The velocity (either  $V_p$  or  $V_s$ ) at depth  $z_i$  is given by

$$V_i = V_0 \left( (z_n + 1)^\alpha - (z_0 + 1)^\alpha + 1 \right), \quad (1)$$

where  $z_0$  is the top of the layer considered,  $V_0$  is the velocity at  $z_0$  and  $\alpha$  is the power-law exponent, generally varying between 0 and 1.

For dispersion-curve computations, the function  $V_i(z)$  (equation (1)) is discretized into a fixed number of homogeneous sub-layers. Their number is generally kept as low as possible (between 5 and 10) to avoid a drastic increase in the inversion computation time.

### Misfit definition

Once the theoretical dispersion curve has been calculated from the random parameters given by the neighbourhood algorithm, the misfit value must be evaluated. If the data curves are given with an uncertainty estimate, the misfit is given by ,

$$misfit = \sum_{i=0}^{n_i} \sqrt{\frac{(x_{di} - x_{ci})^2}{\alpha_i^2 n_F}} \quad (2)$$

where  $x_{di}$  is the velocity of the data curve at frequency  $f_i$ ,  $x_{ci}$  is the velocity of the calculated curve at frequency  $f_i$ ,  $\sigma_i$  is the uncertainty of the frequency samples considered and  $n_F$  is the number of frequency samples considered. If no uncertainty is provided,  $\sigma_i$  is replaced by  $x_{di}$  in equation (2).

### SYNTHETIC DATA

The code was tested on many synthetic cases, of which two are presented here. The first case is a homogeneous single layer ( $V_s = 500$  m/s) overlying a half-space. The  $V_p$  and  $V_s$  profiles are shown in Figs 1(a) and 1(b), while the dispersion curve for the fundamental mode and the first higher mode are shown in Fig. 1(c). The period range is between 0.04 s (25 Hz) and 0.3 s (3 Hz), covering the major part of the dispersion curve for the fundamental mode. As mentioned above, even for this simple model, the two modes are very close around 0.12 s, which is likely to create problems for computing the dispersion curve correctly (risk of jumping modes). The second model Figs 1(d) and 1(e) has two layers overlying a half-space, one of which exhibits a power-law variation of the velocity. The corresponding dispersion curves are plotted in Fig. 1(f).

Figures 1(g) and 1(h) show the fundamental Rayleigh ellipticity functions, i.e. the spectral ratio of the horizontal over the vertical eigenfunctions (Aki and Richards 2002) for the two models. In most situations, ellipticities are similar to the well-known  $H/V$  ratios (Fäh *et al.* 2001), which are increasingly used in earthquake engineering for determining site response properties. This  $H/V$  ratio frequently exhibits a dominant peak that experimentally was often found to coincide with the resonance frequency of the site (Tokimatsu 1995; Bard 1998). The theoretical relationship between these two parameters is still a matter of fundamental research (Malischewsky and Scherbaum 2004). On the other hand, Scherbaum *et al.* (2003) recently demonstrated that the soil structure acts as a high-pass filter on the vertical component of the motion, with a threshold frequency close to the frequency of the ellipticity peak. This means that, in practice, it will be very difficult to obtain the Rayleigh dispersion curve below the frequency of the peak. For the two cases, the ellipticity exhibits

a peak around 6 Hz Figs 1(g) and 1(h) and the dispersion curves will be cut below 6 Hz (0.16 s) in the following inversions. This is a severe limitation for constraining the model parameters at greater depths.

The dispersion curve of the fundamental mode for the first case white dots on Fig. 2(c) was inverted with eight distinct and independent runs, simultaneously started with different random seeds, and generating  $8 \times 5050$  models. The parameters are the  $V_p$  and  $V_s$  values within each layer and the thickness of the first layer. The  $V_p$  and  $V_s$  profiles resulting from the inversion, as well as the corresponding dispersion curves, are plotted in Figs 2(a) and 2(b), with a grey scale indicating the misfit value.  $V_s$  is better retrieved than  $V_p$  because the dispersion curve is more sensitive to  $V_s$  than  $V_p$ , especially for the bottom half-space where  $V_p$  has negligible influence. For the best models (lowest

misfit values), the dispersion-curve data are very well fitted and the five parameters are correctly retrieved, although the properties of the basement are less constrained. These greater uncertainties for the bottom layer are due to the lower limit imposed on the frequency range, usual in real data. Figures 2(d)–2(f) present the results for the same case but with an extension of the dispersion curve towards lower frequencies. We observe a far better retrieval of the bottom  $V_s$  whose relative uncertainty is similar to the superficial uncertainties (about 6% on a velocity scale). At 30 m, Fig. 2(b) shows an irregular velocity distribution with a trough at 2050 m/s. Additional computations (not shown here) show that the misfit increases around the best model ( $V_s = 1750$  m/s) is regular and that the irregularities are due to a lack of sampling within the parameter space. Numerical tests on various models demonstrate that inversion process works for a large range of  $V_s$  and  $V_p$  values (Poisson's ratio from 0 to 0.49).

The dispersion curve for the second case (three layers, Fig. 1) was also inverted with eight distinct and independent runs. The parameters are the bottom depth  $V_p$ ,  $V_s$ , and optionally the powerlaw exponent for each layer (common for  $V_p$  and  $V_s$ ),

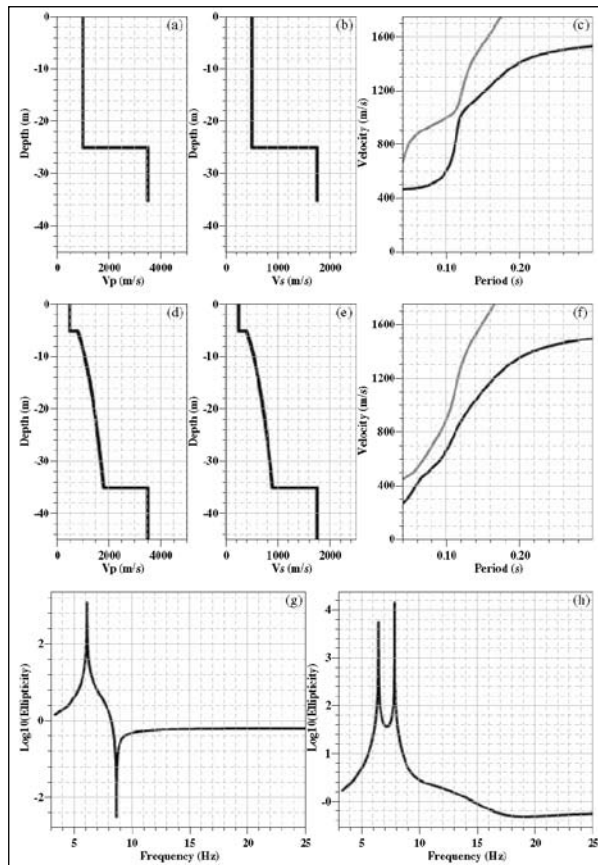


FIGURE 1. Synthetic data computed with the implemented forward algorithm for two cases: a single layer over a half-space and two layers over a half-space. (a)  $V_p$  and (b)  $V_s$  profiles for the single-layer model. (c) The corresponding dispersion curves for the fundamental mode (black line) and the first higher mode (grey line). (d)  $V_p$  and (e)  $V_s$  profiles for the two-layer model. (f) The corresponding dispersion curves for the fundamental mode (black line) and the first higher mode (grey line). (g) Ellipticity of the fundamental Rayleigh mode for the single layer and (h) for two layers.

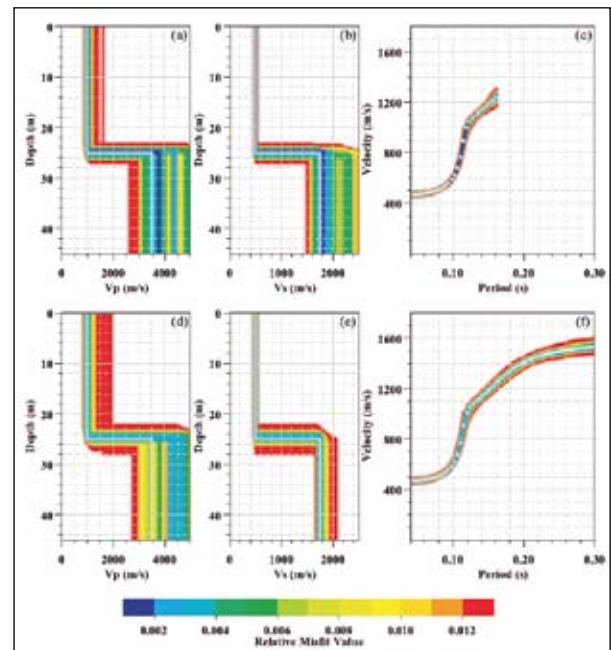


FIGURE 2. Inversion of the dispersion curve (between 0.04 s and 0.16 s) for two-layer synthetic data (fundamental-mode dispersion curve from Fig. 1f) with the neighbourhood algorithm. The white lines on (a) and (b) are the true velocity profiles; the resulting (a)  $V_p$  and (b)  $V_s$  profiles are obtained with free parameters. (c) Dispersion curves calculated for each individual model plotted on (a) and (b). The white dots refer to the original true dispersion curve. (d), (e) and (f).

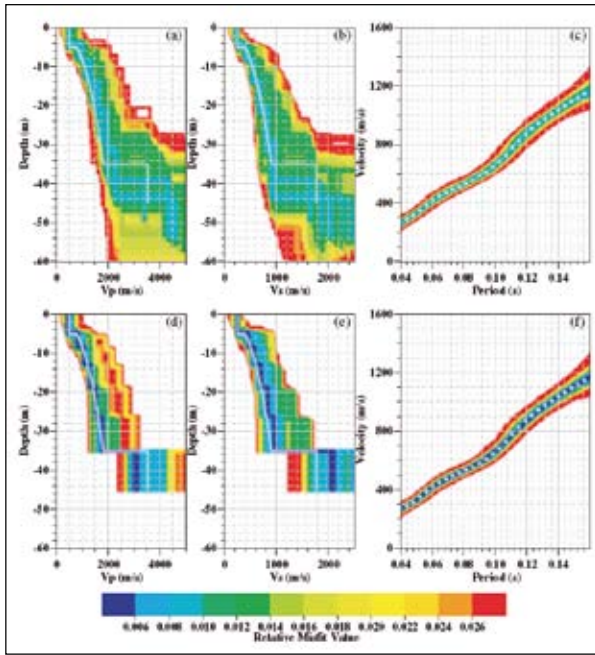


FIGURE 3. Inversion of the three-layer synthetic data (fundamental-mode dispersion curve from Fig. 1(f) with the neighbourhood algorithm. The white lines on plots (a), (b), (d) and (e) are the true velocity profiles; the resulting (a)  $V_p$  and (b)  $V_s$  profiles are obtained with all thicknesses, gradients and velocities left as free parameters. (c) Dispersion curves calculated for each individual model plotted on (a) and (b). The dots refer to the original true dispersion curve that the inversion tends to fit. The resulting (d)  $V_p$  and (e)  $V_s$  profiles are obtained when the depth of the top of the half-space is fixed at its true value (a priori information). (f) As (c) but for models from (d) and (e).

adding four new parameters compared to the preceding case. Due to the larger parameter space (dimension 9), the number of generated models is increased to  $8 \times 15050$ . The inversion results are shown in Figs 3–5. Figures 3(a)–3(c) show the  $V_p$  and  $V_s$  profiles, as well as the comparison between the calculated curves and the dispersion-curve data. A good fit is observed between the data and many of the models, indicating a problem of non-uniqueness of the inversion. The result is that, except for the first-layer characteristics, the other parameters are poorly constrained. In particular, for the best models, the depth of the deeper layer can range from 20 to 60 m, according to the velocity profile.

Figure 4(a) shows some 2D projections of the misfit function within the parameter space. Instead of a distinct minimum, the graphs show patches characterized by the same misfit value, with clear correlations between some parameters ( $V_s$  and thickness of the first layer, for instance). On the other hand, the misfit values obtained are real minima, as shown by the evolution of the misfit values as a function of the number of generated models (Fig. 5).

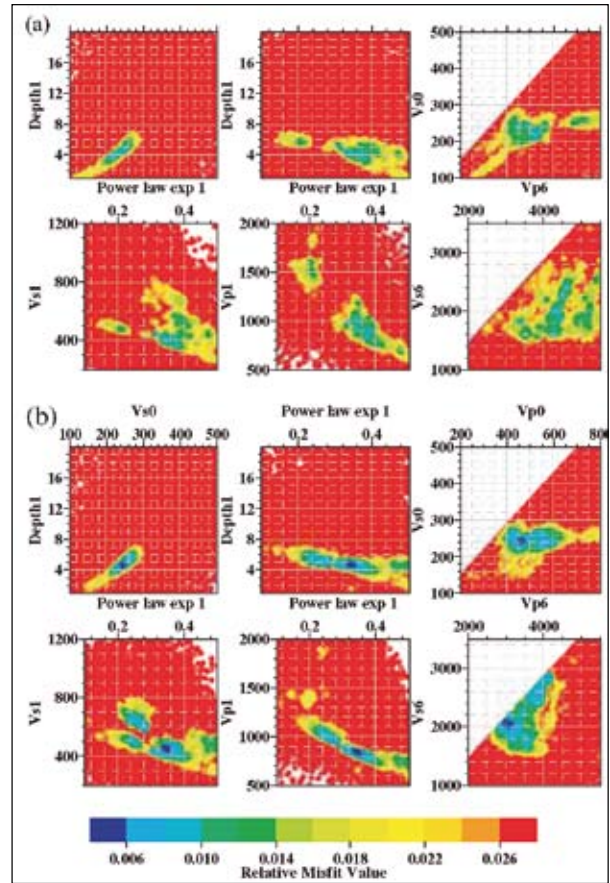


FIGURE 4. Misfit value as a function of two parameters for the two inversions of Fig. 3: (a) all free parameters; (b) a priori information about the depth of the top of the half-space. ‘Depth1’ denotes the depth of the top of the second layer, ‘Depth6’ denotes the top of the half-space, ‘Power law exp 1’ denotes the exponent  $\alpha$  in equation (1) for the second layer, ‘Vp0’ and ‘Vs0’ denote the velocities of the first layer, ‘Vp1’ and ‘Vs1’ denote the velocities of the second layer, and ‘Vp6’ and ‘Vs6’ denote the velocities of the half-space.

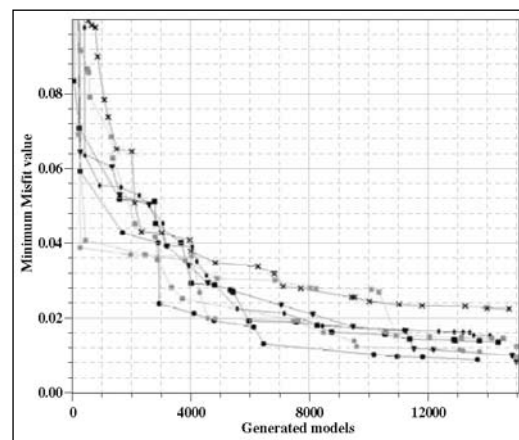


FIGURE 5. Convergence history of the inversions of Figs 3(a)–3(c) and 4(a). The parameter space representation has been constructed with eight independent runs (distinct random seeds).

Convergence was obtained for all the eight seeds, although the investigation paths through the parameter space were not the same. These results

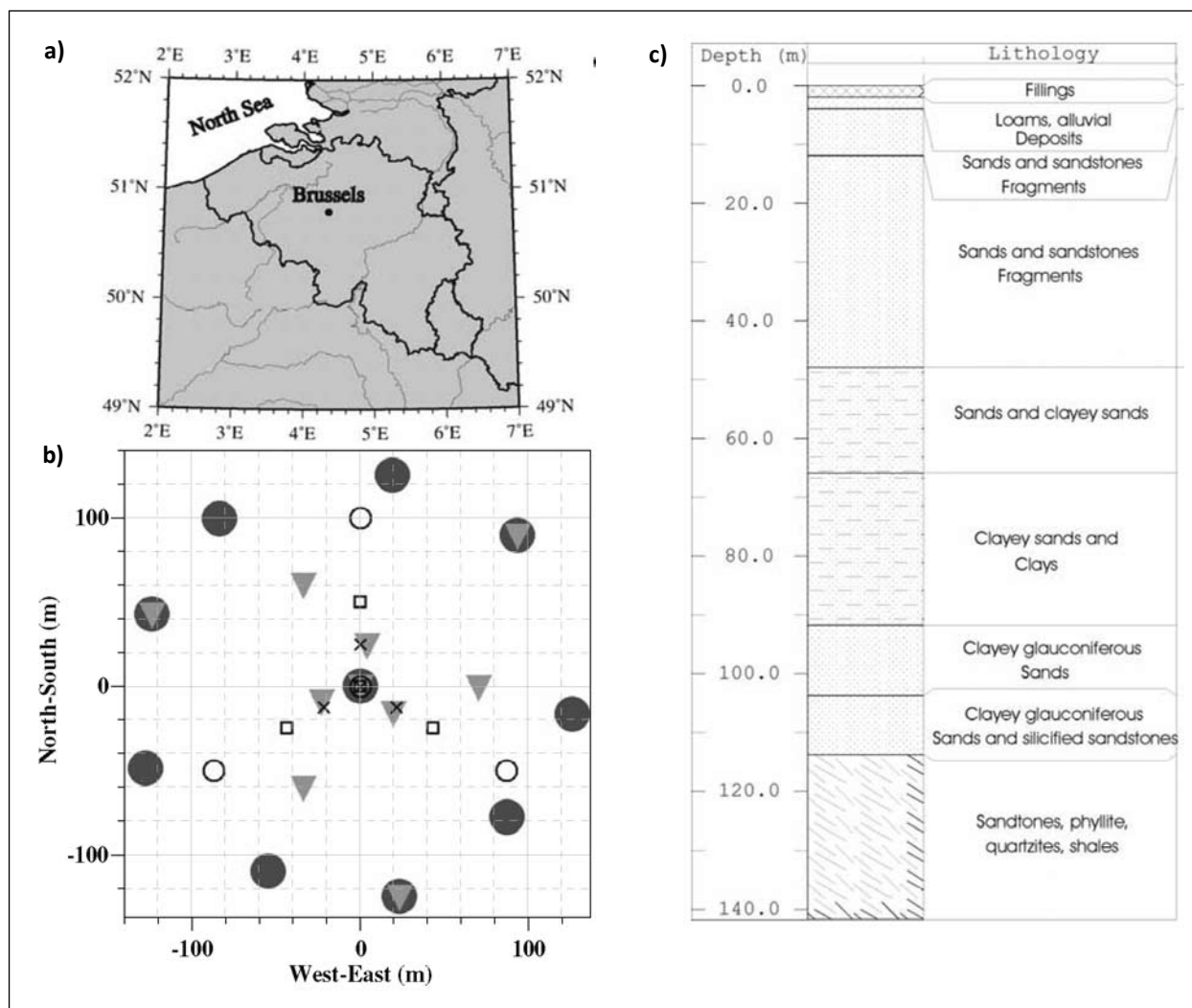


FIGURE 6. Location map for the real case, park of the Royal Observatory of Belgium in Uccle, Brussels (Belgium). (a) Regional map. (b) Site map including the location of all the seismic stations. Six non-simultaneous arrays were recorded: 'radius 130' (large dark-grey circles), 'radii 25-75-130' (large light-grey triangles), 'radius 100' (empty circles), 'radius 50' (empty squares) and 'radius 25' (crosses) (c) Borehole description.

show that the dispersion curve alone is unable to constrain the velocity profiles. The possibility of introducing *a priori* information was then tested by fixing the depth (35 m) of the bottom layer (given by borehole data, for instance). The inversion was re-run with the same characteristics and the results are plotted in Figs 3(d)–3(f) and 4(b). The reduction of the dimension of the parameter space and the introduction of reliable *a priori* information allow both the achievement of a better fit of the dispersion-curve data and good confinement of the velocity profiles in the two upper layers. Other tests (not shown here), performed with a weaker constraint on the depth of the bottom layer (depth range between 32 m and 38 m), led to similar results. Looking at Fig. 4(b), the introduction of the depth constraint permits a clear minimum to appear in the general shape of the misfit function. Also,

good-fitting models with  $V_p$  values exceeding 4000 m/s were removed by the *a priori* information.

## REAL DATA

The whole process of deriving velocity profiles from ambient vibration recordings was applied at a site located in the south of Brussels, Belgium, inside the park of the Royal Observatory of Belgium (50°47'56"N-04°21'33"E; Fig. 6(a)). The topography is almost flat and the soil structure mainly consists of a succession of sand and clayey-sand horizontal layers overlying a Palaeozoic bedrock (the so-called Brabant Massif). The same structure extends to the north-west towards the North Sea with a regular increase in the total thickness of the sediments corresponding to deepening of the Palaeozoic substratum (Nguyen

**TABLE 1**  
**DESCRIPTION OF NOISE ARRAYS RECORDED AT THE BRUSSELS SITE**

Array name	Number of stations	Geometry	Recorded time	Processed time
Radius 130	10	1 central station and 9 stations equally distributed on a circle (radius 130 m)	40 min	30 min
Radii 25-75-130	10	1 central station and 3 stations on each of the circles with radii 25, 75 and 130 m	1h 57 min	30 min
Radius 100	4	1 central station and 3 stations equally distributed on a circle (radius 100 m)	1h 01 min	25 min
Radius 50	4	1 central station and 3 stations equally distributed on a circle (radius 50 m)	59 min	30 min
Radius 25	4	1 central station and 3 equally distributed on a circle (radius 25 m)	1h 02 min	20 min

**TABLE 2**  
**MINIMUM AND MAXIMUM DISTANCES BETWEEN STATIONS FOR THE ARRAYS DESCRIBED IN TABLE 1. MINIMUM AND MAXIMUM FREQUENCIES OF THE VALID RANGE AS OBSERVED IN THE RESULTING DISPERSION CURVES. MINIMUM AND MAXIMUM FREQUENCIES CALCULATED FROM THE WAVELENGTH CRITERIA (EQUATION (3)) FOR A VELOCITY OF 400 M/S**

Array name	Minimum distance	Maximum distance	Min. obs. frequency	Max. obs. frequency	Min. theo. frequency	Max. theo. frequency
Radius 130	69 m	260 m	1.04 Hz.	2.78 Hz	0.51 Hz	2.90 Hz
Radii 25-75-130	25 m	223 m	1.19 Hz	3.13 Hz	0.90 Hz	8 Hz
Radius 100	100 m	173 m	1.04 Hz	2.38 Hz	0.77 Hz	2 Hz
Radius 50	50 m	87 m	1.32 Hz	3.13 Hz	1.53 Hz	4 Hz
Radius 25	25 m	43 m	2.27 Hz	4.16 Hz	3.10 Hz	8 Hz

*et al. 2004). al. 2004). A deep borehole, located in the park, provides a good estimate of the bedrock depth (115 m) and shows that the basal part of the soil column (between 70 and 115 m) is more clayey than the upper part Fig. 6(c).*

Figure 6(b) shows a site map with the five arrays of sensors (Lennartz, 5 s resonance period) that were measured and whose characteristics are detailed listed in Table 1. The performance of an array in estimating phase velocities depends on the ratio of the sensor spacing and the wavelength. Tokimatsu (1995) provided the following rules:

$$2D_{min} < \lambda_{min} < \lambda_{max} < 3D_{min} \quad (3)$$

where  $D_{min}$  and  $D_{max}$  are the minimum and maximum distances between stations and  $\lambda_{min}$  and  $\lambda_{max}$  are the minimum and maximum wavelengths. The relationship between  $D_{min}$  and  $\lambda_{min}$  is to avoid an aliasing effect while the other one is derived empirically and could partially result from the filtering effect of the site. The estimated valid frequency ranges for the five arrays are given in Table

2 and they are compared to the limits of equation (3). In addition to theoretical limits, we estimated the valid range of experimental dispersion curves by taking into account two criteria: (i) the phase velocity must be approximately the same for every non-overlapping time window; (ii) large (small) aperture arrays are more reliable at lower (higher) frequencies. From Table 2, the theoretical limits approximately follow the observed values but they cannot be taken routinely to define the valid range of an experimental dispersion curve.

For the five arrays, a frequency–wavenumber analysis was applied to the recordings. Figure 7 details intermediate results for array ‘radii 25-75-130’. For each frequency, the signals are divided into small time windows and the apparent velocity is estimated from each of them. From these statistical samples, histograms (one per period, normalized in the slowness domain) are drawn in Fig. 7(a). The median dispersion curve is plotted with its median deviation (calculated with the same statistical samples). Figures 7(b) and 7(c) show slowness maps stacked over all available time windows for two

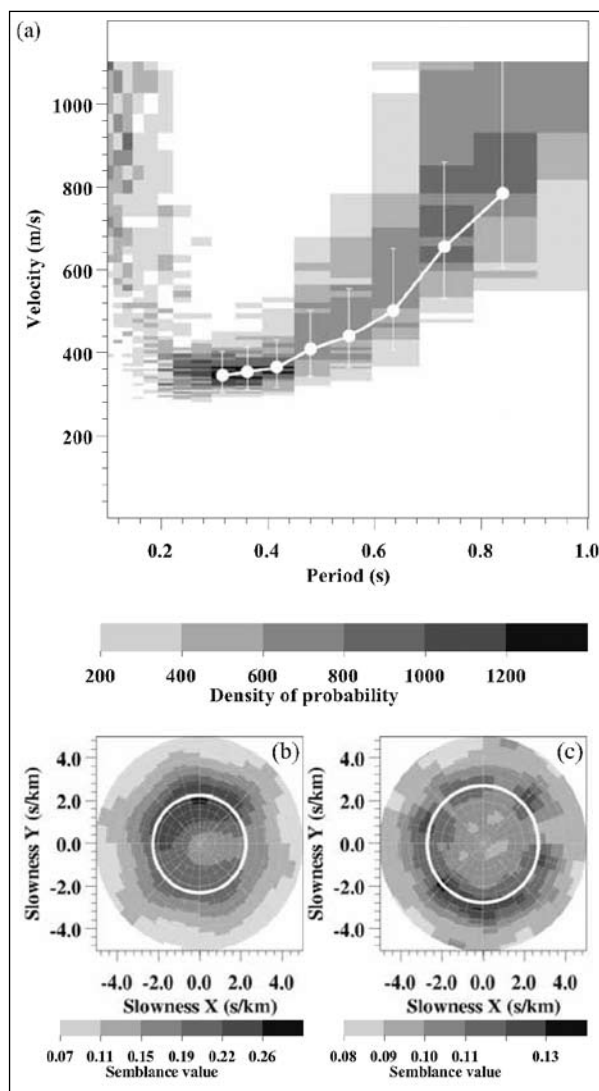


Figure 7. Dispersion curve from frequency-wavenumber processing for array radii 25-75-130f. (a) Histograms of observed apparent velocities for each period. They are normalized in the slowness domain (surface below curve = 1). The white curve indicates the median with the median deviation. (b) and (c).

separate frequencies (1.8 and 4.2 Hz). The maxima are located at the velocity of the more energetic wavetrain travelling across the array (white circles). When maps are stacked over long periods of time, they provide the average velocity and the azimuth distribution. The computed dispersion curves with their error bars are shown in Fig. 8 inside their validity ranges. The combination of five arrays leads to a good definition of the dispersion curve from 1.04 Hz to 4.17 Hz (or 0.24 to 0.96 s). The grey line with circles is the average of the five curves and was used for the inversion. Dispersion curve results from active-source experiments (explosions, 24 vertical receivers with a threshold frequency of 4.5 Hz, placed every 5 m) performed on the same site (Nguyen *et al.* 2004) are also shown in Fig. 8.

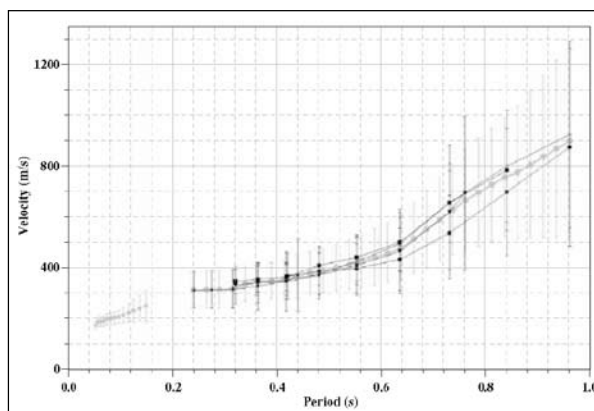


FIGURE 8. Dispersion curves calculated from recorded signals using the frequency-wavenumber technique: 'radius 130' (crosses), 'radii 25-75-130' (squares), 'radius 100' (black circles), 'radius 50' (triangles), 'radius 25' (diamonds). The grey dots constitute the average curve used for inversion. The grey squares were obtained with active-source experiments on the same site.

The frequency ranges are clearly distinct and the two methods seem to complement each other.

First, the dispersion curve obtained from ambient vibrations was inverted, using the neighbourhood algorithm. The measured phase-velocity dispersion curve Fig. 9(c) exhibits a regular shape and a two-layer model (one soil layer with a power-law variation of the velocity over the substratum) was used. The velocity profiles after inversion show that only the shear-wave velocity down to 80 m is well resolved, with an increase from 200 m/s at the surface to 500 m/s at 80 m. With regard to the substratum depth, the best models show a velocity increase between depths of 130 m and 150 m, although other models cannot be disregarded.  $V_p$  values in the first 40 m previously obtained during refraction lines (Nguyen *et al.* 2004) compare well with the dispersion-curve inversion results Fig. 9(a). In a second step, we introduced the substratum depth (115 m) given by the borehole as *a priori* information in the inversion process. As in the synthetic case, it results in a significant improvement in the constraint on the  $V_s$  profile, while a larger variation is still possible on  $V_p$  values. Even if the results were satisfactory, we also tested the inversion process with a three-layer structure, imposing the bedrock depth and the presence of a shallow velocity contrast between 10 m and 100 m. Inversion Figs 10(a)–10(c) led to similar velocity profiles, except at shallow depths where velocity values exhibited large variations. This lack of resolution results from the absence of data at short periods. In the preceding case Fig. 9(e), velocity values



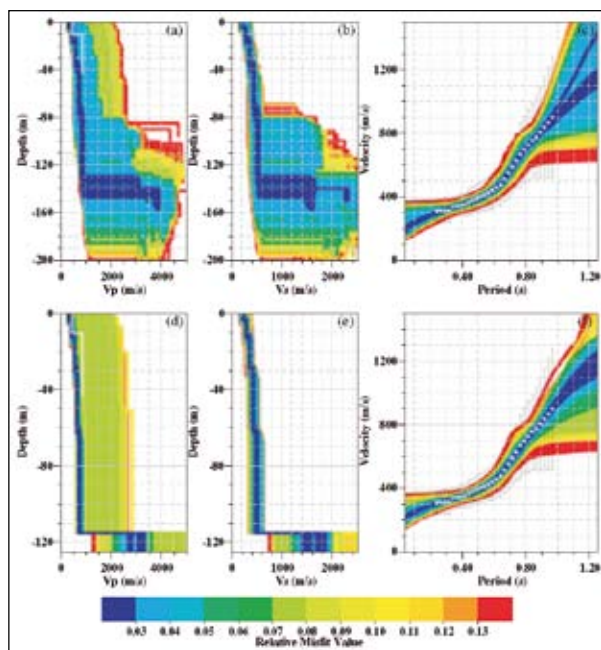


FIGURE 9. Inversion of the real case: (a), (b) and (c) without a priori information, and (d), (e) and (f) taking the depth measured in a deep borehole (around 115 m) as a constraint on the top of the half-space. (a) and (d) depict the  $V_p$  profiles, (b) and (e) the  $V_s$  profiles. For each case, (c) and (f) contain the dispersion curves for the fundamental Rayleigh mode corresponding to the models of (a) and (b), or (d) and (e), together with the experimental dispersion curve and its uncertainty (as Fig. 8). The white line represents the  $V_p$  profile measured by surface-refraction experiments (on (a) and (d)).

close to the surface were constrained by the power-law relationship over the whole layer. If we now combine the active-source measurements with the low-frequency information from the noise array Figs 10(d)–10(f), a relatively well-constrained  $V_s$  profile is found, very similar to the one shown in Fig. 9(e). The  $V_s$  profile shows a constant velocity (or even a slight inversion) in the soil column below 60 m, a limit which corresponds to the presence of clayey layers.

This application shows that ambient vibrations and active-source recordings complement one another in the derivation of Rayleigh phase-velocity dispersion curves over a large period range.

Finally, for each preceding inversion Figs 9(a), 9(b), 10(a), 10(b), the fundamental Rayleigh ellipticity curve was calculated for the model with the lowest misfit. The results are shown in Fig. 11, together with the measured  $H/V$  spectral ratios, which have a peak frequency at about 1 Hz, in accordance with the results from Nguyen *et al.* (2004). The inverted models all show a frequency peak around 1 Hz, in agreement with the available  $H/V$  data.

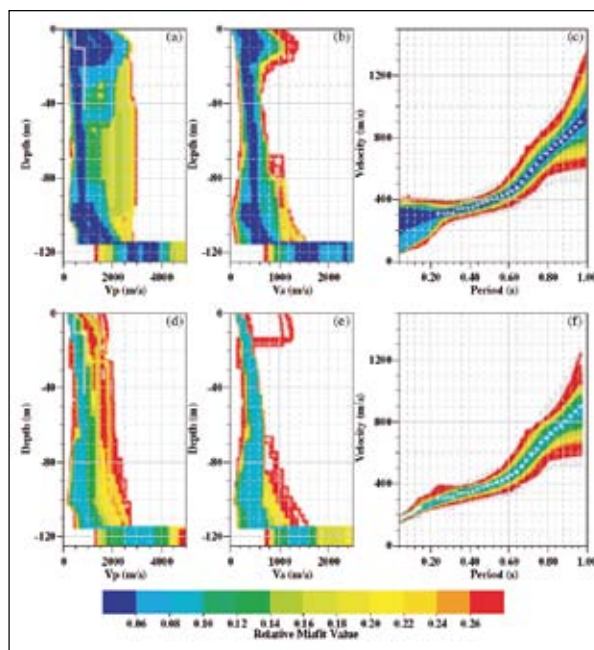


FIGURE 10. Inversion of the noise array data with and without active-source experiments: (a) and (d) the resulting  $V_p$  profiles; (b) and (e) the resulting  $V_s$  profiles; (c) and (f) the computed fundamental Rayleigh dispersion curves for models from (a), (d) and (b), (e). The dots on (c) and (f) represent the experimental curves. The white line represents the  $V_p$  profile measured by surface refraction experiments (on (a) and (d)).

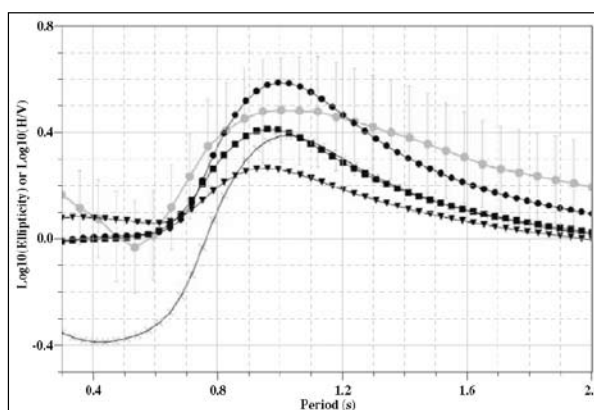


FIGURE 11 Comparison of the measured  $H/V$  spectral ratio (grey circles, including standard deviation) with the calculated ellipticities from the best model (with the lowest misfit) of Figs 9(a)–9(c) (black circle), Figs 9(d)–9(f) (black squares), 10(a)–10(c) (crosses) and Figs 10(d)–10(f) (black triangles).

## CONCLUSIONS

A new computer code based on the neighbourhood algorithm was developed for the inversion of Rayleigh dispersion curves, with the aim of integrating any data resulting from the processing of active-source experiments or ambient-noise recordings. Much effort was devoted to the optimization of the computation time, particularly in the calculation of the dispersion curve, as thousands of models have

to be computed. A flexible parametrization, including a velocity variation inside the layers, has contributed to the reduction in the number of parameters, allowing a better investigation of the parameter space with a direct-search algorithm such as the neighbourhood algorithm. The software was also designed to allow the introduction of *a priori* information.

The method was successfully tested on several synthetic data sets, two of which have been presented here. These tests showed the efficiency of the developed tool and the limits of the dispersion-curve inversion alone. The introduction of *a priori* information when available is of major importance in constraining the solution.

The real-case analysis also proved the applicability and the reliability of the method. The introduction of borehole data (depth of the substratum) also considerably improved the results.

Combining active and passive seismic sources proved to be very helpful at the Brussels site, allowing  $V_s$  values to be obtained down to the bedrock, located at more than 100 m depth. The inversion led to a velocity profile which agrees with the borehole log.

In the future, we plan to introduce into the inversion the peak frequencies of the ellipticity, which were found to constrain the layer thickness in the case of the single layer over a half-space (Scherbaum *et al.* 2003) and could supplement borehole data when they are not available.

## REFERENCES

- Aki K. 1957. Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors. *Bulletin of the Earthquake Research Institute* 35, 415–456.
- Aki K. and Richards P.G. 2002. *Quantitative Seismology*. 2nd ed, University Science Books.
- Asten M.W. 1978. Geological control on the three-component spectra of Rayleigh-wave microseism. *Bulletin of the Seismological Society of America* 68, 1623–1636.
- Asten M.W. and Henstridge J.D. 1984. Array estimators and use of micro seisms for reconnaissance of sedimentary basins. *Geophysics* 49, 1828–1837.
- Bachrach R., Dvorkin J. and Nur M.A. 2000. Seismic velocities and Poisson's ratio of shallow unconsolidated sands. *Geophysics* 65, 559–564.
- Bard P.-Y. 1998. Microtremor measurements: A tool for site effect estimation? In: *The Effect of Surface Geology on Seismic Motion* (eds Irikura, Kudo, Osaka and Sasatani). Balkema.
- Capon J. 1969. High-resolution frequency-wavenumber spectrum analysis. *Proceedings of the IEEE* 57, 1408–1418.
- Chouet B., De Luca G., Milana G., Dawson P., Martini M. and Scarpa R. 1998. Shallow velocity structure of Stromboli Volcano, Italy, derived from small-aperture array measurements of strombolian tremor. *Bulletin of the Seismological Society of America* 88, 653–666.
- Dunkin J.W. 1965. Computation of modal solutions in layered, elastic media at high frequencies. *Bulletin of the Seismological Society of America* 55, 335–358.
- Fäh D., Kind F. and Giardini D. 2001. A theoretical investigation of average H/V ratios, *Geophysical Journal International* 145, 535–549.
- Forbriger T. 2003. Inversion of shallow-seismic wavefields. Part 2: Inferring subsurface properties from wavefield transforms. *Geophysical Journal International* 153, 735–752.
- Haskell N.A. 1953. The dispersion of surface waves on a multi-layered medium. *Bulletin of the Seismological Society of America* 43, 17–34.
- Herrmann R.B. 1987. *Computer Programs in Seismology*. St Louis University.
- Horike M. 1985. Inversion of phase velocity of long-period microtremors to the S-wave-velocity structure down to the basement in urbanized areas. *Journal of Physics of the Earth* 33, 59–96.
- Ishida H., Nozawa T. and Niwa M. 1998. Estimation of deep surface structure based on phase velocities and spectral ratios of long-period microtremors. 2nd International Symposium on the Effect of Surface Geology on Seismic Motion, Yokohama, Japan, 2, pp. 697–704.
- Knopoff L. 1964. A matrix method for elastic wave problems. *Bulletin of the Seismological Society of America* 54, 431–438.
- Kvaerna T. and Ringdahl F. 1986. Stability of various fk-estimation techniques. In: *Semiannual Technical Summary*, 1 October 1985 – 31 March 1986, NORSAR Scientific Report, 1-86/87, Kjeller, Norway, pp. 29–40.
- Lacoss R.T., Kelly E.J. and Toksöz M.N. 1969. Estimation of seismic noise structure using arrays. *Geophysics* 34, 21–38.
- Lomax A.J. and Snieder R. 1994. Finding sets of

- acceptable solutions with a genetic algorithm with application to surface wave group dispersion in Europe. *Geophysical Research Letters* 21, 2617–2620.
- Malagnini L., Herrmann R.B., Biella G. and de Franco R. 1995. Rayleigh waves in Quaternary alluvium from explosive sources: determination of shear-wave velocity and Q structure. *Bulletin of the Seismological Society of America* 85, 900–922.
- Malischewsky P.G. and F. Scherbaum. 2004. Love's formula and H/Vratio (ellipticity) of Rayleigh waves, *Wave Motion* 40, 50–67
- Milana G., Barba S., Del Pezzo E. and Zambonelli E. 1996. Site response from ambient noise measurements: new perspectives from an array study in Central Italy. *Bulletin of the Seismological Society of America* 86, 320–328.
- Miyakoshi K., Kagawa T. and Kinoshita S. 1998. Estimation of geological structures under the Kobe area using the array recordings of microtremors. 2nd International Symposium on the Effect of Surface Geology on Seismic Motion, Yokohama, Japan, 2, pp. 691–696.
- Murphy J.R. and Shah H.K. 1988. An analysis of the effects of site geology on the characteristics of near-field Rayleigh waves. *Bulletin of the Seismological Society of America* 78, 64–82.
- Nguyen F., Van Rompaey G., Teerlynck H., van Camp M., Jongmans D. and Camelbeeck T. 2004. Use of microtremor measurement for assessing site effects in Northern Belgium interpretation of the observed intensity during the  $M_s = 5.0$  June 11 1938 earthquake. *Journal of Seismology* 8, 41–56.
- Nolet G. 1981. Linearized inversion of (teleseismic) data. In: *The Solution of the Inverse Problem in Geophysical Interpretation* (ed. R. Cassinis), pp. 9–37. Plenum Press. © 2004 European Association of Geoscientists & Engineers, *Near Surface Geophysics, 2004*, 2, 211–221
- Ohuri M., Nobata A. and Wakamatsu K. 2002. A comparison of ESAC and FK methods of estimating phase velocity using arbitrarily shaped microtremor arrays. *Bulletin of the Seismological Society of America* 92, 2323–2332.
- Ohrnberger M. 2001. *Continuous automatic classification of seismic signals of volcanic origin at Mt Merapi, Java, Indonesia*. Dissertation, University of Potsdam.
- Press W.H., Teukolsky S.A., Vetterling W.T. and Flannery B.P. 1992. *Numerical Recipes in Fortran*, 2nd edition. Cambridge University Press.
- Roberts J.C. and Asten M.W. 2004. Resolving a velocity inversion at the geotechnical scale using the microtremor (passive seismic) survey method. *Exploration Geophysics* 35, 14–18.
- Sambridge M. 1999. Geophysical inversion with a neighbourhood algorithm I. Searching a parameter space. *Geophysical Journal International* 103, 4839–4878.
- Satoh T., Kawase H. and Matsushima S.I. 2001. Differences between site characteristics obtained from microtremors, S-waves, P-waves, and codas. *Bulletin of the Seismological Society of America* 91, 313–334.
- Scherbaum F., Hinzen K.-G. and Ohrnberger M. 2003. Determination of shallow shear wave velocity profiles in the Cologne/Germany area using ambient vibrations. *Geophysical Journal International* 152, 597–612.
- Sen M.K. and Stoffa P.L. 1991. Nonlinear one-dimensional seismic waveform inversion using simulated annealing. *Geophysics* 56, 1624–1638.
- Stokoe K.H.II, Rix G.J. and Nazarian S. 1989. In situ seismic testing with surface waves. Proceedings of the XII International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, pp. 331–334.
- Tarantola A. 1987. *Inverse Problem Theory*. Elsevier Science Publishing Co.
- Thomson W.T. 1950. Transmission of elastic waves through a stratified solid medium. *Journal of Applied Physics* 21, 89–93.
- Tokimatsu K. 1995. Geotechnical site characterization using surface waves. In: *Earthquake Geotechnical Engineering* (ed. Ishihara), pp. 1333–1368. Balkema, Rotterdam.
- Yamamoto H. 1998. An experiment for estimating S-wave velocity structure from phase velocities of Love and Rayleigh waves in microtremors. 2nd International Symposium on the Effect of Surface Geology on Seismic Motion, Yokohama, Japan, 2, pp. 705–710.
- Yoshizawa K. and Kennett B.L.N. 2002. Non-linear waveform inversion for surface waves with a neighbourhood algorithm – application to multimode dispersion measurements. *Geophysical Journal International* 149, 118–133.

**SESIÓN**  
**GESTIÓN DE CRISIS**

---



# INTERVENCIONES DE RESCATE DURANTE LOS TERREMOTOS

Giuseppe Damiano  
Rapid LatinoAmerica – Perú

## RAPID-LATINOAMERICA

*Rescue And Preparedness In Disasters LatinoAmérica* es una asociación sin fines de lucro fundada en Perú a fin de responder a la creciente necesidad de preparación y respuesta frente a desastres en America Latina.



## FUNCIONES Y OBJETIVOS

Rapid-Latinoamerica ofrece programas de Reducción de Riesgo con capacidades teóricas y prácticas a comunidades y organizaciones públicas y privadas que ayudan a difundir las habilidades y actitudes necesarias para reducir directamente el riesgo y preservar vidas humanas en situaciones de desastres y emergencias con el objetivo de asegurar un desarrollo sostenible a largo plazo. También ha establecido un equipo voluntario de Búsqueda y Rescate para la respuesta nacional e internacional.

Los miembros del equipo de Búsqueda y Rescate de Rapid-Latinoamérica son voluntarios que brindan su tiempo y habilidades sin recibir pago alguno. Su principal objetivo es aliviar el sufrimiento y angustia de las poblaciones como resultado de un desastre de cualquier tipo. Se cuenta con personal perfectamente entrenado listo para actuar en cualquier emergencia.

Asimismo, la tarea de prevención de posibles desastres se desarrolla con capacitaciones a los pobladores de acuerdo a su situación y ubicación frente a los peligros naturales que les pudieran afectar.



En el caso de terremotos, en el 2007 llegaron a Pisco, zona afectada, para brindar su ayuda y experiencia en el rescate de sobrevivientes. En Perú se cuenta con el apoyo de importantes empresas mineras e industriales que hacen que Rapid-LA continúe con su tarea por el bien de la población peruana.



## OPERACIONES DE BUSQUEDA Y RESCATE

Las operaciones de búsqueda y rescate son aquellas destinadas, como su nombre lo dice, a la búsqueda de personas en catástrofes de diversos tipos; como toda operación debe cumplir ciertas reglas para el éxito de la misma. Además RAPID Latinoamérica realiza su capacitación e intervención utilizando los lineamientos de la agencia de Naciones Unidas (INSARAG). Aquí algunas normas de seguridad para este tipo de operaciones:

- No ingresar a las áreas de trabajo sin la autorización del líder del grupo
- En el área de trabajo siempre se deberá tener puesto, de manera correcta, TODO el equipo de protección personal exigido.
- Durante toda la operación debe existir un oficial de seguridad (identificado y visible) que velará por la seguridad de toda la operación. Es la máxima autoridad en lo que a seguridad se refiere, pudiendo detener parcial o totalmente la operación si fuera necesario
- Cada líder de grupo también velará por la seguridad de su personal y en caso de un acto o condi-

ción insegura y de cualquier emergencia, avisará inmediatamente al oficial de seguridad. Ellos dispondrán de un silbato para poder avisar con el código establecido en caso de alerta y alarma.

## EXPOSICION ITINERANTE

Buscando prevenir y sobre todo concientizar a la población en general frente a los desastres naturales, RAPID Latinoamérica viene preparando en coordinación con las autoridades Municipales de distintos distritos de Lima y provincias exposiciones itinerantes para informar al público sobre estas catástrofes, sus consecuencias y sobre todo su prevención en nuestras sociedades

Estas exposiciones se llevarán a cabo para difundir la cultura de la Reducción de Riesgo en la población en general y los jóvenes en especial. Durante la exhibición profesionales en la materia expondrán sus experiencias y, sobre todo, aportarán a las comunidades sus conocimientos y lo que se debe hacer para tomar medidas prácticas de reducción de riesgo en sus comunidades y para poder responder de forma adecuada ante eventuales desastres.

## EMERGENCIAS EN LA PAZ – BOLIVIA

Joaquín Aguilar  
Coordinador de la Oficialía Mayor Técnica  
Gobierno Municipal de La Paz – Bolivia

### UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La Paz – Bolivia se encuentra ubicada en las coordenadas:

16°30` latitud Sur  
68°08` de longitud Oeste.

Altitud: 3200 y 4000 m.s.n.m.  
Cabeceras de cuenca a 5090 m.s.n.m.



### HIDROGRAFÍA

La Paz es una Cuenca con Orientación Norte Sur y al Noreste limita con la Cordillera Real, y al Oeste con el Altiplano

### TOPOGRAFÍA

La ciudad de La Paz presenta variedad de pendientes, siendo estas clasificadas en tres grandes grupos:

- Pendientes moderadas: 3 a 5%
- Pendientes medianas: > a 10%
- Pendientes fuertes: > al 50%

### RELACIÓN URBANO RURAL DEL MUNICIPIO

La relación existente entre las dimensiones de la superficie en función del número de habitantes puede ser evaluado en la tabla siguiente:

<b>Superficie Urbana</b>	180 km <sup>2</sup>	8,95%
<b>Superficie Rural</b>	1.832 km <sup>2</sup>	91,05%
<b>Habitantes Urbano</b>	789.585 hab.	99,53%
<b>Habitantes Rural</b>	3.707 hab.	0,47%

Debe observarse que la mayor población de la ciudad de La Paz se encuentra concentrada en el área urbana, siendo prácticamente el 10% de la superficie rural.

### ANTECEDENTES DEL RIESGO EN LA CIUDAD DE LA PAZ

Entre los principales peligros que han generado diversos tipos de riesgo en La Paz se puede mencionar a los siguientes:



- Deslizamiento en Kanko Hanco (Llojeta) en 1548
- Deslizamiento de Tembladerani en 1873
- Torrente de barro en la Carretera Panamericana en 1947
- Deslizamiento de Cotahuma en 1996
- Inundación súbita en Achumani en 1997
- Deslizamiento de Kupini en 1999
- Desastre del 19 de febrero, 2002 provocado por una inundación súbita
- Emergencia del 21 de enero, 2003 provocada por una inundación súbita
- Deslizamiento Federico Ávila - 17 de febrero, 2003
- Deslizamiento de Llojeta - 4 de marzo, 2003
- Deslizamiento Las Lomas – 1 de agosto, 2003
- Inundación río Jillusaya en Achumani – enero, 2004
- Deslizamiento final calle Bolívar - 5 abril, 2004

## ACCIONES DE PREVENCIÓN DEL RIESGO

Las acciones realizadas por el Municipio de La Paz para evaluar y prever el riesgo se inician en la década de los años 50, siendo las resalantes las siguientes:

- 1952:** Primeros estudios geológicos sobre el valle de La Paz (E. Dobrovlny). Alerta sobre nuevos fenómenos de inestabilidad por invasión de laderas
- 1969:** Se crea el Departamento de Geotécnica y Mecánica de Suelos
- 1976-1977:** Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad de La Paz
- 1986 – 1991:** Control de Riesgos Naturales (Banco Mundial).
- 1986:** Se crea el Proyecto de Regulación de las Cuencas Irpavi y Achumani (GTZ)
- 1991:** Se crea la Dirección de Control y Manejo de Cuencas (DICOMAC)
- 2000 – 2001:** Se incorpora la Prevención de Riesgos en el Plan de Desarrollo Municipal de La Paz
- 2001:** Inversión de US\$ 4,9 Millones en prevención
- 2002:** Ocorre el Desastre del 19 de febrero del 2002. Se implementa el Programa de Gestión de Riesgos del Municipio de La Paz (PNUD). Se conforma el Comité Permanente de Manejo Desastres y Atención de Emergencias y el COE del Municipio de La Paz.
- 2002 – 2004:** Inversión en prevención estructural y anual de aprox. US\$ 20 Mill.
- 2005 – 2008:** Inversiones en prevención estructural y anual de aprox. US\$ 60 Mill.

**2006:** El Plan de Desarrollo Municipal 2006-2010 incorpora la Gestión del Riesgo como política municipal

**2007:** Se crea la Dirección de Gestión del Riesgo, dependiente de la Oficialía Mayor Técnica

## Ejes del Programa de Gobierno

Los ejes de gobierno establecidos por el Municipio de La Paz son:

- 1: Barrios de Verdad
- 2: Revitalización del Centro Urbano
- 3: La Paz Metropolitana, Moderna
- 4: La Paz competitiva
- 5: La Paz sostenible
- 6: La Paz equitativa e incluyente
- 7: La Paz participativa

De estos ejes, el más importante para la gestión del riesgo es el número 5.

## La Paz Sostenible

Para esta gestión se ha considerado tres componentes importantes:

### Gestión del Riesgo:

- Prevención Estructural
- Prevención Anual
- Atención de Emergencias
- Sistema de Alerta Temprana
- Programa de Drenaje Pluvial

### Gestión Ambiental:

- Estrategia de Adaptación al Cambio Climático

### Gestión Territorial:

- Incorporación de consideraciones relacionadas con la Gestión del Riesgo en el ordenamiento territorial

## RIESGOS SOCIONATURALES EN LA CIUDAD DE LA PAZ

Las experiencias sobre los tipos de riesgos presentados en La Paz, ha permitido realizar la siguiente clasificación:



## POLÍTICA DEL G.M.L.P. EN GESTION DEL RIESGO

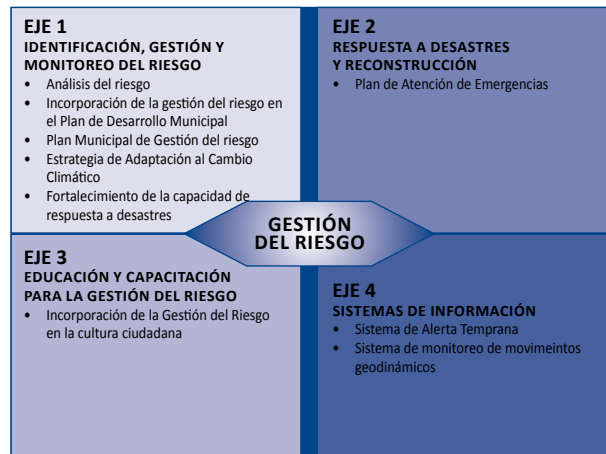
- Fortalecimiento institucional para la gestión del riesgo
- Ejecución de inversiones para la prevención y control de riesgos
- Relaciones con instituciones internacionales y nacionales de financiamiento y de asistencia técnica

## OBJETIVOS

- Reducción del riesgo y prevención de desastres
- Gestión integral de cuencas
- Adaptación al Cambio Climático
- Socialización de la prevención
- Respuesta efectiva en caso de emergencia
- Recuperación rápida y sostenible de áreas afectadas

## GESTION DEL RIESGO

Dentro del municipio de La Paz, los ejes de la gestión de riesgos pueden ser agrupados de la siguiente manera:



## INSTRUMENTOS PARA LA GESTION DEL RIESGO

### Planificación

- Plan de Desarrollo Municipal
- Plan de Gestión de Riesgos
- Plan Maestro de Drenaje Pluvial
- Estrategia de Adaptación al Cambio Climático

### Gestión territorial

- Ordenanzas Municipales (Franjas de Uso y Aires de Río)
- Reglamento de Uso de Suelo y Patrones de Asentamiento USPA 2007

- Incorporación de consideraciones del riesgo en las planimetrías
- Incorporación de consideraciones del riesgo en la valuación económica de predios

#### Intervención

- Programa de Mejoramiento de Barrios (Barrios de Verdad)
- Innovaciones tecnológicas en obras hidráulicas
- Programa Integral de Mantenimiento de Barrios
- Programa de Drenaje Pluvial

#### Educación

- Educación ambiental (Manejo de residuos sólidos, contaminación, riesgos, adaptación al Cambio Climático)
- Educación Ciudadana en Gestión del Riesgo

#### Atención de emergencias

- Sistema de Atención de Emergencias
- Centro de Operaciones de Emergencias

#### Información

- Mapa de Riesgos Socionaturales Específicos
- Sistema de Información Municipal
- Sistema de Alerta Temprana

## PLAN MUNICIPAL DE GESTION DEL RIESGO

### Plan de Prevención Estructural

Considera la ejecución de obras civiles que mitigan el riesgo disminuyendo la vulnerabilidad en un sector de extensión considerable como parte de una Política Institucional a través de la cual, en el tiempo se debe realizar mayores inversiones en prevención, para disminuir la necesidad de inversiones en la atención de emergencias.



### Plan de Prevención Anual

Consiste en la ejecución de un conjunto de acciones específicas de prevención que se realizan en el periodo comprendido entre la conclusión de una época de lluvias y el inicio de la siguiente. Corresponde a la evaluación post lluvias del estado de las cuencas y de sus obras de regulación, y concluye con la ejecución de medidas correctivas y de mantenimiento de la infraestructura urbana.



### Plan de Atención de Emergencias

Conjunto de acciones de respuesta inmediata y rehabilitación en caso de ocurrencia de eventos adversos durante la época de lluvias. Este plan se ajusta cada año y se presupuesta recursos económicos para la contratación de personal, pago de maquinaria y adquisición de insumos



## CENTRO DE OPERACIONES DE EMERGENCIAS

- Componente del Sistema Municipal
- Responsable de promover, planificar, y mantener la coordinación y operación conjunta entre diferentes niveles, jurisdicciones y funciones de instituciones involucradas en la RESPUESTA o ATENCION de Emergencias y Desastres.

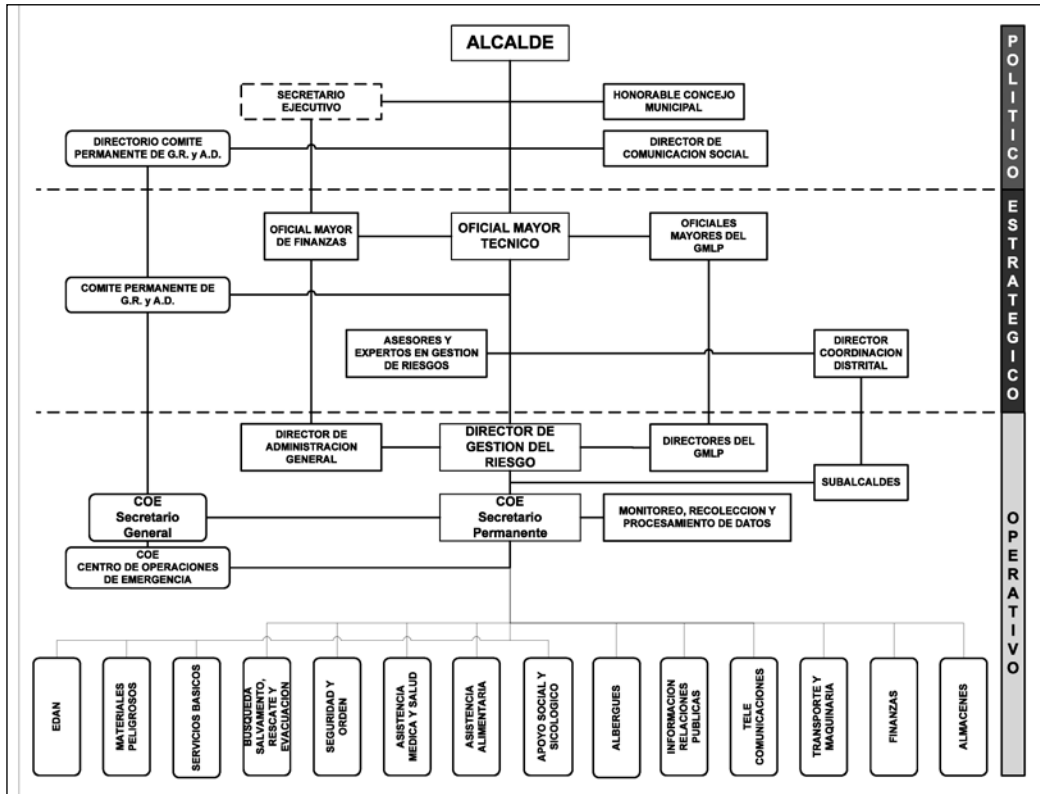
### Funciones

- Planificación política estratégica
- Coordinación interinstitucional

- Control de operaciones internas y externas
- Comunicación e informática
- Información pública y atención a visitantes
- Evaluación
- Ubicación e instalación
- Formación de recursos humanos especializados en BSR y asistencia humanitaria

### ESTRUCTURA DEL COE MUNICIPAL

La estructura del Comité de Emergencias de la Municipalidad de La Paz se encuentra estructurada de la siguiente manera:



### INSTITUCIONES QUE CONFORMAN LAS AREAS DEL COE



# LA COORDINACIÓN LOGÍSTICA EN LA GESTIÓN HUMANITARIA DE LOS DESASTRES POR FENÓMENOS NATURALES

Jérôme Chandes  
Presidente de la Ong  
Cooperación Logística Solidaria (CLS)

## I. LA COMPLEJIDAD DEL ÁMBITO HUMANITARIO

### I.1. El carácter excepcional del desastre producido por un sismo

El Peru es un país de alto riesgo ante amenazas por estar ubicado en el Circulo de Fuego del Pacifico y cerca a la zona intertropical. Los sismos más recientes, producidos en la zona sur del país, departamentos de Lima e Ica (2007) o Arequipa, Moquegua y Tacna (2001) han impactado considerablemente la salud, la seguridad, la educación y la organización social de las poblaciones damnificadas pero también, las infraestructuras y la economía local.

- **Imprevisibilidad y probabilidad del acontecimiento**
- **Alcance geográfico de la zona devastada**
- **Amplitud de la población afectada y damnificada**
- **Magnitud de los daños materiales**
  - *Número de casas destruidas o inhabitables*
  - *Red de agua, red eléctrica, red de telecomunicación*

- *Estructuras logísticas (aeropuertos, puertos, vías...) y medios de transporte*
- *Sectores : Salud, Educación ...*
- *Economía local*

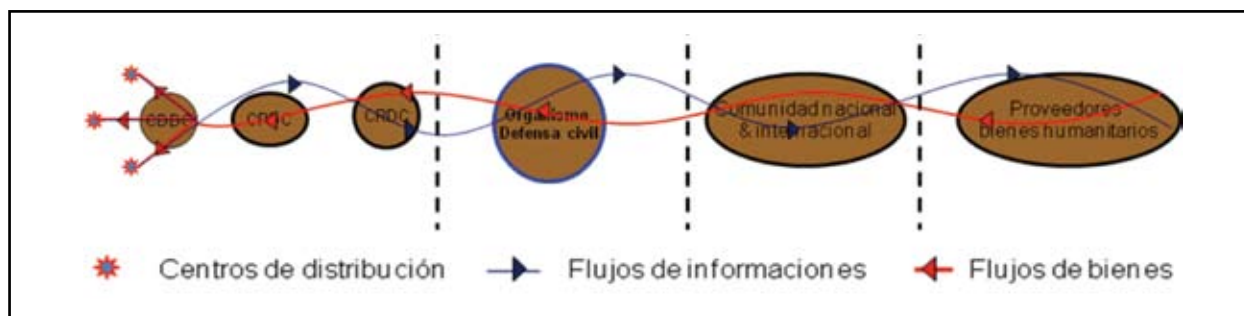
### I.2. Un Sistema Nacional de Defensa Civil desestabilizado y fracturado

Las deficiencias de una organización de Defensa Civil fracturada se manifiestan, al final, por la no satisfacción de las necesidades prioritarias de la población damnificada, generando malestar y protestas, robos y asaltos, pérdida de confianza y de credibilidad de parte de la comunidad humanitaria y diplomática extranjera.

- **La falta de preparación de las instituciones en la atención a la población**

La deficiencia de las intervenciones se debe principalmente a la falta de preparación que se manifiesta por:

- una presencia espontánea de actores en el campo de las operaciones,



- una insuficiente movilización de recursos humanos operativos, equipos logísticos y materiales apropiados, pero también de medios de transporte,
  - una demora en la evaluación de los daños y análisis de las necesidades, así como la dificultad de la circulación de los datos,
  - una escasez de insumos humanitarios en los stocks y en el mercado,
  - un desorden en la recepción y distribución de la ayuda, una ayuda que a veces es inadecuada respecto a las necesidades,
  - una débil metodología de administración de almacenes,
  - una falta de fiabilidad en el monitoreo de los flujos de donaciones.
- **Falta de coordinación entre los componentes del Sistema de Defensa Civil del país y de la Comunidad Humanitaria Internacional**

Las debilidades en la coordinación de los actores a todos los niveles provoca una intervención improvisada y segmentada de los participantes con competencias especializadas, lo que se traduce por:

- una concentración y una duplicidad de la ayuda en algunas zonas,
- muchas zonas marginalizadas que no reciben ayuda,
- una incoherencia global entre las acciones de emergencias y de desarrollo futuro,
- una congestión del flujo logístico en los diferentes puntos estratégicos de suministros (cuello de botella en los aeropuertos y/o puertos),
- inadecuación entre la oferta humanitaria y las necesidades.

## II. Las Estrategias Colectivas al Servicio de la Logística Humanitaria

### II.1. Los desafíos logísticos en la atención a la población afectada

Las intervenciones humanitarias tienen como fin mejorar la condición de la población que se encuentra en una situación de emergencia temporal o permanente, impidiendo a los afectados contar con el normal abastecimiento de servicios básicos

como: agua potable, salud, alimentación, vivienda, servicios sanitarios, educación y seguridad de sus miembros.

El objetivo de la logística es garantizar la mejor adecuación entre la oferta humanitaria y las necesidades de la población afectada, entregando:

- bienes apropiados,
- en buena condición,
- en cantidad suficiente,
- en todas las zonas afectadas,
- en cortos plazos.

Para alcanzar este objetivo, las organizaciones deben desarrollar estrategias colectivas cuando:

- las necesidades superan sus capacidades de acción (Ejercito/Defensa Civil/ONG/Empresas Privadas) y se solicitan intervenciones desde afuera del país para complementar la atención a la población,
- se solicitan servicios especializados (transportes aéreos,
- se necesita obtener bienes estratégicos con reactividad (proveedores extranjeros).

### II. 2. Desarrollo de las estrategias en las relaciones de cooperación logística

- **La cooperación horizontal : las estrategias gremiales**

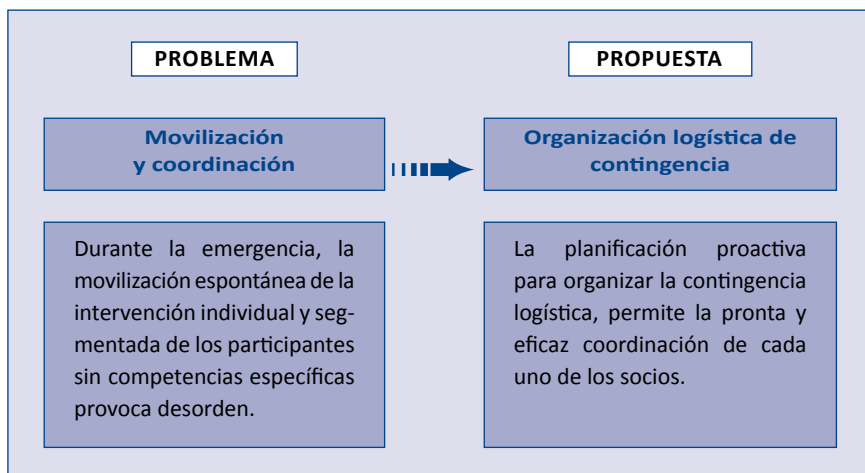
Una clasificación de los colectivos		
Formas de interdependencia		
Tipo de asociación	Gremial	Simbiótica
<i>Directa</i>	Confederada	Conjugada
<i>Indirecta</i>	Aglomerada	Orgánica

Ashley y Fombrun, 1983

- **Una “asociación gremial” directa en una relación horizontal.**

Confederación de empresas privadas e instituciones especializadas en el ámbito de la logística (prestadores logísticos, ejercito, etc.) que negocian y se unen temporalmente para movilizar y coordinar los recursos materiales y humanos con el objetivo de responder a los requerimientos logísticos ante un desastre de gran magnitud.

### PLAN DE CONTINGENCIA LOGÍSTICO Y PROTOCOLOS DE ACTUACIÓN



- **La cooperación vertical: las estrategias simbióticas**

<b>Una clasificación de los colectivos</b>
<b>Formas de interdependencia</b>

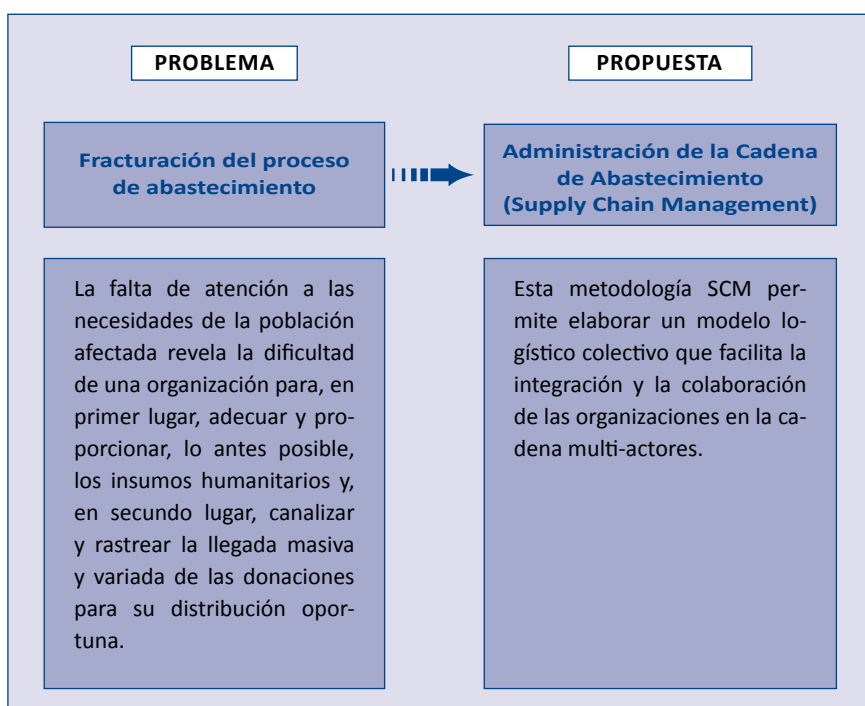
Tipo de asociación	<i>Gremial</i>	<i>Simbiótica</i>
<i>Directa</i>	Confederada	Conjugada
<i>Indirecta</i>	Aglomerada	Orgánica

Ashley y Fombrun, 1983

- **Una “asociación simbiótica” directa en una relación vertical**

Estructura de coalición “conjugada” que reúne, por un lado, a los proveedores de bienes humanitarios (fabricantes, donantes) y, por otro lado, a los actores de Defensa Civil, Ong, organizaciones internacionales y otros con el objetivo de responder de manera global e integrada a las necesidades de la población.

### ADMINISTRACIÓN DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO



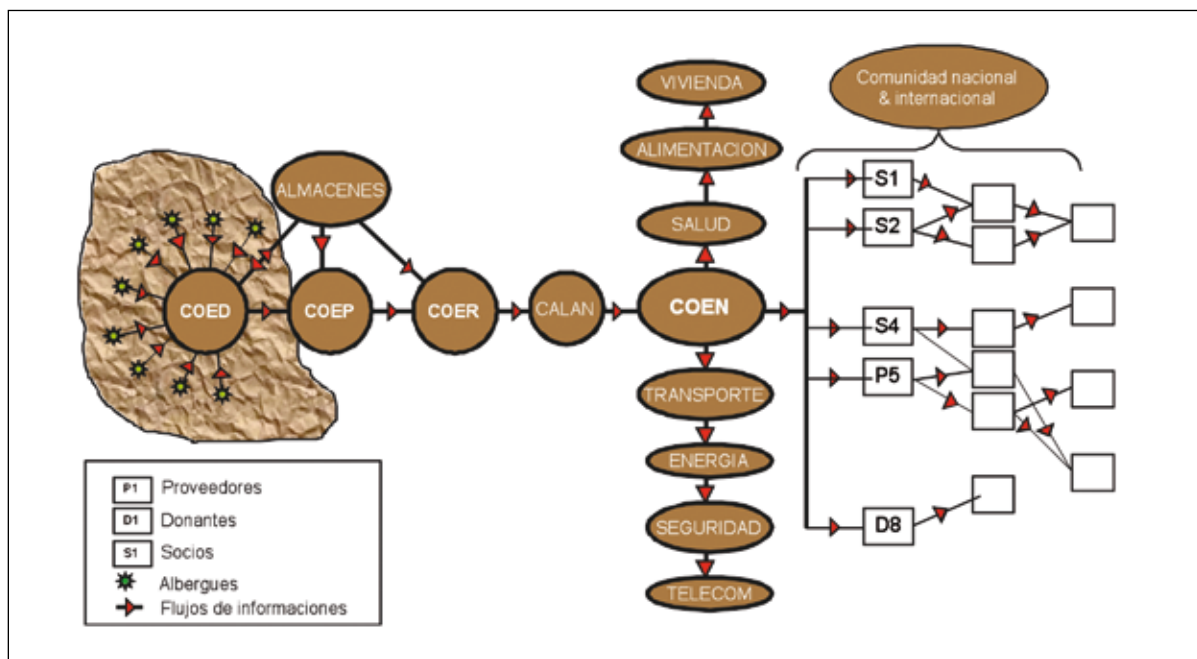
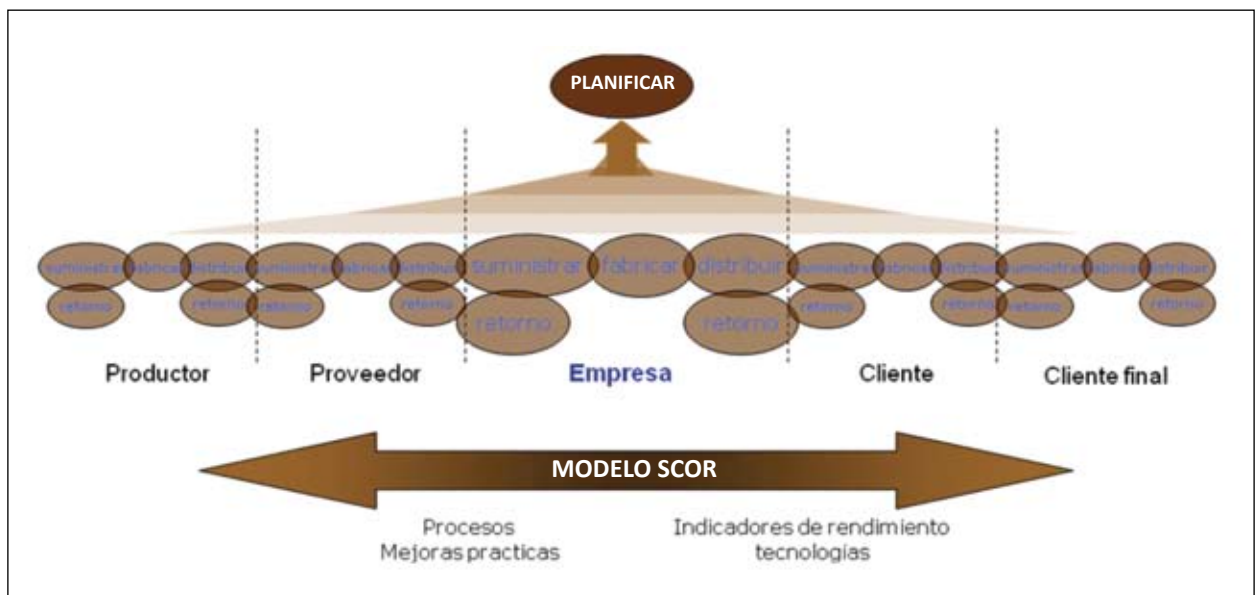
• **El modelo SCOR (Supply Chain Operations Reference Model)**

Esta metodología de diseño de los procesos de las operaciones logísticas permite elaborar un modelo logístico colectivo para organizar el sistema nacional de apoyo logístico.

En el cuadro de la simulación, la metodología SCOR concibe un modelo que permite manejar, de manera proactiva, el conjunto de la cadena logística con el fin de atender, de manera rápida y eficaz, el requerimiento:

- favorecer las relaciones de cooperación y coordinación entre los protagonistas,
- mejorar la flexibilidad, adaptabilidad, reactividad de cada protagonista,
- garantizar la satisfacción cualitativa y cuantitativa de las necesidades de la población afectada,
- permitir automáticamente el rastreo de los flujos de bienes y la transparencia de los flujos financieros,
- evaluar el rendimiento global de las acciones humanitarias.

**MODELO DE REFERENCIA DE UNA CADENA LOGÍSTICA OPERACIONAL**



P1	Proveedores
D1	Donantes
S1	Socios
★	Albergues
→	Flujos de informaciones



- **Un software logístico integrado**

Una *herramienta informática logística operativa integrada* permite, con fiabilidad, el manejo ágil y

flexible de la cadena de abastecimiento y facilita la coordinación de los componentes de la red humanitaria de la organización.



# VULNERABILIDAD URBANA Y MANEJO DE CRISIS. CASO DE QUITO

Robert D'Ercole  
IRD - Perú

Las crisis en medio urbano están vinculadas a eventos mayores que pueden ser causados por fenómenos destructores de origen natural o antrópico y que provocan la superación de las «capacidades de autorregulación interna que de ordinario garantizan la continuidad del funcionamiento urbano» (Dubois-Maury & Chaline, 2002). Son rupturas o muy fuertes perturbaciones, en dimensiones sociales, económicas, sanitarias o logísticas, que dibujan los contornos de las crisis que afectan a las sociedades y territorios. Pueden ser provocadas por un sismo o una epidemia, una inundación o un movimiento social, un deslizamiento de terreno o una situación política.

En un pasado todavía reciente, el manejo de las crisis era considerado como una preocupación dictada por la fuerza de los eventos, un último recurso por ausencia de prevención. Este manejo de crisis ocupa progresivamente un lugar importante en la gestión de los riesgos. El número cada vez más importante de investigadores que le prestan interés muestra que la crisis como objeto de investigación en el campo del riesgo ha crecido, cuando esta problemática era, hace algunos años, un asunto principalmente reservado a los especialistas de protección civil. Este interés reciente de los investigadores por el tema de las crisis ofrece la posibilidad de desenmarañar su complejidad, de reducir las incertidumbres y, a fin de cuentas, de disminuir la vulnerabilidad de los territorios y de su población.

En este contexto, la conferencia ha buscado mostrar la pertinencia científica de una investigación geográfica sobre el manejo de crisis. La producción

de conocimientos sobre las dimensiones espaciales de la gestión de crisis se justifica a la vez por las limitaciones constatadas de la acción preventiva, las debilidades actuales de los sistemas de manejo de crisis y por el desconocimiento de las dificultades espaciales, propias del manejo de crisis.

En la introducción, la conferencia retrata la evolución de la investigación en el campo de la crisis, la insuficiencia de las investigaciones geográficas (o “especializadas”) y el interés de los conocimientos que pueden aportar. En efecto, el manejo de crisis consiste, muy concretamente, en relacionar dos tipos de espacios que agrupan por un lado las necesidades de auxilio (los espacios vulnerables correspondientes a una demanda) y, por el otro, los recursos que permiten responder a estas necesidades en la emergencia (los espacios recursos correspondientes a una oferta). El análisis de las articulaciones de estos dos espacios que se puede analizar a partir de una base de datos georeferenciados y el uso de un sistema de información geográfica (SIG), permite evidenciar vulnerabilidades del sistema de manejo de crisis. En otras palabras, el análisis permite contestar a preguntas como las siguientes: ¿en qué medida, los espacios vulnerables tienen acceso a los recursos? ¿Cómo llegan los recursos a los espacios que los necesitan?

A partir de investigaciones realizadas en el Distrito Metropolitano de Quito se demuestra luego la pertinencia de tal enfoque considerando:

1. los recursos útiles y esenciales para el manejo de crisis: centros de decisión e intervención; abastecimiento de alimentos y de agua; apoyo a

la población (salud, albergues); abastecimiento energético (electricidad, combustibles); comunicaciones (movilidad, telecomunicaciones); elementos útiles para el período de recuperación.

2. la vulnerabilidad de la población (demográfica, socioeconómica, exposición a amenazas, poca accesibilidad, dificultad local de manejo de emergencias)
3. la vulnerabilidad del sistema de gestión de crisis observable a partir del análisis de la articulación espacial entre los espacios vulnerables y los recursos. Esto lleva a considerar la falta de accesibilidad de los recursos de crisis para la población que puede encontrarse aislada durante una emergencia. Otro ejemplo atañe a la relación entre la repartición de la población y los recursos médicos de emergencia. Los mapas realizados demuestran que la casi totalidad de la población vulnerable de Quito se encuentra a gran distancia de los principales centros de salud.

Estas investigaciones resultan muy útiles para evidenciar las vulnerabilidades del sistema de manejo de crisis. Además muestran claramente que existe una articulación muy clara entre actividades que casi siempre se consideran separadamente: el manejo de crisis y su preparación, la prevención y la planificación preventiva territorial.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- D'ERCOLE R. & METZGER P. (2004) – *Vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito* – Colección Quito Metropolitano, MDMQ-IRD, Quito, Ecuador, 496p
- D'ERCOLE R., HARDY S., ROBERT J., METZGER P. (editores) (2009) – *Vulnerabilidades urbanas en los países andinos* - Número temático del Boletín del Instituto Francés de Estudios Andinos, Tomo 38, No 3, 530 p.
- DUBOIS-MAURY J., CHALINE C. (2002) – *Les risques urbains* – Armand Colin, Paris, 208p.

# PRELIMINARY LOSS ESTIMATES FOR POSSIBLE FUTURE EARTHQUAKES NEAR LIMA, PERU

Max Wyss, Goran Trendafiloski, Philippe Rosset, and Ben Wyss  
World Agency of Planetary Monitoring and Earthquake Risk Prediction, Switzerland

## EXECUTIVE SUMMARY

*This is a preliminary report on estimates of human losses to be expected in central Peru, Lima, and Callao in case of a hypothetical earthquake of magnitude 8 in the immediate vicinity offshore of Lima. Preliminary, because the time, resources, and information available were not sufficient to address some of the important question in full.*

*We were able to calibrate the computer code and the data set on attenuation, building stock, and casualty matrix reasonably well, based on recent large Peruvian earthquakes for which macroseismic maps and number of casualties are available. Thus, we can be confident that our estimates of likely future losses are reasonable.*

*The basic source parameters for the expected earthquake were magnitude 8, at 33 km depth, and 15 km offshore of the beach of Lima. We varied these parameters to include magnitudes ranging from 6.5 to 8.5, and epicenters at distances up to 50 km from Lima.*

*We modeled the city of Lima as consisting of 43 districts in which the total population and that of school children is known. For each district, we calculated an average amplification factor for strong ground motion, based on a microzonation map with known soil conditions. The difference of building types in different districts could not be taken into account because the information arrived too late in our office. Thus, our calculations should be repeated, considering this information also.*

*The districts in which more than 1,000 fatalities and more than 10,000 injured are expected in the scenario with the basic earthquake source parameters include San Juan de Lurigancho, San Martín de Porres, Villa El Salvador, San Juan de Miraflores, Villa Maria del Triunfo, as well as Callao. The analysis accounting for differences in building stock in the different districts is presented in the new section ADDENDUM.*

*Assuming that 50% of the population is indoors at the time of the earthquake, the range of average total fatalities in our scenarios is 7,000 to 30,000, with 6,000 to 25,000 expected in Lima. For all of these estimates an uncertainty of about 40% has to be applied. For the worst case (occupancy rate 80% at night) the numbers of total fatalities would be about 10,000 to 50,000, with 9,000 to 40,000 in Lima.*

*The range of injured for an occupancy rate of 50% is estimated as 66,000 to 230,000, for Lima alone, with an additional 13,000 to 35,000 in Callao. The total number of injured in the worst case (occupancy rate 80%) is therefore estimated as 128,000 to 432,000. Given that this is an average number that has a 40% error margin, the number of injured could conceivably exceed half a million. The estimated number of fatalities represents 0.2 to 0.3% of the population of Lima metropolitana and the injuries 2 to 3% of the total.*

*The fatalities among the school population is expected to range from mean values of 2,000 to 13,000, for magnitude 8 or larger earthquakes, if all children are in school at the time. The number of injured pupils is expected to lie in the range of 7,000 to 36,000 under favorable assumptions about building properties of the schools. The question whether children are more or less likely to be killed by their schools or by their homes should be investigated. We need information about the construction quality of schools to answer this important question*

## INTRODUCTION

The purpose of this report is to estimate quantitatively the losses that Lima and communities around it may sustain in a future great earthquake. The reasoning behind our approach and the methods used are highly technical, but the results should be understandable to decision makers and managers without scientific or engineering background. Thus, we write this report in such a way that everyone can understand it, and we place the technical details into appendices.

How reliably can we estimate future human losses? The short answer is: Within a factor of two, if we are lucky, but more generally within an order of magnitude. This statement is based on the fact that we have predicted the number of fatalities correctly to within about a factor of two for the M7.5 Kashmir earthquakes of October 2005 in an article published before the earthquake in March 2005 [Wyss 2005; Wyss, 2006].

We have six years of experience in distributing loss estimates by email in near-real-time for any earthquake with  $M=6$  worldwide. This service is free and open to anyone. Our loss estimates reach the consumers in 30 minutes (median) after the earthquake in question [Wyss and Zibizbadze, 2009]. In 95% of the cases, we have been able to differentiate disastrous from inconsequential earthquakes, but we have also issued a few incorrect estimates for various reasons. Our struggle to reduce the influence of error sources will go on for decades to come.

The steps we follow in estimating losses due to earthquakes are the following. A) We need to know the epicenter (position) of the earthquake, its depth, and magnitude. B) From these parameters, we calculate the strength of shaking for every settlement in our database. The amplitudes of the waves diminish away from the epicenter. C) If possible, we would like to know the soil conditions in each settlement, because some soils amplify the strong ground motion. D) To calculate what damage the ground motion causes, we need to know the distribution of buildings into classes of resistance to ground shaking. E) For estimating the effect of collapsed and damaged buildings on people, we need to know the distribution of people into the building classes and the casualty matrix. This matrix is a table that gives the expected distribution of

building occupants into five categories: fatalities, injured (light, moderate, heavy), and unscathed, as a function of the damage state of the building type they are in. F) We also need to know the population for each settlement, in order to convert the percentages from the casualty matrix into numbers of people killed and injured in each settlement. G) Finally, it is also desirable to have accurate information about when people are in what buildings, as a function of the time of day, and as a function of the year's seasons.

The results of our calculations include the following. i) The expected percentage of buildings in each of five damage states in each settlement, ii) the mean damage state in each settlement, iii) the numbers of fatalities and injured, with error estimates, in each settlement. In the case of Lima, the 43 administrative districts are treated as separate settlements.

We are not calculating damage to individual structures. To do that, we would need blue prints of the structure in question and details on soil conditions. Our results are only meaningful, if they are derived by averaging over hundreds to thousands of buildings.

In the case of loss scenarios for Lima, the following approach is designed to minimize errors and maximize reliability. (1) We used macroseismic observations for past earthquakes in Peru, that is, recorded damage to buildings and felt reports, to determine the most appropriate law of attenuation of seismic waves for Peru. "Attenuation" refers to the decrease of seismic wave amplitudes as they travel away from the source. (2) For the distribution of buildings into types and their occupancy rate, we have accepted the values recently compiled by the World Housing Encyclopedia and the PAGER project of the USGS (United States Geological Survey). (3) We calibrated the casualty matrix, by reviewing the ten Peruvian earthquakes since 1966 for which both the numbers of fatalities and injured are known. In the end, we used the data since 1990 for actual adjustment of the casualty matrix.

As a result of these calibrations, our loss-estimating tool QLARM calculates human losses for past earthquakes correctly to within a factor of 2, on average. Based on this calibration effort, we believe it is reasonable to quantitatively estimate the losses that may be sustained in future earthquakes near Lima. The losses we calculate concern only those

due to structural failure as a result of strong ground motions. Casualties (fatalities plus injured) caused by tsunami and landslides are not included.

## BASIC SCENARIO

The seismic hazard, that is, the probability of strong ground motions to be expected in Lima, is not the subject of this report. For the basic scenario to be used in our loss calculations, the following assumed location, depth, magnitude, and the seismic load in Lima were designed by the Peruvian Civil Defense and NGO PREDES and conveyed to us by Mr. A. Chavez.

Fecha: ?  
 Hora: ?  
 Latitud Sur: Frente a Lima  
 Longitud Oeste: Frente a Lima  
 Profundidad: 33 km  
 Epicentro: Frente a Lima  
 Magnitud: 8.0 Mw  
 Intensidad máxima: VIII (MM)  
 Área de I<sub>max</sub>:  
 Lima Metropolitana-Localidad Chimbote  
 Aceleración Máxima promedio:  
 350-400 cm/seg<sup>2</sup>

The calculations we will present are for the earthquake to happen at 07:00. This is one of the most favorable times of day, because only 50% of the population is expected to be indoors. The worst-case scenarios would be calculated for nighttime, when 80% of the people can be assumed to be indoors. Thus, to estimate the worst casualty numbers the ones we present in the Tables should be multiplied by a factor of 1.6.

The expression “frente a Lima” in the specification of the earthquake parameters allows multiple interpretations. In a separate email, we were told the epicenter could be assumed to be located offshore at a distance of 15 km from the beach at Lima, and as maximum seismic load the value of intensity IX was mentioned. Thus, we have calculated several scenarios varying the position of strongest energy release in the hypothetical earthquake, resulting in a seismic load varying around the prescribed value of VIII, reaching IX as a maximum.

With scenario epicenters close to Lima, the assumed depth of the earthquake has a strong influence on the calculated losses. The depth of 33 km prescribed, together with the closeness to Lima (15 km minimum) suggests that the earthquake to be modeled is a rupture down-dip of the 1974 event that was shallower and farther out to sea [Langer and Spence, 1995]. The 1974 event was not very damaging because of its distance from Lima. We understand that the scenario selected is expecting earthquake energy release much closer to Lima than in 1974.

## METHOD

The steps we take in our method have been outlined in the introduction, in our publications [Trendafiloski *et al.*, 2009], and on our web site (<http://qlarm.ehz.ch/>). Thus, we will not repeat it here.

### City Model for Lima

For small settlements, it is sufficient to consider the entire population concentrated in a single point of latitude and longitude. To average the damage and the human losses over a small settlement is not just a simplification; it is also a necessity to get stable results. Some buildings may collapse because they are built on poor soils, while others of the same type remain standing and we do not have the detailed information that would be necessary to calculate losses for individual houses.

For large cities like Lima, located in seismogenic areas, we are building a world database of city models with sub-divisions. The details of our approach are described for the case of Bucharest by Trendafiloski *et al.* [2009].

For Lima we have the following information. For each of the 43 districts, we know the population and separately the school population. Unfortunately, data on differences in the distribution of buildings into types between districts reached us too late to be included in this report. However, we know the soil conditions from a microzonation map (Figure 2). We estimate the average soil condition for each district from this microzonation map.

Our model for Lima therefore consists of 43 “settlements” (districts). For each, the population



FIGURE 2: Microzonation of Lima metropolitana. The urban area is divided into colored zones corresponding to 4 types of soil; S1 for rock, S2 intermediate soils, S3 flexible soils and S4 for exceptional conditions (map from CISMID, 2004). Yellow line polygons mark the district boundaries (more in Appendix A). The center of energy release (epicenters) for the scenarios A through J are marked by stars.

and school children are assumed to be concentrated in its central point of latitude and longitude. At present, all districts are assumed to contain the same average building distribution for Lima, a feature we may refine in a future calculation.

The details of the model for Lima are explained in Appendices A and C.

## BUILDING PROPERTIES IN LIMA AND LATIN AMERICA

The city model for Lima contains the following parameters regarding the elements-at-risk. (1) Distribution of residential buildings into vulnerability classes. (2) Distribution of residential population into vulnerability classes. (3) Distribution of schools into vulnerability classes.

The distributions of population into vulnerability classes are assumed to be uniform for all city districts in Lima and are derived from the PAGER 2008 database and the World Housing Encyclopedia, 2007. The building distributions are retrieved from the population distributions using the parameter “peak average number of occupants per building type” given by the World Housing Encyclopedia, 2007. More information regarding dominant residential building types in Peru are given in Appendix C, along with details regarding the distributions of buildings

and population into vulnerability classes and the process of calibration.

We approximated the distribution of buildings and population for schools by placing 50% in class B and 50% in class C. The choice of this distribution is suggested by the performance of schools during the 2007, Pisco earthquake.

## CALIBRATION OF OUR LOSS ESTIMATING TOOL FOR PERU

We want to make sure that our computer tool, QLARM, and its data set calculates losses approximately correctly for past earthquakes, before we dare estimating losses for scenarios. The list of the 10 earthquakes since 1966 for which macroseismic maps, fatalities, and injured are known is shown in Table 1.

As a first step, we established which attenuation law governs the decrease of the strong shaking away from the source. In areas where we have no information regarding attenuation, we take a standard average formula. However, for Peru we gathered intensity values reported in past earthquakes and fit an attenuation equation to these values. Figure 3 shows an example of a match of the equation we have adapted to observed intensities. The details of our attenuation analysis are given in Appendix B.

In a second step, we might attempt to adjust the distribution of buildings into vulnerability classes. However, in the case of Lima, we did not receive the relevant data in time and therefore accept the distribution into classes and the collapse rates given by the World Housing Encyclopedia and the PAGER project. The details of the building properties we used are given in Appendix C.

In a third step, we adjust the casualty matrix to conditions in Peru. The logic we use is to calculate the approximate number of people exposed to intensities VI through the maximum intensity (usually VIII) for each intensity class, and then to adjust the casualty matrix such that the observed numbers of fatalities and injured are calculated. It is necessary to consider the population exposed to each intensity separately because the percentage of people killed depends on the intensity.

The source parameters of historic earthquakes are uncertain to varying degrees, but they are

Year	Month	Day	Lon	Lat	Dep	Mag	Observed		Calculated		Position
							Fat	Inj	Fat	Inj	
			W	S	km						
1940	5	24	77.79	11.47	30	8.0(8.2)	250				offshore
1966	10	17	78.63	10.74	30	7.6(8.1)	125	3000			offshore
1968	6	19	77.20	5.50	25	6.9	46	120			land
1970	5	31	78.87	9.36	25	7.8(7.9)	5137*				offshore
1974	10	3	77.66	12.39	30	7.6(8.1)	78	2414			offshore
1990	5	30	77.23	6.02	15	6.5(6.6)	135	800	83	611	land
1991	4	5	77.09	5.98	20	6.8	53	252	48	552	land
1996	2	21	79.57	9.62	25	6.6(7.5)	12	56	0	51	offshore
1996	11	12	75.68	14.99	25	7.3(7.8)	15	700	45	302	offshore
2001	6	23	73.64	16.26	25	8.2	139	2687	359	2097	coast
2007	8	15	76.51	13.32	41	7.5(8.0)	360**	1090	310	3070	offshore

TABLE 1: Peruvian earthquakes for which numbers of fatalities and injured have been reported, plus the 1940 event NW of Lima. The events from 1990 on have been used for calibration. The mean fatalities and injured calculated by QLARM have ± errors of approximately 40%. \*Without fatalities due to landslides. \*\*Without fatalities in the San Clemente church and the Embassy hotel.

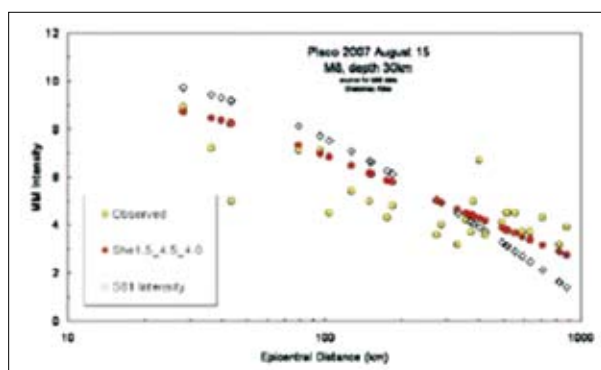


FIGURE 3: Comparison of observed and calculated intensities as a function of distance from the epicenter for the M8 earthquake of 2007 that occurred in the Lima/Pisco region. Yellow circles are the observed values, open circles are the values calculated by our theoretical relationship, and red diamonds represent a relationship proposed in the literature (details in Appendix B).

important in the calibration process. Especially important for our problem is the location of the greatest energy release, which is usually not at the epicenter, but farther down the rupture that can be 200 to 300 km long. The macroseismic maps that exist for the calibration earthquakes allowed us to select a point within the rupture area as the location of maximum energy release, based on the shape of the isoseismals (more in Appendix D).

The final results comparing observed and calculated casualties are given in Table 1 and Figure 4. Based on the comparison of observed with calculated casualties (fatalities plus injured), we conclude that our earthquake loss estimating tool

QLARM estimates losses correctly to within about a factor of 2 on average, if the parameters of the earthquakes are well known.

In addition, we considered the effects of the great earthquake of 1940 because it was the historic earthquake closest to Lima. The details of losses in this case and in that of the greatest known earthquake disaster in Peru, the Chimbote 1970 earthquake, are discussed in Appendix D.

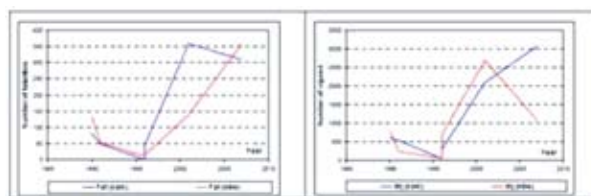


Figure 4: Comparison of observed with theoretically calculated casualties for recent Peruvian earthquakes, (A) fatalities, (B) injured. Parameters of these earthquakes are listed in Table 1.

### ESTIMATED LOSSES IN FUTURE GREAT EARTHQUAKES OFFSHORE NEAR LIMA

As requested by the Peruvian experts, we have estimated human losses for hypothetical earthquakes with magnitude 8 off the beach of Lima. In one communication, the distance from the beach was specified as 15 km. We assumed this would be the closest plausible distance and have varied it up to 50 km to estimate the influence on loss estimates by the assumed distance of the energy release.



Scen	Lon W	Lat S	Depth	Mag	Dist	Intens	Fat (Lima)	Inj (Lima)	%Fat (Lim)	%Inj (Lim)
A	77.2	12.18	33	8	15	8.6	20200	196600	0.26	2.5
B	77.24	12.2	33	8	20	8.5	17000	169200	0.22	2.1
C	77.27	12.24	30	8	25	8.4	15700	156900	0.20	2.0
D	77.31	12.28	25	8	32	8.4	14100	142800	0.18	1.8
E	77.36	12.33	25	8	40	8.2	9800	103100	0.12	1.3
F	77.43	12.39	25	8	50	7.9	6000	66100	0.08	0.8
G	77.36	12.33	30	8.5	40	8.8	24400	230200	0.31	2.9

TABLE 2: Estimated human losses in Lima in case of hypothetical great earthquakes offshore at distances between 15 and 50 km from Lima, causing macroseismic intensities between about 8 and 9. Uncertainties of the averages shown are approximately ± 40%. The expected numbers of injured (Inj) are about 10 times those of fatalities (Fat). The last two columns give casualties in percent of the total population.

We applied the specified depth of 33 km to the hypothetical sources within 20 km of Lima and selected shallower values the farther the source was from Lima, up to a minimum of 25 km (Table 2). This intends to model the shoaling of the megathrust toward the west [e.g. Langer and Spence, 1995]. For estimating losses in case of an approximate maximum load of I=9 (requested in one of the communications to us from Lima) we used an M8.5 source at 30 km depth and 40 km distance (scenario G, Table 1, Figure 5).

In addition to losses in Lima, we estimated losses for all settlements in our database. The number of settlements judged to be affected by intensities larger than 5 was typically 600. The lists giving casualty numbers and damage rates in these settlements are not included in the appendices, but can be obtained on request. The sum of the total human losses in all settlements is given in Table 3 for the various scenarios, along with the losses expected in Callao.

For the 43 districts of Lima and Callao, the expected human losses are listed in Appendix F for all the scenarios, along with mean damage grade and intensity of shaking.

### ESTIMATED LOSSES FOR MODERATE MAGNITUDE EARTHQUAKES OFF LIMA

Given that the probability of an earthquake in the range of magnitude 6.5 to 7.5 near Lima is much



FIGURE 5: Mean damage grade expected in settlements of central Peru in case of an M8.5 earthquake at 30 km depth 40 km offshore Lima. The star marks the epicenter. The sizes of dots are proportional to the population. Orange signifies a damage grade of 3 on a scale of 5, meaning significant damage. Green marks light and blue minor damage, respectively.

greater than the occurrence of an M8, we calculated three scenarios for events smaller than the basic scenario magnitude of 8. We placed these smaller sources at 15 km epicentral distance from Lima and 33 km depth (Table 4).

The total numbers of casualties and those for Callao are given in Table 5 for the scenarios with smaller magnitudes.

Scen	Lon W	Lat S	Depth	Mag	Dist	Intens	Fat(tot)	Inj(tot)	Fat(Callao)	Inj(Callao)
A	77.2	12.18	33	8	15	8.6	24100	230300	3500	31600
B	77.24	12.2	33	8	20	8.5	20500	200100	3200	29000
C	77.27	12.24	30	8	25	8.4	18900	186600	3000	28000
D	77.31	12.28	25	8	32	8.4	17200	171100	2900	26800
E	77.36	12.33	25	8	40	8.2	11900	124300	2000	19900
F	77.43	12.39	25	8	50	7.9	7300	80300	1300	13200
G	77.36	12.33	30	8.5	40	8.8	29300	270100	4100	35300

TABLE 3: Estimated human losses in Callao on the total losses (including Lima, Callao, and smaller communities) in case of hypothetical great earthquakes offshore at distances between 15 and 50 km from Lima, causing macroseismic intensities between about 8 and 9. Uncertainties of the given averages are approximately ± 40%. The expected numbers of injured (Inj) are about 10 times those of fatalities (Fat).

Scen	Lon W	Lat S	Dep	M	Dis	Intens	Fat(Lima)	Inj(Lima)	%Fat(Lim)	%Inj(Lim)
H	77.2	12.18	33	7.5	15	7.9	8000	87000	1400	14450
I	77.2	12.18	33	7.0	15	7.1	1600	21800	400	4500
J	77.2	12.18	33	6.5	15	6.3	160	4800	40	900

TABLE 4: Estimated human losses in Lima in case of hypothetical earthquakes with magnitudes between 6.5 and 7.5 offshore at a distance of 15 km from Lima, causing macroseismic intensities between about 6 and 8. Uncertainties of the given averages are approximately ± 40%.

Scen	Lon W	Lat S	Dep	Mag	Dist	Intens	Fat(tot)	Inj(tot)	Fat(Callao)	Inj(Callao)
H	77.2	12.18	33	7.5	15	7.9	8000	87000	1400	14450
I	77.2	12.18	33	7.0	15	7.1	1600	21800	400	4500
J	77.2	12.18	33	6.5	15	6.3	160	4800	40	900

TABLE 5: Estimated total human losses in central Peru and in Callao in case of hypothetical earthquakes with magnitudes between 6.5 and 7.5 offshore at a distance of 15 km from Lima, causing macroseismic intensities between about 6 and 8. Uncertainties of the given averages are approximately ± 40%.

## LOSSES AMONG THE SCHOOL POPULATION

The children being a nation’s future, it is especially important to protect them. With a total school population over one million in Lima, the 43 districts average about 20,000 pupils. We calculated the losses expected separately for all the districts and all the scenarios. Figure 6 shows the damage grade expected for scenario A, Table 6 lists the summaries for the scenarios discussed in this report, and Appendix E contains the details of each scenario.

All children are assumed to be in school at the time of the earthquake, in these calculations. Therefore, the numbers shown in Table 6 are for the worst case and they are not a subset of the casualties calculated for the over-all population of Lima in Tables 2 to 5. These latter scenarios are calculated for a time when children are not in school.



FIGURE 6: Mean damage grade for schools in Lima’s districts, assuming half the schools are in building class B and half in C, in case of the scenario A SH (Table 6). All children are assumed to be in class at the time of the earthquake.

Scenario	Long	Lat	Depth	Magnitude	Distance	Fatalities	Injured	Fat(%)	Inj(%)
A S	77.2	12.18	33	8	15	10400	28500	0.944	2.579
B S	77.24	12.2	33	8	20	8300	23200	0.755	2.098
C S	77.27	12.24	30	8	25	7500	21000	0.677	1.898
D S	77.31	12.28	25	8	32	6500	18500	0.591	1.675
E S	77.36	12.33	25	8	40	4000	12000	0.366	1.090
F S	77.43	12.39	25	8	50	2100	6900	0.191	0.624
G S	77.36	12.33	30	8.5	40	13400	36000	1.212	3.261
H S	77.2	12.18	33	7.5	15	2300	7500	0.677	0.210
I S	77.2	12.18	33	7	15	300	1600	0.027	0.146
J S	77.2	12.18	33	6.5	15	20	400	0.002	0.037

TABLE 6: Total number of fatalities and injured expected among the school population of Lima in case of the scenarios studied. All children are assumed to be in school at the time of the earthquake. The earthquake parameters are the same as those defined in Tables 2 and 4. Uncertainties of the given averages are approximately  $\pm 40\%$ .

## HUMAN LOSSES BY DISTRICT OF LIMA

The human losses depend on the size of the population and on the quality of the building stock. In this report, we have taken into account only the number of people in the different districts. The quality of the building stock should also be considered in an expansion of this preliminary report. The results we offer take into account the differing distances and soil conditions. As example, we show the ranking of districts as a function of injured in Table 7, including Callao.

Due to its proximity to the source, the large population, and poor soil conditions, Callao ranks highest in expected intensity and average number of injured. The districts in which more than 1,000 fatalities and more than 10,000 injured are expected include San Juan de Lurigancho, San Martín de Porres, Villa El Salvador, San Juan de Miraflores, Villa Maria del Triunfo. The next group of districts with more than 400 fatalities and more than 4,000 injured expected include: Comas, Ate Vitarte, Chorrillos, Los Olivos, Lima center, Santiago de Surco, La Victoria, Puente Piedra, Independencia, Rimac, Carabayllo, San Miguel, and El Agustino.

The estimated losses for all districts and scenarios are listed in Appendix F. Table 7 (next page): The number of fatalities and injured are listed for the districts of Lima and for Callao, sorted by injured people, with the largest number of injured at the top.

## DISCUSSION

Peru had enough historic earthquakes for which intensities, fatalities and injured were reported, such that we were able to calibrate our computer tool to estimate human losses. Using these observations, we made small adjustments to the building distribution into vulnerability classes and to the casualty matrix. Therefore, we feel confident that the results we present here are reasonably reliable, within the large margins of uncertainties that are associated with a scenario exercise like this.

The distribution of casualties calculated in settlements throughout central Peru is typically 80% in Lima, 18% in Callao, and the rest distributed in other locations. It is likely that this result does not approximate well a real case because we placed the center of energy release near Lima. In a real M8 earthquake, the energy release will be distributed along a larger segment up and down the coast. Therefore, it is likely that other coastal towns and cities may suffer more significantly than estimated here in a future earthquake, although Lima and Callao are of major concern in any case.

The range of average total fatalities in our scenarios is about 7,000 to 30,000, with 6,000 to 25,000 expected in Lima (Table 2). For all of these estimates, an uncertainty of about 40% has to be applied, so the range is even larger. For the worst case (occupancy rate 80% at night instead of the 50% assumed) the numbers of total fatalities would be about 10,000 to 50,000, with 9,000 to 40,000 in Lima.

District	Intensity EMS-98	Distance km	Population 1000 Pers.	Fatalities	Injured
Callao	9.3	16	813,264	3546	31594
L32 San Juan de Lurigancho	8.7	30	919,399	2165	21380
L35 San Martín de Porres	8.9	23	594,135	1819	17361
L42 Villa El Salvador	9.1	29	415,699	1579	14515
L33 San Juan de Miraflores	9.0	25	379,271	1306	12243
L43 Villa María del Triunfo	8.9	29	402,491	1206	11543
L9 Comas	8.5	32	525,790	931	9502
L2 Ate Vitarte	8.5	36	474,786	878	8917
L7 Chorrillos	9.0	21	297,087	984	9286
L17 Los Olivos	8.8	26	324,187	890	8617
L40 Lima downtown	8.8	22	315,425	835	8126
L40 Santiago de Surco	8.8	24	308,508	759	7453
L14 La Victoria	8.8	23	215,203	545	5330
L25 Puente Piedra	8.7	37	230,199	507	5050
L11 Independencia	8.7	27	223,225	489	4868
L28 Rimac	8.7	25	198,884	474	4674
L5 Carabayllo	8.6	38	213,558	454	4541
L36 San Miguel	8.9	17	141,310	445	4233
L10 El Agustino	8.7	27	187,154	407	4057
L37 Santa Anita	8,6	30	181,895	352	3556
L13 La Molina	8,7	31	140,817	328	3244
L21 Miraflores	8,9	20	105,006	301	2902
L4 Breña	8,8	21	107,261	292	2834
L30 San Borja	8,7	24	116,260	284	2792
L41 Surquillo	8,8	21	95,262	257	2497
L24 Pueblo Libre	8,9	19	81,335	242	2316
L3 Barranco	9,2	20	51,954	206	1877
L12 Jesús María	8,9	20	66,284	188	1813
L31 San Isidro	8,9	20	62,574	179	1726
L19 Lurin	8,9	38	63,302	177	1712
L20 Magdalena del Mar	8,9	17	54,808	168	1606
L16 Lince	8,8	21	58,969	163	1577
L22 Pachacamac	8,7	38	61,956	134	1336
L34 San Luis	8,7	25	52,334	123	1215
L18 Lurigancho	7,8	60	102,494	47	561
L1 Ancón	8,3	45	33,283	42	442
L6 Chaclacayo	7,9	54	44,899	29	326
L8 Cieneguilla	8,1	47	17,857	16	176
L39 Santa Rosa	8,2	42	10,611	12	127
L23 Pucusana	7,9	55	10,444	6	70
L26 Punta Hermosa	8,2	44	5,29	6	60
L29 San Bartolo	7,9	52	6,486	5	51
L27 Punta Negra	8,0	48	5061	4	47
L38 Santa María del Mar	7,9	52	0,097	0	0

TABLE 7: QLARM Calculation Test Perú A

The range of injured for an occupancy rate of 50% is estimated as 66,000 to 230,000, for Lima alone, with an additional 13,000 to 35,000 in Callao (Table 2). The total number of injured in the worst case (occupancy rate 80%) is therefore estimated as 128,000 to 432,000. Given that this is an average number that has a 40% error margin, the number of injured could conceivably exceed half a million.

The largest losses are expected from the magnitude 8 event at 33 km depth nearest to Lima (scenario A) generating an average intensity of 8.6, or the M8.5 earthquake at 40 km distance (scenario G), generating an average intensity of 8.8 in Lima.

Although these numbers of casualties are frightening, the percent of the population killed and injured is moderate. For the M8+ scenarios, the percentages killed and injured are 0.2 to 0.3% and 2 to 3%, respectively. This is less severe than in earthquakes in Pakistan (M7.6, 2005) and Iran (Bam M6.6, 2003), but much worse than in earthquakes in the industrialized world.

Smaller earthquakes with M7+ are judged to still be capable of causing fatalities measured in the thousands and injured counted in the tens of thousands, if they are close to Lima (Table 4). For earthquakes in the range of  $6 < M < 7$  we expect fatalities to be in the hundreds only, although the number of injured would be in the thousands (Table 4).

The children are of special concern and therefore we calculated what they should expect in two ways. If the earthquake happens during nighttime, it is the worst case for the society as a whole because most people are in doors. However, it may be that the school buildings are of better or worse construction than the average home. Therefore, we should estimate the casualties of children separately for the period of the day they are in school. In some societies, it can be that the likelihood to die in an earthquake is an order of magnitude larger in schools than at home. Such a situation was discovered in British Columbia, Canada, and corrected by a 260 million dollar retrofitting project. For Lima, we do not know the quality of construction of the schools, but from the little we know about their performance in the 1974 earthquake, we gained the impression that they may be relatively poorly built, on average. Based on the assumptions we made, we calculate the number of casualties in schools given in Table 6. For M8+ earthquakes, the fatalities among the school population would range from mean values

of 2,000 to 13,000, in the worst case. The number of injured are expected to lie in the range of 7,000 to 36,000.

For earthquakes smaller than magnitude 8, but larger than 7, the fatalities among the school population might reach 1,000, and the injured may number in the several thousands. For earthquakes near Lima, but smaller than M7 the fatalities among children are expected to be a few hundred.

If the assumptions about residential and school building are right, then children are twice as likely to be killed by their homes than be their schools and twice as likely to be injured by their schools than by their homes. However, this result is obtained because we assumed that there are no schools of the A-type, the weakest building. If in reality some children, let's say 25%, spend their day in A-type buildings, then the probability for children to be killed by their school would be estimated as far greater than to be killed by their homes.

This important question: Are children safer or in greater danger in school than at home, can be investigated quantitatively if we had data on the building quality of schools. We think this preliminary report should be expanded to answer this question.

## CONCLUSIONS AND QUESTIONS

We conclude that an earthquake of magnitude 8 in the vicinity of Lima would probably cause more than 10,000 fatalities in Lima and over 2,000 in Callao (Tables 2 and 3). If a great earthquake ruptures the plate boundary outboard of Lima, but its points of greatest energy release are not close to Lima and Callao, then the disaster could be an order of magnitude smaller in these two cities. The number of injured would, however, not be reduced dramatically, if the major energy release were farther away. One would still have to expect more than 100,000 injured people (Tables 2 and 3) and with the energy release close to Lima, 200,000 injured may need medical attention.

The distribution of casualties by district should be re-calculated because the differing building stock has not been taken into account. Difference in building quality could make a great deal of difference. This is one of the remaining open questions.

Another remaining question regards the performance of the schools. We have assumed

building properties of the schools, which may well be too optimistic. The question of whether a child is more likely to be killed at school than at home should be answered.

**Acknowledgments:** This report was prepared with the support of the JTI Foundation, based in Switzerland, and the Swiss Agency for Development and Cooperation, but does not necessarily reflect the opinion of these parties. We thank Cyrill Bonjour for advancing QLARM to the point necessary for this report

## REFERENCES

- Langer, C., and W. Spence (1995), The 1974 Peru earthquake series, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 85, 665-687.
- McCann, W. E., et al. (1979), Seismic Gaps and Plate Tectonics: Seismic Potential for Major Plate Boundaries, *Pure and Appl. Geophys*, 117, 1082-1147.
- Motagh, M., et al. (2008), Coseismic slip model of the 2007 August Pisco earthquake (peru) as constrained by Wide Swath radar observations, *Geophysical Journal International*, 174, 842-848.
- Plafker, G., et al. (1971), Geological aspects of the May 31, 1970 Peru earthquake, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 61, 543-578.
- Tavera, H., and I. Bernal (2008), The Pisco (Peru) earthquake of 15 August 2007, *Seismological Research Letters*, 79(4), 510-515.
- Trendafiloski, G., et al. (2009), Constructing city models to estimate losses due to earthquakes worldwide: Application to Bucharest, Romania, *Earthquake Spectra*, in press.
- Wyss, M. (2005), Human losses expected in Himalayan earthquakes *Natural Hazards*, 34, 305-314.
- Wyss, M. (2006), The Kashmir M7.6 shock of 8 October 2005 calibrates estimates of losses in future Himalayan earthquakes, paper presented at Proceedings of the Conference of the International Community on Information Systems for Crisis Response and Management, Newark.
- Wyss, M., and M. Zibizbadze (2009), Delay times of worldwide global earthquake alerts, *Natural Hazards*, in press.

# DISEÑO DE ESCENARIO SOBRE EL IMPACTO DE UN SISMO DE GRAN MAGNITUD EN LIMA METROPOLITANA Y CALLAO

José M. Sato Onuma

Centro de Estudios y Prevención de Desastres – PREDES

A nivel internacional y en el Perú, se producen cuantiosos daños a consecuencia de movimientos sísmicos. La razón más importante, a nuestro modo de ver, es el crecimiento no planificado y sin control de las ciudades ubicadas en zonas con alto peligro sísmico, ocupando zonas denominadas no urbanizables,<sup>1</sup> con edificaciones vulnerables y generando el riesgo de sufrir grandes pérdidas humanas, materiales y económicas en caso de materializarse un terremoto.

Se conoce de la alta posibilidad de que ocurra un terremoto en la región costa centro de nuestro país, donde se ubica Lima Metropolitana y Callao (con casi la tercera parte de la población del país). Gran parte del crecimiento de la ciudad ha sido invasivo y originado en la llegada de migrantes rurales que se han asentado en los arenales de la periferia, en quebradas de las estribaciones andinas o han ocupado antiguas viviendas del centro histórico, lo que ha incrementado exponencialmente los problemas de urbanismo de Lima, y con ello su vulnerabilidad sísmica.<sup>2</sup> Además, es sede de las principales actividades administrativas, económicas a nivel público y privado, y nodo central de las redes de

transporte terrestre, aéreo y marítimo del Perú. Es así que, Lima está expuesta a un gran impacto destructivo producto de la materialización del peligro sísmico.

Este estudio, de carácter preliminar,<sup>3</sup> constituye un primer intento de estimación del nivel de exposición ante un sismo severo y un tsunami asociado, en un área donde viven los más de 8 millones de habitantes de Lima Metropolitana y Callao<sup>4</sup>, así como la estimación de daños a nivel de población y viviendas. Para esto se plantea un solo escenario, en base a la información existente y disponible por parte de entidades públicas, y ejecución en un limitado tiempo de dos meses.

Para este estudio, la estimación del riesgo sísmico de Lima Metropolitana y Callao engloba dos aspectos principales: el peligro sísmico y un tsunami asociado; y la estimación de la vulnerabilidad de la población y las estructuras residenciales. Lamentablemente, el conocimiento actual de estos dos aspectos en Lima Metropolitana y Callao es limitado por la escasa cantidad de estudios sobre la predicción, ubicación y cuantificación de la fuerza del sismo de acuerdo al tipo de suelo, mientras que

1. Zonas con altas pendientes, con suelos sueltos o deleznales, principalmente arenosos, antiguos rellenos sanitarios, cauces de quebradas, antiguas zonas agrícolas inundables por grandes avenidas de ríos, zonas inundables por tsunami, etc. Estas zonas antes del crecimiento de las ciudades estaban fuera de sus límites (Plan de Desarrollo Concertado del Distrito de Independencia, Arq. Roberto Medina M)
2. Maskrey A. y Romero Gilberto. Urbanización y vulnerabilidad sísmica en Lima Metropolitana. Lima: PREDES; 1986.
3. Parte del interés del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) y el apoyo de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) ante la necesidad de contar, en forma rápida, con información para ser usada en una simulación de protocolo de actuación básico por desastre sísmico en Lima y Callao que se llevó a cabo los días 12 y 13 de marzo de 2009.
4. 7'605,742 habitantes en Lima Metropolitana y 415,888 habitantes en la Provincia Constitucional del Callao, según el INEI – Censos Nacionales 2007, XI de Población y VI de Vivienda.

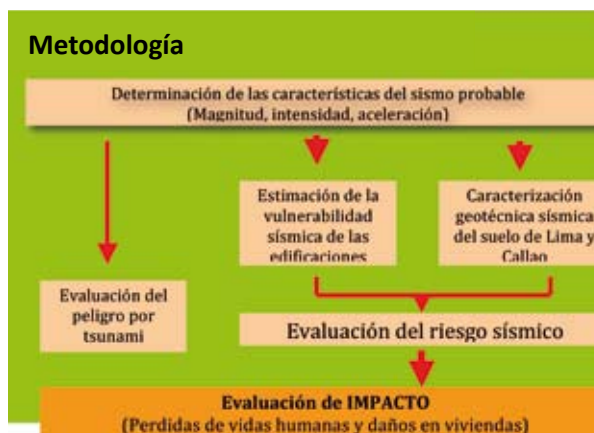
para la estimación de la vulnerabilidad de las estructuras residenciales, se carece de información actual de detalle sobre las características de las edificaciones existentes, especialmente cualitativa, así como de densidad poblacional.<sup>5</sup>

Para el análisis de la información se ha utilizado un sistema de información geográfica, que ha facilitado la integración de información provista de diferentes fuentes y sobre todo, la visualización de los resultados de manera georreferenciada, permitiendo la modelización del escenario de manera visual.

El resultado del estudio es la construcción de un escenario de desastre sísmico y tsunami en Lima Metropolitana y Callao, por un terremoto tipo 8 en escala de Richter, en un día de semana por la madrugada (ejemplo: 4 a.m.), cuando la gran mayoría de las personas se encuentra en sus viviendas y estima a nivel de distritos el posible impacto sobre las personas y sus viviendas, e identificar según niveles, el grado de afectación.

El ámbito de aplicación en Lima Metropolitana y Callao está determinado por el “Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico en 42 Distritos de Lima y Callao” del CISMID (2005), que no incluye distritos como Santa Rosa y los del extremo Sur de Lima (Pachacámac<sup>6</sup>, Lurín, Punta Negra, Punta Hermosa, San Bartolo, Santa María y Pucusana).

Para generar el escenario de riesgo de este estudio, se ha estimado la vulnerabilidad con indicadores cuantitativos trabajados en base a una fuente reciente, como es el último censo de población y vivienda realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) en el año 2007, cuyos resultados por vivienda y población se encuentran a la fecha a nivel de distrito. Estos indicadores se aplican a sus respectivos distritos y, en los casos de que el distrito es muy extenso, poblado y heterogéneo en cuanto a niveles socioeconómicos y antigüedad de viviendas, que se traduce en diferentes tipologías de viviendas, se han generado 106 sectores urbanos homogéneos.<sup>7</sup>



### Niveles de impacto y daños en el escenario propuesto para Lima Metropolitana y Callao

Se concluye que, de los 106 sectores urbanos identificados, hay 34 que se encuentran en muy alto riesgo, 29 en alto riesgo, 20 en mediano riesgo y 23 zonas en bajo riesgo.

Como resultado del escenario analizado, tomando en cuenta la densidad poblacional del área urbana ocupada, se estima que tendrá un máximo de 51,019 personas fallecidas, 686,105 heridos, 200,347 viviendas colapsarían y 348,329 serían altamente afectadas.

Se ha determinado que la altura de ola que afectaría a la zona costera es de 6 metros, inundando áreas importantes, especialmente La Punta.

El tiempo de llegada es crítico para La Punta, siendo este de 11 minutos después de ocurrido el sismo. Para las otras áreas el promedio es de 18 minutos.

Se han identificado los siguientes elementos ubicados en suelos poco competentes (suelos tipo III y IV)

- 569 instituciones educativas
- 2 establecimientos de salud
- 43 estaciones de servicio de combustible
- 4 estaciones de bomberos

5. A la fecha, marzo de 2009, el censo de población y vivienda realizado en el 2007, por el INEI, se encuentra a nivel de distrito. Esta entidad nacional todavía no procesa la información a nivel de manzana. La información anterior data del censo de 1993, por lo que se encuentra obsoleta.
6. El estudio incluye sólo una parte del área ocupada del distrito de Pachacámac.
7. Estos 106 sectores urbanos homogéneos se basan en las sectorizaciones realizadas por las mismas municipalidades distritales en sus respectivos Planes de Desarrollo Concertados, que han sido recopilados de sus páginas web.

Se muestra el mapa final del estudio, con la distribución del nivel de impacto probable por cada uno de los 106 sectores (impacto bajo, medio, alto y muy alto) y el área de afectación por tsunamis.

## CONCLUSIONES

El presente estudio es un insumo para el Plan de Contingencias al establecer el posible impacto directo en el momento del sismo, pero se requiere también tener el impacto indirecto por la interrupción de actividades y servicios, lo cual es crítico por tratarse de la capital del país, en donde se concentran actividades políticas y económicas.

Las restricciones de tiempo y de información sólo han permitido una aproximación gruesa del posible impacto directo.

Para su aplicación en un requerido Plan de Emergencia para Lima Metropolitana y Callao, este producto tiene los siguientes beneficios en cada etapa.

Antes de producirse un terremoto proporciona una visión panorámica, de acuerdo a los datos usados, sobre las probables consecuencias que ocasionaría el escenario descrito, localizando sectores de mayor riesgo y algunos de los elementos más vulnerables, facilitando la planificación de futuros estudios, medios y recursos necesarios para la prevención, mitigación e intervención en futuras emergencias.

Después de un terremoto: permite estimar y valorar con rapidez los posibles daños causados por el terremoto, buscando lograr que se puedan activar con mayor eficacia las medidas de protección civil contempladas en los protocolos de actuación y el futuro Plan de Emergencia de Lima Metropolitana y Callao.

Revisión de la zonificación de Lima Metropolitana y Callao, por parte del IMP y de cada uno de los municipios, procurando lograr un control urbano más eficaz en cuanto a densidades, alturas de edificación y calidad de las construcciones (Vigilancia más estricta del cumplimiento de la norma sismo-resistente E.30). Se debe priorizar los sectores que sufrirán las intensidades sísmicas más fuertes, dado que su riesgo de impacto es mayor.

## RECOMENDACIONES PARA ESTUDIOS FUTUROS

La información existente de microzonificación está a nivel grueso, por lo que se requiere realizar estudios

de microzonificación geotécnica de detalle, particularmente para identificación de los suelos menos competentes, así como una sectorización de la ciudad más detallada para el análisis de vulnerabilidad de viviendas.

Incorporar el análisis referente a los daños ocasionados en las redes matrices de gas, agua y energía eléctrica.

Afinar el detalle del estudio en aspectos de vulnerabilidad física en función de indicadores del terreno con imágenes de satélite Quickbird que permiten tener resolución espacial de hasta 0.6 metros de resolución espectral.

El detalle más adecuado para representar el riesgo de Lima Metropolitana y Callao es a nivel de manzana.

Mejorar los mecanismos de colaboración e intercambio de información interinstitucional.

Realizar los análisis de riesgo a nivel sectorial y su integración posterior en un mapa de riesgo integrado urbano para fines de preparativos (antecedente: Plan Alfa Centauro de 1980)

Lima Metropolitana y Callao concentrarán la mayor parte del impacto, pero debe ampliarse el análisis de impacto más allá del límite urbano.

Diseño de una estrategia de difusión para elevar el interés en un estudio de mayor resolución y su diseminación.

Sensibilización a nivel de los gobiernos locales para que los estudios de riesgo sean considerados en la planificación del desarrollo e integrarlos a los otros niveles de gobierno.

Se recomienda el intercambio de experiencias sobre este tema a nivel nacional e internacional para enriquecer resultados.

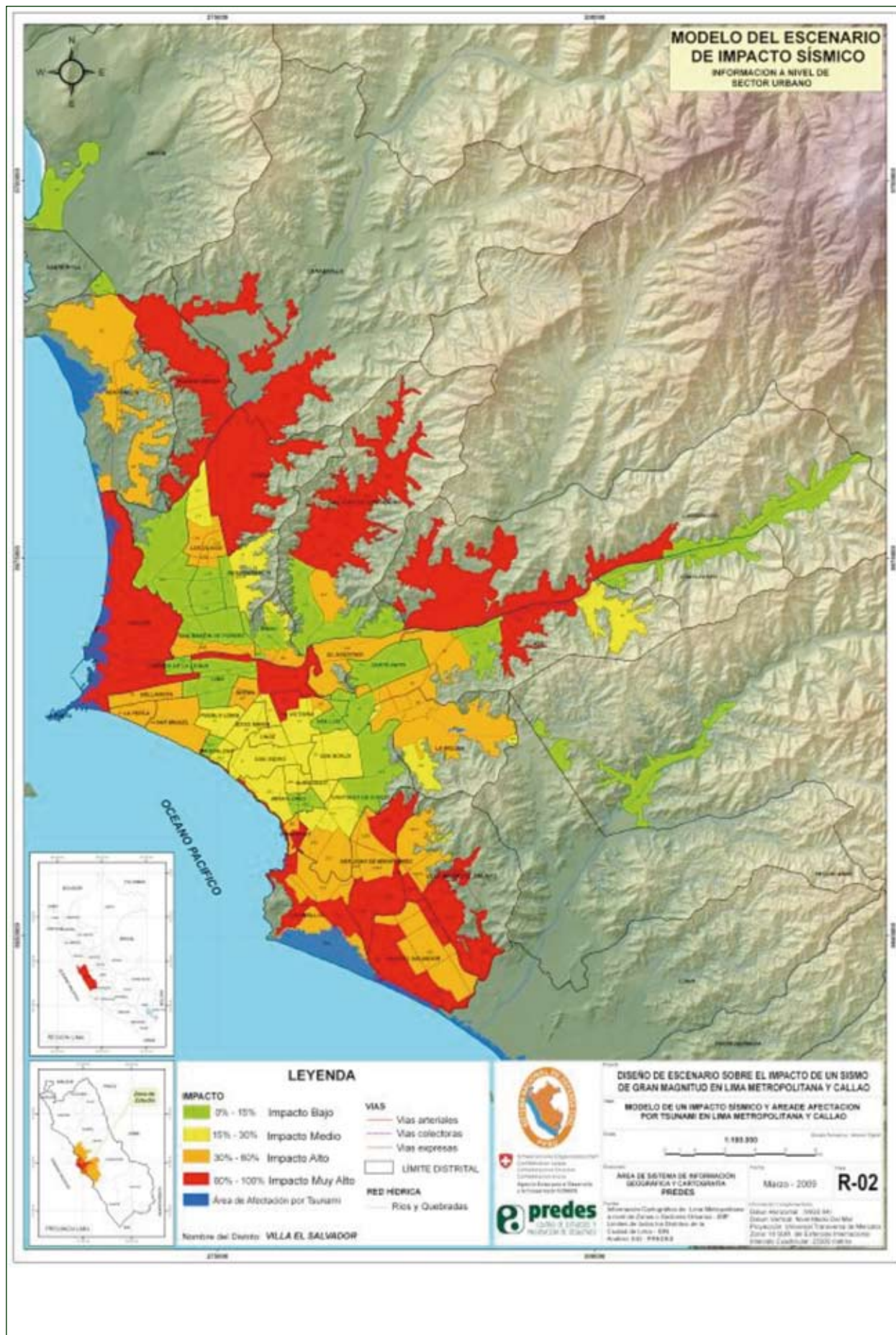
En el estudio se ha establecido un nivel de impacto máximo. Se debe analizar un rango que establezca también un mínimo.

Se recomienda que los mapas presentados sean incorporados a los planes de desarrollo de las Oficinas de Defensa Civil y Desarrollo Urbano de las Municipalidades de Lima y Callao.

Para futuros modelamientos de escenarios se debe tener en cuenta, entre otros, lo siguiente:

El sismo máximo probable podría ocasionar múltiples deslizamientos que afectarían los cauces de los ríos que atraviesan Lima, sea en las quebradas altas o, en el caso del río Rímac, en el centro de la ciudad donde hay taludes inestables, asimismo deslizamientos en los acantilados costeros de Lima





y de laderas que podrían interrumpir las carreteras de acceso a la Capital.

El evento sísmico podría ser seguido de incendios en refinerías o plantas de almacenamiento de hidrocarburos, grandes industrias y mercados.

Las edificaciones situadas en los conos de Lima, en su mayoría autoconstruidas, se encuentran cimentadas sobre suelos pocos competentes (arenales, pantanos, etc.) con la probabilidad de existencia de fenómenos asociados al sismo sobre los suelos, como la licuación y deslizamientos en taludes inestables.

Consideramos necesario generar información más detallada e instrumentos específicos con la finalidad de concertar acciones para brindar una mayor seguridad a Lima Metropolitana y Callao; así como, brindar a las entidades de los Sistemas Nacional y Regionales de Defensa Civil elementos básicos para la reducción del riesgo de desastres, tanto a nivel de prevención como de preparativos para la respuesta.

## AGRADECIMIENTOS:

Para la realización de este estudio, el concurso de las siguientes instituciones y personas ha sido de fundamental importancia: Instituto Nacional de Defensa Civil, a través de la coordinación del Ing. Alberto Bisbal Sanz - Director Nacional de Prevención; Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación COSUDE, a través de Sebastian Eugster y Ángel Chávez Deza; Dr. Hernando Tavera – IGP; Dr. Ing. Carlos Alberto Zavala Toledo – Director del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres CISMID; Ana María Rebaza – Asesora Nacional en Respuesta a Desastres de OCHA/UN – Perú y de la Red Humanitaria Nacional.

## BIBLIOGRAFIA

CISMID, Universidad Nacional de Ingeniería. “Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico en 42 distritos de Lima y Callao”, a pedido de la Asociación Peruana de Empresas de Seguros (APESEG). Abril de 2005

Godoy & Monge. Modelo de Propagación de un Tsunami a través del Diagrama de Refracción.

Metodología para la evaluación del riesgo de tsunami, 1975.

INEI. Resultados de los Censos Nacionales 2007, XI de Población y VI de Vivienda. 2008.

INEI. Compendio Estadístico Perú 2008. Instituto Nacional de Defensa Civil. Proyecto “Identificación, localización y calificación de viviendas turgurizadas con riesgo de colapso en Lima Cercado, La Victoria, Barranco y Chorrillos”. INDECI. Lima, 1994.

Iván, J., Meneses, J., Guzmán, V. Distribución de máximas intensidades sísmicas observadas en el Perú. Tacna: V Congreso Nacional de Ingeniería Civil; 1984. Disponible en: [http://www.cismid.uni.edu.pe/descargas/redacis/redacis17\\_a.pdf](http://www.cismid.uni.edu.pe/descargas/redacis/redacis17_a.pdf)

Kuroiwa, Julio. Protección de Lima Metropolitana ante sismos destructivos. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería; 1997.

Maskrey, Andrew y Romero, Gilberto. Urbanización y vulnerabilidad sísmica en Lima Metropolitana. Lima: PREDES; 1986.

Morales, Nelson. Impacto de Desastres y Situaciones de Emergencia en el Ámbito de la Salud en el Perú. Anales de la Facultad de Medicina, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Copyright© 2000 ISSN 1025 – 5583. Vol. 62, Nº2 - 2001

Morales, Nelson y Zavala, Carlos. Terremotos en el Litoral Central del Perú: ¿Podría ser Lima el escenario de un futuro desastre? Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública. 2008; 25(2).

Morales, Nelson y Sato José. Vulnerabilidad Funcional y Organizativa. En: Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud. Análisis de la Vulnerabilidad Sísmica en Hospitales del Perú. OPS/OMS. Lima, 1997.

Ocola, L. Notas sobre el peligro sísmico de Lima y departamentos el sur del Perú. Lima: Defensa Civil; 1997.

Roque, R., Trefogli, C. Actualización del plan de evacuación ante tsunamis en las costas del Callao y evaluación post-desastre (1995- 1996). [Tesis de Bachiller] Lima: Universidad Nacional de Ingeniería; 1996.

Silgado, Enrique. Magnitud, frecuencia, período de retorno de terremotos y riesgos sísmicos en la costa del Perú entre 9º y 13º de latitud sur. Lima: Sociedad Geográfica de Lima; 1975.

- Tavera, Hernando y Heras H. Localización de áreas probables a ser afectadas por grandes sismos en el borde oeste de Perú: Estimación a partir de periodos de retorno local basado en la distribución de valores de "b". Bol. Soc. Geol. Perú. 2002; 93.
- Tavera, H. El terremoto de Pisco (Perú) del 15 de agosto de 2007. (7.9 Mw). Lima: Instituto Geofísico del Perú; 2008.
- Tavera, H. y Bernal I. Distribución espacial de áreas de ruptura y lagunas sísmicas en el borde oeste del Perú. Referencia: Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, V. 98, 85-96 (2004)
- Tavera H. Peligro sísmico en Lima y el país. Referencia: Revista del Centro de Estudios y Prevención de Desastres, Año 8, Número 14, 30-35 (2001).
- Mena Hernández, Ulises. Evaluación del Riesgo Sísmico en Zonas Urbanas, Tesis de Doctorado en Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural. Universidad Politécnica de Cataluña. Julio de 2002

# SESIÓN COMUNICACIÓN

---



# SOCIALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN GEOCIÉNTIFICA PARA LA REDUCCIÓN DE DESASTRES EN AREQUIPA

Luisa Macedo Franco(1), Roxana Amache(2), Michael Alfaro(3), Henry Pareja(4)

1. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico INGEMMET, [lmacedo@ingemmet.gob.pe](mailto:lmacedo@ingemmet.gob.pe)

2. Centro de Estudios y Prevención de Desastres PREDES, [roxana@predes.org](mailto:roxana@predes.org)

3. Gobierno Regional de Arequipa, [michaelalfarog@hotmail.com](mailto:michaelalfarog@hotmail.com)

4. Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre, [henryparejar@hotmail.com](mailto:henryparejar@hotmail.com)

Ing. Luisa Macedo Franco  
[lmacedo@ingemmet.gob.pe](mailto:lmacedo@ingemmet.gob.pe)  
Teléfono y fax: 054 – 426735

## RESUMEN

A través de los años los volcanes han generado situaciones de emergencia provocando eventos con una gran capacidad de destrucción. Son muchas las poblaciones asentadas en áreas próximas a volcanes que conviven con una compleja combinación de beneficios y riesgos. En muchos casos, se desconocen los verdaderos riesgos asociados al comportamiento del volcán: pueden afectar a la salud de una población de forma directa, a causa de las caídas de cenizas, flujos de lodo (lahares), flujos piroclásticos, explosiones, flujos de lava, emisiones de gases; ocasionando enfermedades por diferentes patologías, y mortalidad alta por la exposición al trauma. Indirectamente, pueden ocasionar el deterioro socio económico, el daño de líneas vitales o de infraestructuras y en general, alterar las condiciones de vida de las poblaciones comprometidas por la actividad volcánica.

La ciudad de Arequipa, cuenta con una población de cerca del millón de habitantes y es considerada la segunda ciudad en importancia económica y social del Perú, es así, que por razones de expansión

y crecimiento poblacional, los distritos crecen de manera desordenada, sin planificación alguna y sin considerar que el Misti durante los últimos 2000 años ha presentado erupciones importantes, que en un futuro puede volver a presentar.

Actualmente, numerosos pueblos jóvenes se asientan a menos de 12 km del volcán Misti, en los distritos de Alto Selva Alegre (ASA), Miraflores, Mariano Melgar, Paucarpata y Chiguata. Asimismo, muchas viviendas se encuentran en zonas de alto peligro, según el Mapa de Peligros del Volcán Misti (INGEMMET), dentro o muy cerca del cauce de quebradas que bajan del volcán Misti, así como en las riberas de los ríos Chili y Andamayo. Las cinco hidroeléctricas que abastecen de energía eléctrica a Arequipa, se ubican en el cañón del río Chili, flanco del volcán caracterizado por presentar sucesivos deslizamientos del edificio volcánico.

Por tales consideraciones, el INGEMMET desde el 2006 viene ejecutando un proyecto de educación y sensibilización frente a los peligros volcánicos, con la intención de revertir lo antes citado y mejorar la calidad de vida de las comunidades en riesgo, asesorando en la planificación, el desarrollo sos-

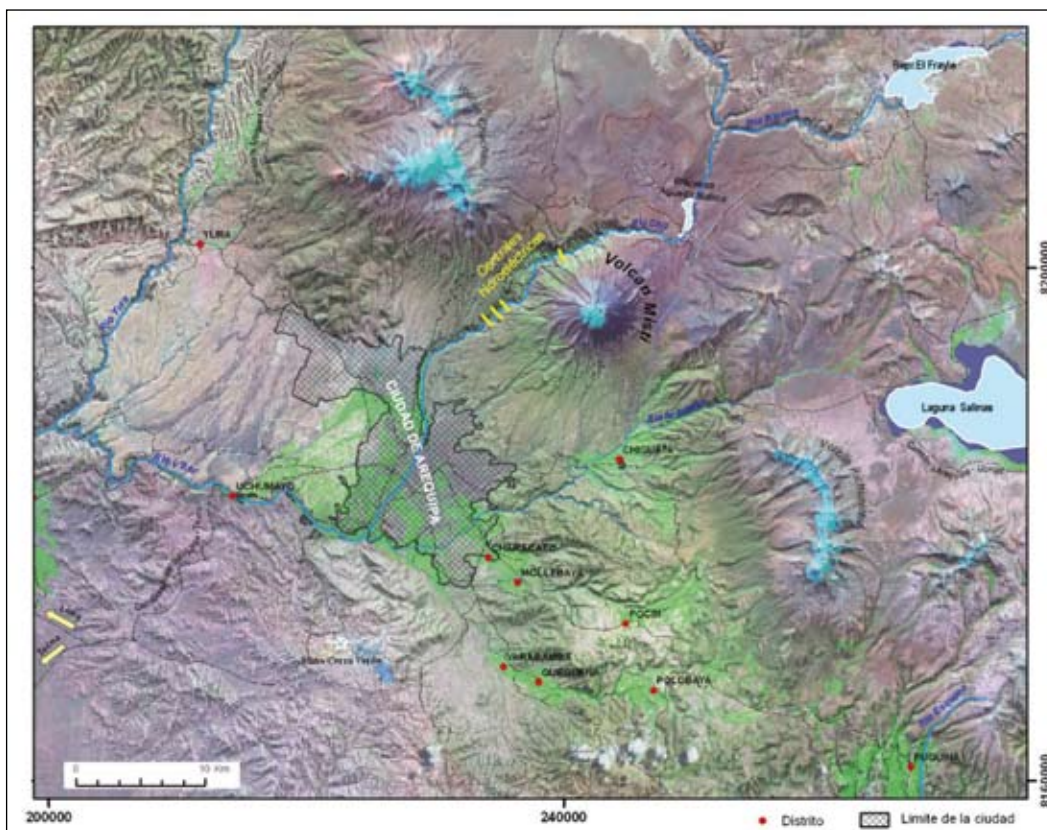


FIGURA 1. Mapa de ubicación del volcán Misti y su área de influencia. En la parte central la depresión tectónica donde se encuentra asentada la ciudad de Arequipa, que limita al Noreste por la cadena de volcanes Pichu Pichu, Misti y Chachani y por el Suroeste con el Batolito de la Costa.

tenido, así como también en la gestión del riesgo volcánico en Arequipa, tanto a las autoridades como a la población en su conjunto.

### I. UBICACIÓN

El volcán Misti es uno de los siete volcanes activos del sur del Perú, localizado en la Zona Volcánica de los Andes Centrales (De Silva & Francis, 1991; Fig. 1). El edificio volcánico se emplaza en el borde Oeste de la Cordillera Occidental de los Andes. El Misti limita por el SE con el extinto estratovolcán Pichu Pichu, por el Noroeste con el complejo volcánico Chachani, hacia el Este con la altiplanicie puna y por el Oeste con la cuenca de Arequipa, donde se halla la ciudad del mismo nombre. El cráter del volcán Misti (242900N, 8196400S, 5820 msnm), se encuentra a 18 km del centro de la ciudad de Arequipa, sin embargo nuevos asentamientos humanos situados al Noreste y Norte de la ciudad se hallan a menos de 12 km del volcán. La diferencia altimétrica entre la ciudad y la cima del volcán es alrededor de 3.5 km.

### II. INTRODUCCIÓN

Las erupciones volcánicas han originado innumerables desastres a lo largo de la historia. Basta señalar la muerte de más de 22,000 personas en la ciudad de Armero (Colombia, 1985), luego de una pequeña erupción del volcán Nevado del Ruiz. Un denominador común en estos desastres, es el desconocimiento de la sociedad sobre los peligros a los que están expuestos, así como su poca o nula preparación para hacer frente a estos eventos destructivos.

La ciudad de Arequipa posee una población que bordea el millón de habitantes y junto a Nápoles, Quito y Kagoshima, son cuatro de las urbes a nivel mundial con una alta población, asentadas a escasa distancia de un volcán activo.

### III. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo del proyecto es socializar y utilizar los conocimientos geocientíficos, particularmente los

referidos a los amenazas volcánicas, en la planificación del desarrollo, ordenamiento territorial y prevención de desastres en el distrito de Alto Selva Alegre (ASA). Con todo ello se busca fomentar una mayor conciencia de prevención frente a los fenómenos naturales generadores de amenazas, contribuyendo en la implementación de medidas de mitigación de riesgos.

#### IV. METODOLOGÍA

En el mapa de amenazas del volcán Misti, se identificaron varias áreas de alta amenaza, localizados en la zona urbana de Arequipa, por tanto zonas de alto riesgo. Estas zonas están ubicadas a lo largo de la cuenca media del río Chili, las quebradas San Lázaro, Huarangal y Pastores. Los distritos involucrados son principalmente Alto Selva Alegre, Miraflores, Mariano Melgar, Paucarpata y el Cercado.

Para el Proyecto se escogió trabajar en el distrito de ASA, donde se viene educando y sensibilizando a las autoridades, maestros y escolares. Se inició el proyecto dando charlas y talleres, donde se explicó sobre las amenazas volcánicas potenciales a las que están expuestos y la utilización del mapa de peligros del volcán Misti, con la finalidad que conozcan el medio en el que habitan, ya que de activarse el volcán, podría generarse caos y convertirse en un desastre. Para lograr revertir esta coyuntura debemos trabajar en planes de contingencia conjuntamente con autoridades y la población

#### V. FILOSOFIA DEL PMA – GCA COMUNICACIÓN CON COMUNIDADES (COM COM)

El proyecto COM COM, es un trabajo multidisciplinario que involucra una serie de actividades para desarrollar una buena gestión del riesgo, aplicando el conocimiento científico en los procesos de desarrollo humano, social, territorial y sectorial. (Muñoz, 2005). La metodología empleada por el INGEMMET, ha sido en base de la filosofía del Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (PMAGCA).

Siendo la filosofía empleada por el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comuni-

dades Andinas (PMA-GCA), utilizar el conocimiento geocientífico como un proceso de adquisición, generación, diseminación, intercambio, transferencia, apropiación y aplicación del mismo en bien de las comunidades, este proyecto se ejecutó desde el año 2002 hasta diciembre del 2007, siendo su meta la de contribuir a mejorar la calidad de vida de los habitantes en las regiones andinas en base a la reducción del impacto negativo producido por desastres de origen natural. En este proyecto participaron los Servicios Geológicos de Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela con el apoyo económico de la Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional y la asesoría del Servicio Geológico de Canadá.

Sus principales actividades incluyeron generar y transferir conocimiento geocientífico integrado y actualizado sobre peligros naturales y buscar su aplicación en el planeamiento del uso del territorio y en prevención, atención y mitigación de desastres. El PMA-GCA colaboró además en la formación de especialistas para ayudar a crear comunidades capacitadas para enfrentar eventuales efectos de amenazas geológicas.

#### VI. FACTORES QUE DEFINEN UNA EMERGENCIA O UN DESASTRE

Cuando se combinan peligros volcánicos y población vulnerable con otros factores como falta de monitoreo y alertas tempranas, falta de conocimiento de la amenaza, baja percepción del riesgo por las comunidades, y otras vulnerabilidades institucionales -se amplifica o multiplica la probabilidad de ocurrencia de un desastre.

Arequipa es una ciudad que viene experimentando un rápido crecimiento urbano en los últimos 50 años. La población de los distritos de Mariano Melgar, Alto Selva Alegre, Miraflores y Paucarpata se acercan cada vez más al volcán Misti, poniendo en peligro sus vidas, actividades y bienes, en caso de producirse una reactivación del volcán Misti.

La ciudad de Arequipa, cuenta con una población de cerca del millón de habitantes y es considerada la segunda ciudad en importancia económica y social del Perú, es así, que por razones de expansión y crecimiento poblacional, los distritos crecen de manera desordenada, sin planificación alguna y sin considerar que el Misti durante los últimos 2000



años ha presentado erupciones importantes, que en un futuro puede volver a presentar.

Actualmente, numerosos pueblos jóvenes se asientan a menos de 12 km del volcán Misti, en los distritos de Alto Selva Alegre (ASA), Miraflores, Mariano Melgar, Paucarpata y Chiguata. Asimismo, muchas viviendas se encuentran en zonas de alto peligro, según el Mapa de Peligros del Volcán Misti (INGEMMET), dentro o muy cerca del cauce de quebradas que bajan del volcán Misti, así como en las riberas de los ríos Chili y Andamayo. Las cinco hidroeléctricas que abastecen de energía eléctrica a Arequipa, se ubican en el cañón del río Chili, flanco del volcán caracterizado por presentar sucesivos deslizamientos del edificio volcánico.

Más del 90% del agua potable que consume la ciudad de Arequipa, es captada del río Chili. Por otro lado, la ciudad tiene cuatro principales vías de salida y todas deben cruzar los ríos Chili y/o Andamayo, cuyos cauces son zonas de alto peligro volcánico. A esto se suma el limitado monitoreo volcánico instrumental y la carencia de un plan integral de gestión de crisis volcánica.

En Arequipa, como en muchas partes del mundo, existen poblaciones que viven muy cerca de volcanes activos, los cuales son potencialmente peligrosos, ya que pueden entrar en fase eruptiva en cualquier momento, y lo que es peor, la población que vive cerca de ellos desconoce sobre los peligros

volcánicos, sobre las acciones que debería tomar en cuenta en el caso de una erupción volcánica; las autoridades igualmente desconocen sus funciones frente a los desastres, sobre la implementación de planes de emergencia o el tratamiento de la gestión de la crisis, lo que puede llevar a un gran desastre de no modificar esta situación.

Por tales consideraciones, el INGEMMET desde el 2006 viene ejecutando un proyecto de educación y sensibilización frente a los peligros volcánicos, con la intención de revertir lo antes citado y mejorar la calidad de vida de las comunidades en riesgo, asesorando en la planificación, el desarrollo sostenido, así como también en la gestión del riesgo volcánico en Arequipa, tanto a las autoridades como a la población en su conjunto.

## VII. MAPA DE PELIGROS DEL VOLCÁN MISTI

La zonificación de los peligros volcánicos realizada en el volcán Misti está basada en el conocimiento de la historia eruptiva, en los alcances y tipos de los productos emplazados en erupciones pasadas y en la frecuencia de estos eventos, principalmente de aquellos ocurridos en los últimos 50 mil años. Para ello se efectuó una recopilación e interpretación de toda la información geológica existente del



volcán; asimismo se realizó el análisis e interpretación de fotografías aéreas e imágenes de satélite Landsat TM y ASTER. Además, se efectuaron trabajos de campo que consistieron en el cartografiado geológico-volcanológico a escala 1/25 000, el levantamiento de columnas tefroestratigráficas y el muestreo de productos volcánicos. Dichos trabajos se efectuaron durante el año 2005 y 2006, A partir de las muestras tomadas en el campo, se efectuaron análisis geoquímicos, dataciones radiométricas, y análisis sedimentológicos. Complementariamente, se realizaron trabajos de gabinete, que consistieron en la interpretación de los datos tomados en campo, confección de mapas de isópacas, isopletas, columnas estratigráficas, mapa geológico y finalmente el mapa de peligros volcánicos.

## VIII. LOGROS OBTENIDOS

Los logros obtenidos son principalmente la toma de conciencia ante el riesgo volcánico por las autoridades, logrando que se incluyan en sus agendas de trabajo la planificación y prevención ante desastres. Para lo cual vienen trabajando en la delimitación de la expansión urbana hacia el volcán Misti apoyado en la emisión de una Ordenanza Municipal en Alto Selva Alegre (201/2007-MDASA), y la señalización de estos límites, así como también en la elaboración de planes de emergencia y de contingencia ante la ocurrencia de una reactivación del volcán Misti.

En el sector educativo, se ha logrado que maestros y escolares conozcan el entorno en que habitan y sepan que el volcán Misti no es un volcán “muerto” o un símbolo representativo y turístico como pensaban, sino que es un volcán activo y que puede entrar en fase eruptiva en cualquier momento.

Se ha logrado que las autoridades regionales, provinciales y distritales inicien trabajos de prevención, así como la ejecución del “I Simulacro de evacuación por erupción volcánica del Misti en la ciudad de Arequipa”, donde se contó con la participación de instituciones públicas y privadas, así

como también de la policía nacional, bomberos, Cruz Roja, Fuerzas Armadas, ONGs como PREDES y BUSH, empresas generadoras de energía eléctrica, agua, fiscalía, entre otros.

Se ha logrado trabajar con la población y con escolares materiales de difusión los cuales fueron distribuidos a las autoridades y la población de Arequipa; se viene trabajando con el gobierno regional de Arequipa, en la ubicación de refugios para casos de erupción volcánica de gran magnitud, así como las rutas de evacuación.

## IX. LISTA DE REFERENCIAS

- Mariño J. Rivera M. Cacya L. Thouret J-C. Macedo L. Salas G. Siebe C. Tilling R. Sheridan M. Chávez A. Zúñiga S. (2007).-Mapa de Peligros del Volcán Misti. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. INGEMMET. Arequipa. Perú.
- Sabines J. Roque D. García L. Ramos S. et al (2007).- Plan Operativo de Protección Civil Volcán Chichón. Sistema Estatal de Protección Civil. Tuxtla Gutiérrez. Chiapas. México.
- Comité Regional de Defensa Civil de Moquegua, OXFAM GB – PREDES, INGEMMET (2007).-Plan de evacuación ante una posible erupción del Volcán Ubinas, Distritos de Ubinas y Matalaque. Gobierno Regional de Moquegua. Moquegua. Perú.
- Tilling R. Scout W. Banks N. Harlow D. Ewert J. Punongbayan R. (1989).-Los Peligros Volcánicos. Organización Mundial de Observatorios Volcanológicos (WOVO). California. USA.
- Linares M. Ortiz R. Marrero J. (2004).-Riesgo Volcánico. Dirección General de Protección Civil y Emergencias. Ministerio del Interior. España.
- Macedo L. Mariño J. Fidel L. Luna R. Quispe R. Pareja H. Arguedas A. Nacarino c. Siu A. Muñoz F. Ampuero F. (2007).-Documento Metodológico. Proceso de Difusión, Educación, Sensibilización y Acción frente a los Peligros Volcánicos del Misti en Alto Selva Alegre, Arequipa. Perú.

# GESTIÓN DE RIESGO FRENTE A LA AMENAZA DE DESLIZAMIENTOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA

Gilberto Cruzado Vásquez  
Universidad Nacional de Cajamarca, Comité de Gestión

## Ubicación

El área de estudio se ubica hacia el Nor Oeste de la ciudad de Cajamarca en la margen derecha del Río Tres Ríos y abarca una extensión de 180.525 Has. y cuenta con una carretera afirmada hasta la planta de tratamiento de agua potable denominada “El Ronquillo”, y luego un camino de herradura que nos permite visitar el lugar.

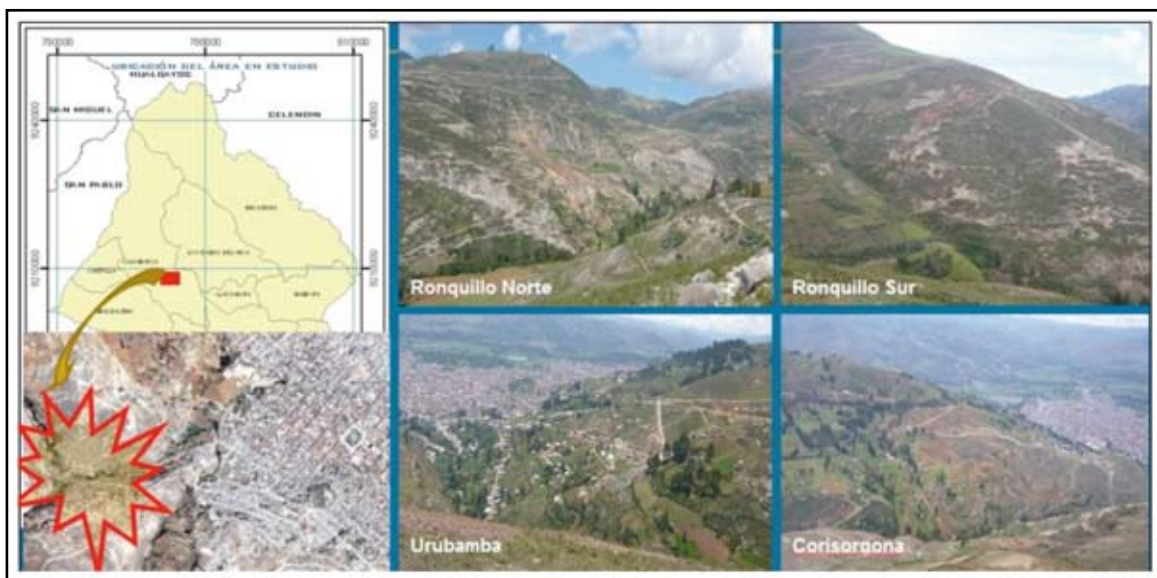
## Características Climáticas

Altitud: 2900 a 3,350 m.s.n.m. Con clima variado entre templado a moderadamente frío, llueve mucho durante los meses de noviembre a mayo (en

estos meses se producen los movimientos de suelos y rocas) y sequía de mayo a septiembre (se estabilizan los taludes que estuvieron en movimiento).

## Geología

De acuerdo a la carta geológica nacional hoja 15-f del INGEMMET, la zona pertenece al Ki-ch (chulec) cuyas características son las siguientes: Calizas fosilíferas, lutitas calcáreas y margas que por intemperismo adquieren un color crema amarillento y se intercalan con lutitas pizarrosas y arenosas. También tienen calizas arcillosas y limonitas marrón rojizas a pardas.



## Vegetación

Está constituida principalmente por asociación de arbustos y gramíneas estacionales.

Dentro de las gramíneas tenemos los géneros: *Eragrostys*, *Muhlenbergia*, *Setaria*, *Paspalum*, *Penisetum*, etc; como arbustos tenemos: la retama, la penca y como especies arbóreas tenemos algunas plantas de eucaliptos y taya.

## Suelos

En su mayoría son suelos que pertenecen a la orden Litosol calcáreo, Regosol Calcarico, Rendsina, Cambisol humico, donde mayormente tiene una textura franco arcilloso limoso, con una estructura granular, de poca coherencia y de fácil movimiento en pendiente.

En algunos casos se presentan capas pretocalcicas altamente alteradas por el fenómeno de la intemperización, lo que permite el movimiento de masas de rocas y suelos.



## Hidrología

Las redes hidrográficas que presenta el lugar están constituidos básicamente por la quebrada Manzanas, Quebrada Cuchunga, San Cristobal, Quebrada Urubamba y la Quebrada San Vicente. Todas se originan en cabecera de cuenca para formar el Río Tres Ríos y luego el Río San Lucas.



## GEODINÁMICA EXTERNA

### Movimientos de masas de rocas y de suelos existentes en el lugar

Desplazamientos de masas de tierra o rocas por una pendiente en forma súbita o lenta. El deslizamiento o derrumbe, es un fenómeno de la naturaleza que se define como “el movimiento pendiente abajo, lento o súbito de una ladera, formado por materiales naturales, roca, suelo, vegetación, o bien de rellenos artificiales”.

Los deslizamientos y derrumbes se presentan sobre todo en la época lluviosa o durante períodos de actividad sísmica.

### Tipos de Movimientos en la Zona

- Movimientos lentos
- Movimientos rápidos

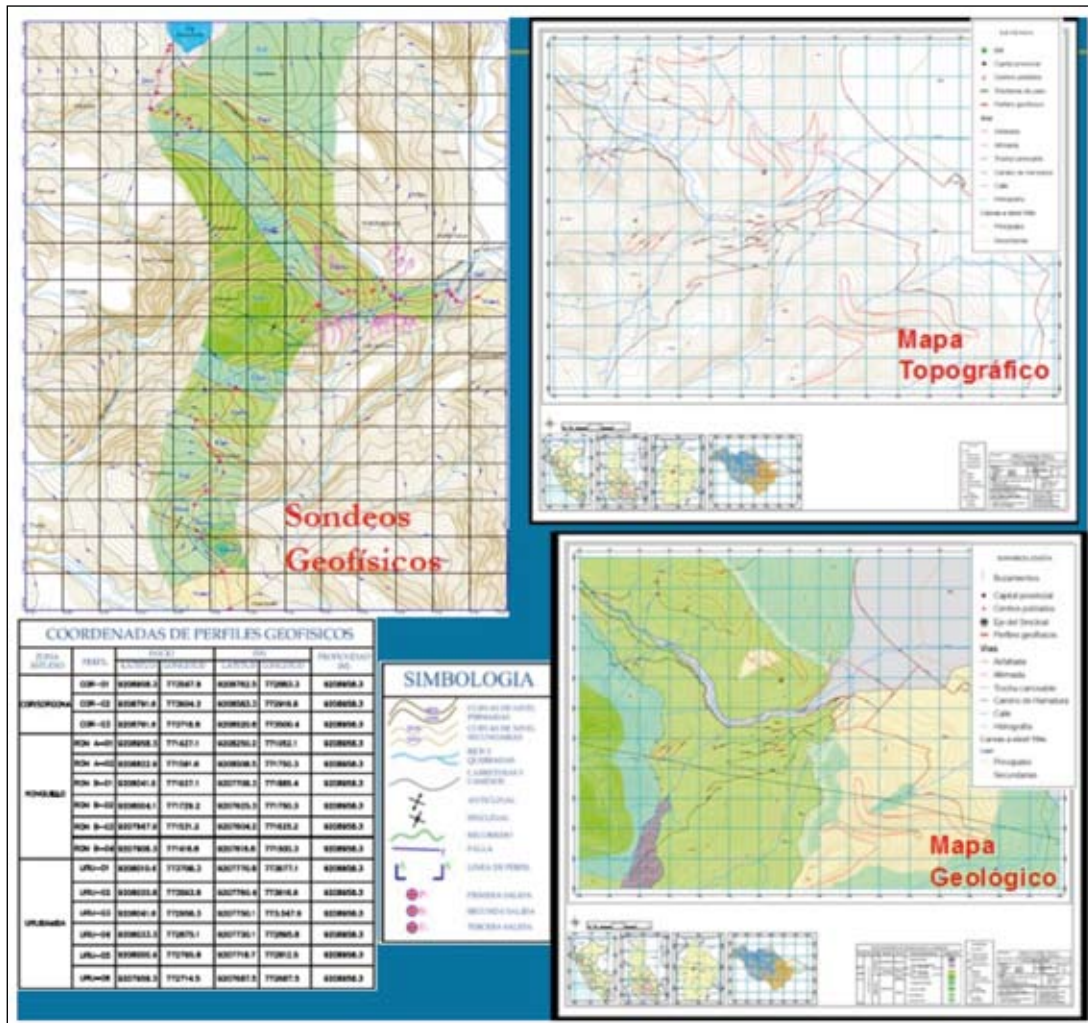
### ¿Por qué están ocurriendo?

Ocurren por las siguientes variables:

- Clase de rocas y suelos.
- Topografía (lugares montañosos con pendientes fuertes).
- Cantidad de lluvia en el área.
- Actividad humana (cortes en ladera, falta de canalización de aguas, etc.).
- Erosión (por actividad humana y de la naturaleza).

### ¿QUÉ SE HA HECHO?

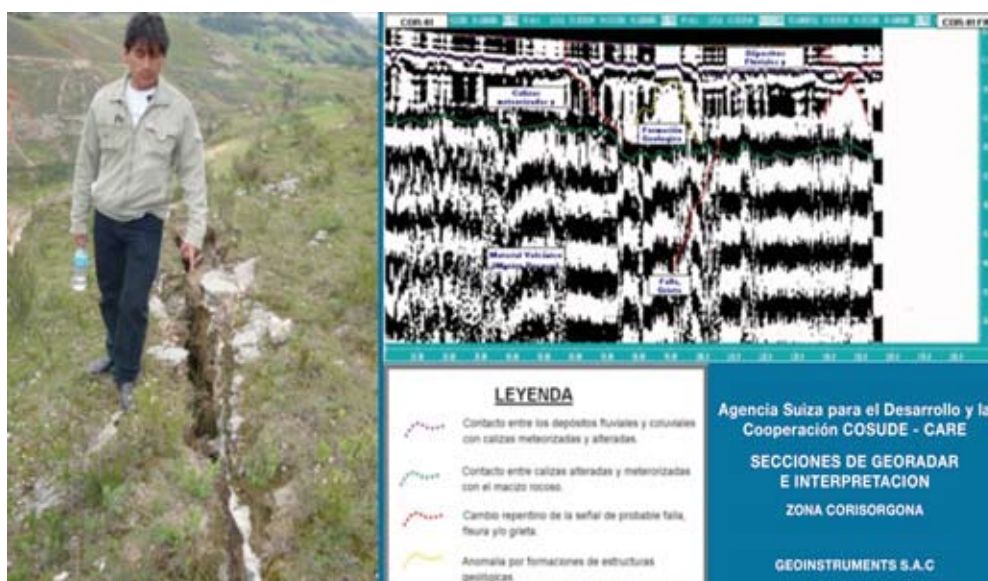
Se identificaron las zonas con amenazas de deslizamientos y derrumbes, mediante la observación de grietas, árboles inclinados, pisos agrietados. Para tal fin de elaboraron mapas del tipo de suelo con

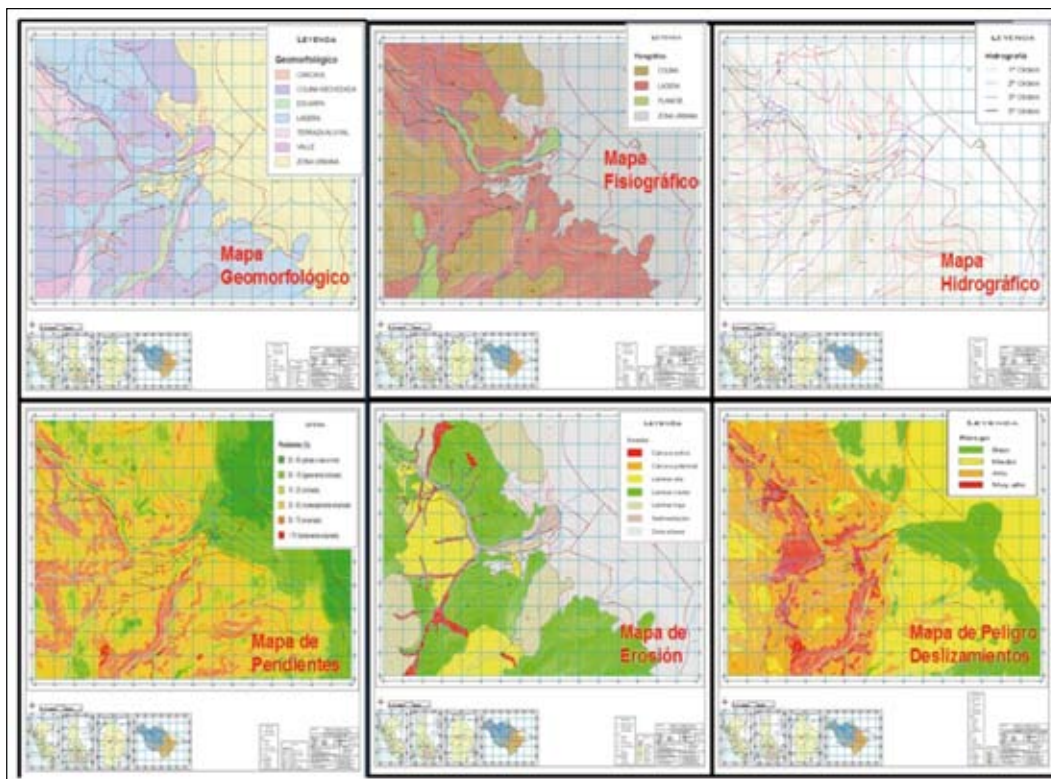


sondeos electricos, mapas topográficos y mapas geológicos.

Paralelamente, se realizaron estudios con georadar para una mejor visión sobre las propiedades

físicas de los suelos. Los estudios fueron complementados con la elaboración de mapas geomorfológicos, fisiográficos, hidrográficos, de pendientes, erosión y deslizamientos.





### MEDIDAS DE MITIGACIÓN COMPLEMENTARIAS

Las medidas de mitigación básicamente se concentraron en el monitoreo de las fisuras en suelo como indicadores de zonas en riesgo y la búsqueda de que la autoridad competente emita las Ordenanzas de Limitación de las áreas en riesgo. Paralelamente, se procedió a validar los planes de contingencia comunal y el cronograma de ejecución para la difusión de los objetivos de las autoridades.

queda de que la autoridad competente emita las Ordenanzas de Limitación de las áreas en riesgo. Paralelamente, se procedió a validar los planes de contingencia comunal y el cronograma de ejecución para la difusión de los objetivos de las autoridades.

The collage includes several elements:

- Monitoreo de la Zona en Riesgo:** A photograph showing a person in a blue shirt monitoring a crack in the ground.
- Emisión de Ordenanzas Limitación Zona en Riesgo:** A document titled "ORDENANZA QUE APRUEBA LA DELIMITACIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO EN LAS COMUNIDADES DE USUMBAMBA, CORBORGONA Y BONGUILLO DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA FRENTE A LA AMENAZA DE DESLIZAMIENTO Y PROHIBE EL ASENTAMIENTO DE GRUPOS HUMANOS Y SIMILARES EN DICHAS ZONAS". It includes articles for approval, prohibition, and declaration.
- Validación Planes Contingencia Comunal:** Documents from the Municipality of Cajamarca showing a map of the city with risk zones marked.
- Procesos de Difusión:** A screenshot of the website "Panoramacajamarquino.com" with the headline "El municipio debe ser declarado zona intangible".

# ESTRATEGIAS EN LA DIFUSIÓN DE LA INFORMACIÓN SOBRE EL ESTADO DE ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GUAGUA PICHINCHA

Sandro Vaca Arias  
Instituto Geofísico-Escuela Politécnica Nacional (Quito-Ecuador)

## ANTECEDENTES

El Ecuador Continental se encuentra sobre la Placa Sudamericana la misma que es subducida por la Placa Nazca. Este proceso de subducción da origen a la actividad sísmica y volcánica en el territorio ecuatoriano.

De acuerdo a los estudios vulcanológicos y los relatos históricos, el Ecuador cuenta con 11 volcanes con potencial eruptivo (volcanes con erupciones con más de 10000 años de antigüedad), 7 volcanes con actividad dentro del período histórico (desde 1532), de estos el volcán Guagua Pichincha es uno de los más activos con al menos 12 episodios eruptivos en el período histórico (IG-EPN).

## EL VOLCÁN GUAGUA PICHINCHA

### Localización

El volcán Guagua Pichincha (GGP), se encuentra ubicado en las coordenadas 0.17 S, 78. 60 W y a 4794 msnm, a 13 km de distancia de la ciudad de Quito (Fig. 1)

### Actividad Prehistórica

El GGP comprende el edificio más reciente y occidental del complejo volcánico Pichincha, razón por la que los depósitos más importantes de este volcán se encuentran localizados al oeste del complejo.

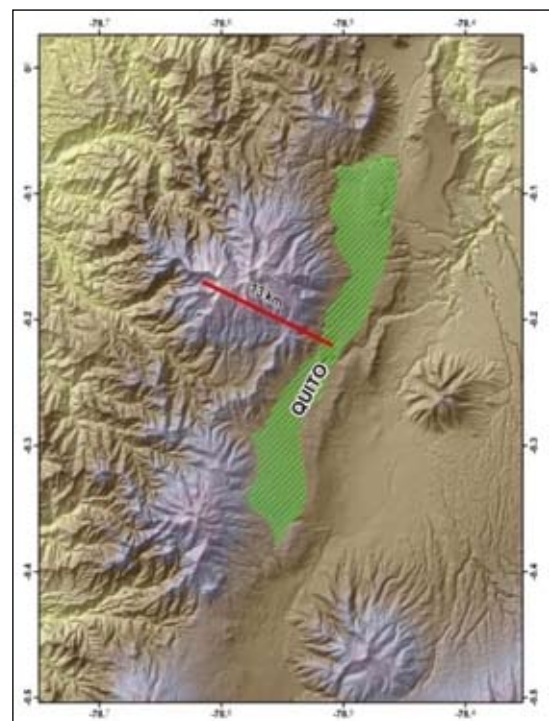


FIGURA 1. Localización del Volcán Guagua Pichincha

Según datos radiométricos realizados, el complejo empezó su formación hace  $\sim 1$  Ma (OLADE, 1980), siendo el GGP más joven a esta edad.

El volcán GGP inició la formación de su edificio con la emisión de coladas lava, sobre las cuales se depositaron flujos de lodo y flujos piroclásticos con un espesor de  $\sim 200$  m, cubriendo principalmente el valle de Lloa localizado al Sur-este del edificio. Los depósitos intercalados de pómez que se observa alrededor del volcán, indican la existencia de episodios plinianos que estarían relacionados a la for-

mación de la caldera. También se puede reconocer depósitos de avalancha de escombros hacia el lado Sur y Sur-oeste del edificio. Posterior a la formación de la caldera la actividad se relaciona a la formación domos, cuyo inicio se ubica en  $\sim 28500$  A.P. y que es reconocido por avalanchas laterales, flujos piroclásticos y domos intra-caldera. Actualmente la caldera activa tiene un diámetro aproximado de 1.6 km.

### Actividad Histórica

Los datos históricos se basan inicialmente a los relatos dejados por los españoles en el siglo XVI, sin embargo en algunos casos no se cuenta con las precisiones de fechas y efectos relacionados a la actividad eruptiva (Egred, IG-EPN).

- 1560: Quito y alrededores cubiertos con gruesa capa de ceniza, muere ganado por falta de alimento, escasez de agua.
- 1566: Quito con 3 pies de ceniza, oscuridad durante el día, ruidos subterráneos, movimientos del suelo que causan daños en Quito
- 1575: Caída de grueso lapilli, falta de agua, daños en los pastos, destrucción de techos, flujo piroclástico hacia el lado Occidental
- 1582: En Quito lapilli de tamaño de un puño y en alrededores caída de 30 cm de espesor, caída de ceniza en gran extensión. Temblores en Quito, daños de pastizales
- 1660: Impresionante cantidad de ceniza, temblores y ruidos subterráneos, formación de domo, gran lahar (escombros)
- 1868-1869: Explosiones freáticas y erupciones con caída de ceniza en Quito.
- 1881 y 1898: Características similares al anterior período.

### Actividad Reciente (Período de Monitoreo Instrumental)

- 1981-1995: Formación de nuevos cráteres al interior de la caldera (Explosiones freáticas en 1981), varios enjambres sísmicos al Sur-este y bajo el volcán, presencia de tremor. En 1993 se produjeron explosiones freáticas que depositaron varios centímetros de ceniza dentro de la caldera.
- 1997-1999: Sismos en Quito, alto número de eventos de origen volcánico, explosiones freáticas

tics y explosiones magmáticas (varios km de altura). Este período se detalla un poco más adelante.

- Post-1999: Explosiones freáticas esporádicas de acuerdo a los datos de actividad histórica (anterior al período instrumental) se extrae que la actividad del volcán GGP ocasionó una importante afectación a la ciudad de Quito y sus alrededores, principalmente a causa de la caída de ceniza y lapilli que produjo muchos daños en pastizales y fuentes de agua. También se menciona la ocurrencia de sismos y ruidos internos produciendo daños y pánico en la población. Además de flujos piroclásticos y lahares.

### MONITOREO INSTRUMENTAL VOLCÁNICO

El monitoreo instrumental del volcán comienza en el año 1981. En los siguientes años se incrementó el número de estaciones sísmicas y se diversificó los tipos de monitoreo, contándose en la actualidad con 5

estaciones sísmicas de corto período y 22 estaciones banda ancha en la ciudad de Quito (Fig.2). Además se estableció puntos de control de deformación EDMM (*Electronic Distance Measurement*), GPS e inclinometría, medida de gases, de aguas y fotografía térmica. También existe un control y reporte casi diario de las condiciones del volcán y fumarolas realizadas por guardianes que trabajan cerca del borde de la caldera.



FIGURA 2. Estaciones sísmicas de monitoreo del volcán GGP guardianes que trabajan cerca del borde de la caldera.

### Actividad del período 1997-1999

- Marzo/1997: Incremento de la actividad freática dentro de la caldera
- Mayo-Noviembre/1997: Se registran explosiones freáticas





FIGURA 3. Explosión. 7 de octubre de 1999



FIGURA 4. Capa de ceniza sobre el Aeropuerto de Quito por explosión del 5 de octubre de 1999

- Diciembre/1997-Abril/1998: Varios enjambres sísmicos (Vt's, Lp's, Hb's) bajo el edificio volcánico
- Junio/1998: Inicio de enjambre sísmico al Norte de Quito. Este enjambre se extiende hasta agosto de 1998
- 4 de Agosto/1998: Sismo de Bahía, localizado a 220 Km de distancia del volcán
- 7 de Agosto/1998: Se reinicia ciclo de explosiones freáticas que se extendió hasta noviembre de 1998
- 9 de Diciembre/1998: Nuevo ciclo de explosiones freáticas. Este ciclo está acompañado por la presencia de eventos sísmicos Vt's, Lp's, Hb's y enjambres de sismos en Quito y sus cercanías. Este período se extiende hasta el 23 de Septiembre de 1999
- 23 de septiembre de 1999: Inicio de período magmático, que se caracterizó por la formación de domos (9 en total) y sus respectivas destrucciones acompañadas de explosiones con importante contenido de ceniza de las cuales las más importantes fueron las del 5 y 7 de octubre y 26 de noviembre de 1999 (Fig 3, 4)
- Diciembre/1999: Disminución paulatina de la actividad superficial y sísmica. (Datos recopilados de García, 2001)

## MANEJO DE INFORMACIÓN AL PÚBLICO

El manejo eficaz de las comunicaciones e información son aspectos críticos en condiciones de amenaza. En el caso de la existencia de una amenaza, el público necesita contar con información oportuna y precisa del fenómeno y la afectación que pueda recibir a causa del fenómeno, para tomar las debidas precauciones con la finalidad de salvaguardar su vida y sus bienes.

En el caso de la actividad del volcán GGP, la población de Quito y sus alrededores tenía mucha preocupación, dudas e interrogantes del grado de exposición que podía tener a causa de una eventual erupción, razones por las cuales existía la necesidad de información acerca de:

- Las características propias del fenómeno,
- Los peligros que representaba el fenómeno,
- Las medidas apropiadas de seguridad a tomar para protegerse, y
- Evaluaciones adicionales para contrarrestar las incertidumbres de la sociedad

El Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN), para satisfacer la necesidad de conocimiento que tenían y tienen todos los sectores de la sociedad brindó información pertinente a la actividad volcánica a través de mapas de peligros, informes diarios cuando por el grado de actividad así lo requería, informes semanales, informes mensuales, resúmenes anuales y boletines especiales cuando existió una situación particular en el volcán. Esta información fue publicada en el sitio web [www.igepn.edu.ec](http://www.igepn.edu.ec), además se emitieron comunicados por varios medios como mails, fax y llamadas telefónicas. En ocasiones especiales se optó por la realización de ruedas y boletines de prensa entre otros.

Se debe tomar en cuenta que los medios de prensa comprenden una vía rápida y masiva para la difusión de información hacia la comunidad. Aun más se puede aprovechar que en un momento de crisis los medios de comunicación pueden ser una vía efectiva y rápida para la publicación de información que el público necesita, tomando en cuenta que todo incidente crítico puede calificarse como noticia importante para los medios de comunicación. Sin embargo es necesario entender que esta información debe ser canalizada y difundida con



FIGURA 5. Ejemplo de boletín diario emitido por diario El Comercio.

responsabilidad ya que en ocasiones desaciertos o errores en las interpretaciones pueden agrandar los problemas y traer graves contratiempos en la sociedad.

Bajo la premisa mencionada, el Instituto Geofísico durante la crisis vivida en el período 1997-1999 por la actividad del volcán Guagua Pichincha, contó con el valioso apoyo de carácter espontáneo de varios medios de comunicación entre los cuales se destaca el Diario “El Comercio”, uno de los principales medios impresos del país.

Para que el Diario “El Comercio” pueda satisfacer las necesidades de información de la población, el IG se comprometió espontáneamente por su parte a emitir los comunicados con tiempo prudencial previo a la edición, asesorar científicamente y apoyar para la generación de los textos impresos a ser publicados. Es decir en este caso se llegó a un buen acuerdo institucional para la difusión de la información referente a la actividad eruptiva del volcán GGP.

Los comunicados de prensa incluían información diaria sobre el “Estado del Volcán”, además

de segmentos explicativos sobre los peligros asociados al proceso eruptivo y eventuales erupciones, manteniendo un carácter objetivo, acertado, útil y oportuno, involucrando consejos preventivos para hacer frente a los peligros asociados al proceso eruptivo (Fig. 5). Todo esto tratado con un lenguaje de fácil comprensión para la población. La información diaria se inició el segundo semestre de 1998 y se extendió hasta el final de la crisis.

Este tipo de colaboración mutua con los medios no fue exclusiva del

período eruptivo 1997- 1999 si no que ya en el pasado se contó con su participación para notificar de cambios relacionados con la actividad del volcán GGP, así un ejemplo claro de lo mencionado es la noticia difundida por Diario “El Comercio” el día 22 de octubre de 1988, debido a un incremento importante de la actividad sísmica detectada instrumentalmente bajo el edificio volcánico (Fig.6).

Posterior a 1999 se notó una disminución paulatina del nivel de actividad, sin embargo los remanentes de calor en el interior del edificio aunado con el período de lluvias dieron como resultado la generación de explosiones freáticas, que aun cuando no presentaban un peligro para las zonas pobladas, si podían serlo para turistas o caminantes que descendieran a la zona de la caldera, por lo cual cuando este tipo de actividad aparecía se emitía boletines que prevenían los peligros existentes, más aún cuando ya en el pasado se tuvo accidentes provocados por explosiones freáticas, que causaron la muerte de técnicos del Instituto Geofísico cuando realizaban estudios y toma de muestras en el interior de la caldera.

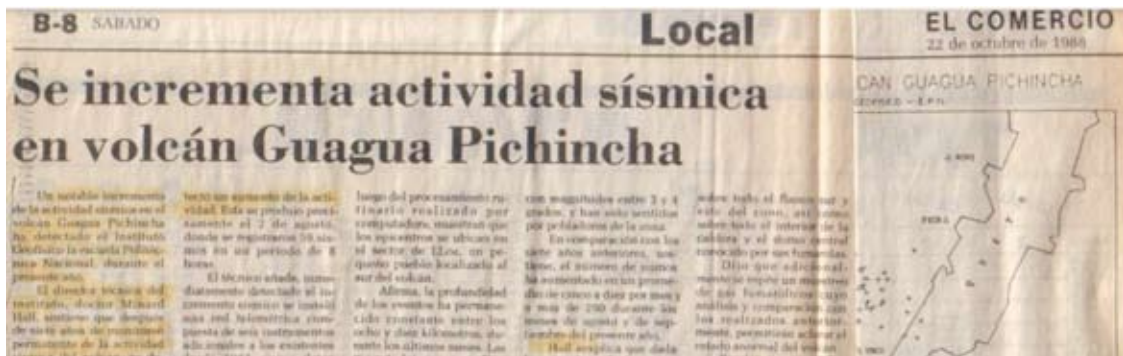


FIGURA 6. Noticia de el Diario “El Comercio” sobre el aumento de la actividad sísmica del volcán Guagua Pichincha

## CONCLUSIONES

- Las comunicaciones e información son aspectos críticos en condiciones de amenaza.
- La población tiene la necesidad de conocer los aspectos relacionados al fenómeno y la afectación que pueda sufrir.
- La difusión de la información hacia la población puede darse a través de varias vías. Una de estas vías puede ser cubierta por los medios de comunicación.
- Los incidentes críticos puede calificarse como noticia importante, por lo que los medios de comunicación pueden ser un buen aliado para la difusión rápida de la información sobre el fenómeno e implicaciones.
- La información debe mostrar las características del fenómeno, la amenaza que éste representa, las acciones a tomar para salvaguardar la integridad de las personas y acotaciones adicionales

sobre las incertidumbres que se presenten en la población.

## BIBLIOGRAFÍA

- Diario el Comercio (<http://ww1.elcomercio.com/default.asp>)
- Egred, J. 1998. Historia Eruptiva del Volcán Guagua Pichincha, IG-EPN. Inédito
- García, A. 2001. Atenuación de Ondas Sísmicas en un Volcán Dacítico: El Guagua Pichincha (Ecuador). Tesis de grado. Universidad de Caldas Manizales
- Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (<http://www.igep.edu.ec>)
- OLADE. 1980. Organización Latinoamericana de Energía. Informa Geovulcanológico: Proyecto de investigación geotérmica de la República del Ecuador. Quito

## PRIMER CONCURSO RADIAL DE REDUCCION DE RIESGOS DE DESASTRES EN PERU

Luis Lozada  
Radio Cutivalú - Piura

A inicios del año 2008, la Asociación Nacional de Periodistas del Perú (ANP), el V Plan de Acción DIPECHO en Perú, el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), lanzaron el *I Concurso de Periodismo Radial: Reducción de Riesgos de Desastres en el Perú* con la finalidad de reconocer y estimular el trabajo periodístico orientado a contribuir a la reducción de riesgos de desastres en el Perú.

Según las bases, podrían participar todos los/as comunicadores/as que hayan emitido informes, reportajes, microprogramas, entrevistas, especiales, cuñas, radioclip, historias de vidas u otros formatos radiofónicos sobre reducción de riesgos y/o preparativos ante desastres, en radioemisoras del Perú hasta inicios del segundo trimestre del 2009.

Radio Cutivalú, que tiene 23 años de vida institucional, es una radio educativa y cultural que contribuye al proceso de desarrollo regional porque se siente parte de él.

Como radio regional es un agente de primer orden que posibilita a la población local integrarse y construir una identidad propia encaminada hacia el desarrollo regional. Permite valorar información (noticias, experiencias, procesos) que se generan en

las provincias y distritos apoyando la construcción de una imagen completa, y no sólo urbana y capitalina.

Por ser la radio el medio más escuchado a lo largo del día, como compañía y como fuente de información, es un medio privilegiado para promover valores, actitudes y conocimiento que sean el soporte subjetivo necesario para que los pobladores/as participen activamente como sujetos de desarrollo.

Es así que desde 1982, cuando se anunciaba la posibilidad de un fenómeno “El Niño” (aunque no se conocería su magnitud hasta julio de 1983 cuando la región Piura sucumbió a los estragos de las lluvias e inundaciones) Radio Cutivalú inició un proceso acelerado de producción de informes, reportajes, entrevistas y paneles sobre el tema. Lógicamente nada fue suficiente y la región en su conjunto sufrió una calamidad que le hizo retroceder varios años en su proceso de desarrollo y desnudó serias fallas en la construcción sin planificación de riesgos.

En 1994 se convocó a un concurso regional de canto titulado “Amar la naturaleza es amar la vida”. El objetivo del concurso buscaba que el mensaje nos





oriente a la necesidad de un aprendizaje continuo con la naturaleza y sus cambios. Varias de las canciones participantes hicieron referencia directa al fenómeno “El Niño”.

En 1997 se produjo una serie radial titulada “Familia prevenida vale por dos”. Básicamente era la historia de una familia que iba dando consejos prácticos para prevenir los daños de una emergencia. Fueron 33 capítulos sobre prevención.

En 1998 nuevamente la región Piura fue sacudida por el “El Niño”. El impacto fue de más corta duración, pero de destrucción mayor. Debilitó lo ya debilitado. El ambiente psico social de amargura, descontento se respiraba y es así que Radio Cutivalú convocó a un nuevo concurso de canto regional denominado “La Fortaleza de mi pueblo”

En el 2001 se publicó una serie de cartillas informativas con el título “Más vale prevenir que lamentar”. Fueron 7 cartillas sobre reducción de riesgos de desastres entregados básicamente en escuelas públicas.

En el 2005, en alianza con varias instituciones públicas y ONGs , se realizó el concurso escolar “Gano con el niño”. Con este concurso, de singular éxito, se contribuyó a que la población escolar de toda la región Piura pueda identificar que el fenómeno “El Niño” también se puede aprovechar en beneficio de la población.

Toda esta trayectoria y experiencia acumulada a lo largo de los años, sirvieron para que, como representante de radio Cutivalú, fuera el ganador del Primer Concurso. El microprograma “PREVENIR NOS DA PORVENIR” rescata el desarrollo de tareas orientadas a la población para prevenir las inundaciones que se producen en la región a causa de las lluvias.

Quiero agradecer a CARE, Cooperazione Internazionale (COOPI) y Oxfam, entre otros, por involucrar a los periodistas en la prevención de desastres naturales en el país. Finalmente, invitar a mis colegas a participar en el siguiente concurso a desarrollarse en el presente año.

# UNA PANORÁMICA SOBRE EL MANEJO DE INFORMACIÓN EN EMERGENCIAS

**Rogério Mobilia Silva**  
Information Management Officer  
OCHA ROLAC – Panamá

## 1. MANEJAR LA INFORMACIÓN

En emergencias, la base para tener el éxito deseado es el manejo de información. Esta debe ser ágil, libre y sobre todo, difundir lo necesario para crear tranquilidad y seguridad en las personas, principalmente en quienes toman las decisiones. La informa-

ción puede ser distribuida mediante voz, imagen y la gráfica.

En general, el tipo de información que se debe difundir va a depender básicamente del contenido de la misma, el medio por el cual es posible transmitirla y a los individuos o población que debe recibir la información. La aceptación de la información





dependerá de poder seleccionar adecuadamente estos tres elementos.

## 2. LA RED “WWW.RELIEFWEB.INT”

Esta red fue creada por una Resolución de la Organización ONU y se ha constituido en la líder mundial en publicaciones humanitarias. La red mantiene una cobertura global de 24 horas en todas sus sedes.

## 3. RED HUMANITARIA “REDHUM”

Se constituye como una unidad Inter-Agencial que cuenta con el apoyo de ReliefWeb y a la fecha se ha constituido como el líder Latino-Americano en publicaciones humanitarias en lenguaje español. Esta red mantiene y realiza acciones conjuntas con

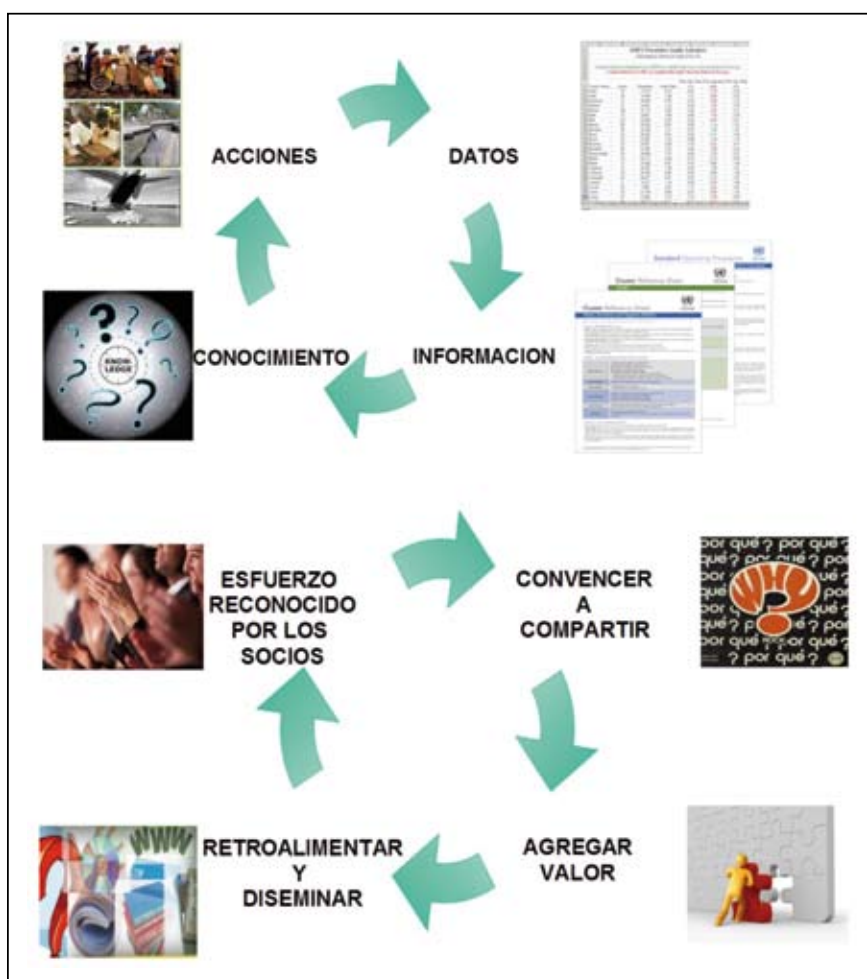
instituciones nacionales de cada país latinoamericano y con organizaciones internacionales.

## 4. EL CICLO CLÁSICO EN EL MANEJO DE LA INFORMACIÓN

Existen dos ciclos para el manejo de la información y para el primero se puede establecer que se inicia con la disponibilidad de los **datos** que se convierte en **información** que va a proporcionar el **conocimiento** primordial para el desarrollo de las **acciones** a seguir.

El otro ciclo va a considerar el poder compartir la información a fin de agregar valores o retroalimentar la información para poder ser diseminada o distribuida por todos los socios. Esto asegura que la información llegue a cada individuo con el contenido suficiente para tener real conocimiento de los peligros y sus respectivas gestiones de riesgo.

CICLOS DEL MANEJO DE LA INFORMACIÓN





### occupied Palestinian Territory - Gaza Situation Report #19

19 January 2009

This report was issued at 08:28 Eastern Standard Time (EST) on 19 January. The next report will be issued just as soon as it is available.

**1. HIGHLIGHTS/KEY PRIORITIES**

- Final Appeal for USD 113 million to support 1.4 million Gazans will be launched on 2 February in New York.
- Two people were killed and 12 injured, including seven school children, in recent bombings.
- Flow of aid and staff into Gaza remains restricted.

**2. Education Overview**

A number of incidents since 27 January result in the supply of the education materials impeded by Israel on 19 January, and later the same day by Hamas and other Palestinian factions.

**27 January:** 1600 Israeli soldiers and 1600 UNRWA soldiers searched for a suicide bomb on the road side of the Gaza border. One Palestinian was killed and another seriously injured by Israeli fire following the explosion.

**28 January:** 1600 Gazan students were held from Palestine into southern Israel. No injuries reported.

**29 January:** one Palestinian was injured by air strikes. Seven school children were also injured.

The number of trucks allowed to enter Gaza daily is insufficient to meet daily requirements. Staff of humanitarian organizations also continue to face harassment and delays in crossing. UNRWA, which is reporting response efforts.


**18. Humanitarian Needs and Response**

**Protection**

Total # cases	# of persons injured that are children
27 December	10
28 December	10
29 December	10
30 December	10
31 December	10
<b>Total # cases</b>	<b>50</b>
<b>Total # children injured</b>	<b>50</b>
<b>Total # persons injured</b>	<b>50</b>
<b>Total # children killed</b>	<b>0</b>
<b>Total # persons killed</b>	<b>0</b>

\* Incidents by the Israeli military and Hamas, 27-31 December 2008. UNRWA is not including those who have died as a result of the Israeli military and Hamas, 27-31 December 2008. UNRWA is not including those who have died as a result of the Israeli military and Hamas, 27-31 December 2008. UNRWA is not including those who have died as a result of the Israeli military and Hamas, 27-31 December 2008.

The ERCC reported that at least 100 people have been registered by their families as missing since the fighting began.



## ISCRAM

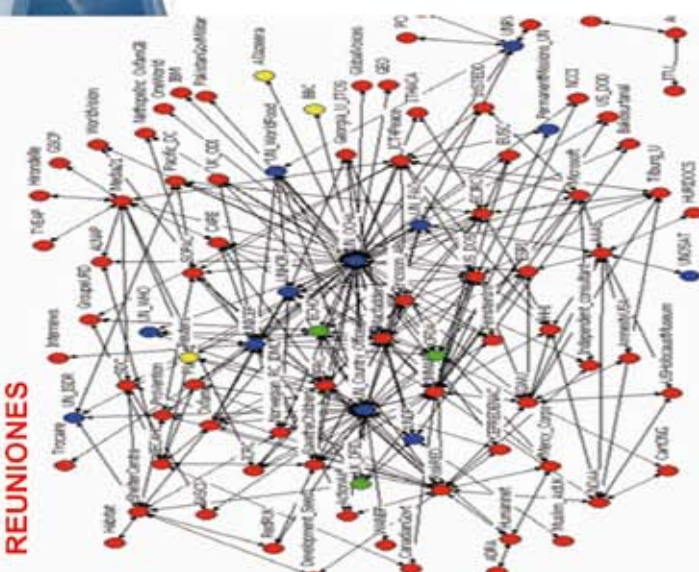
**ISCRAM2010**  
Defining Crisis Management 1.0  
7th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management  
May 23, 2010  
Crowne Plaza Hotel  
Seattle Washington USA

**CALL FOR PAPERS**

The theme for ISCRAM2010 is Defining Crisis Management 1.0. Our aim is to look forward at the conference and consider how our rapidly changing technologies may change the way that we respond to crises in our ever more interconnected world.

**ISCRAM2010**  
Call for Papers  
Session Information/Abstracts  
Call for Papers  
Print Announcement

## REUNIONES



### ISCRAM2010 Call for Papers

Written by Sarah Lynn de Waile  
Tuesday, 13 August 2009

Home  
ISCRAM community / Tuesday, 13 October 2009

**CONFERENCIAS**

ISCRAM Association  
Browse a message  
2009-10-13 Board Members  
ISCRAM mailing list  
Visit us at Facebook

ISCRAM2010  
Call for Papers  
Session Information/Abstracts  
Call for Papers  
Print Announcement

International Community on Information Systems for Crisis Response and Management

ISCRAM Community

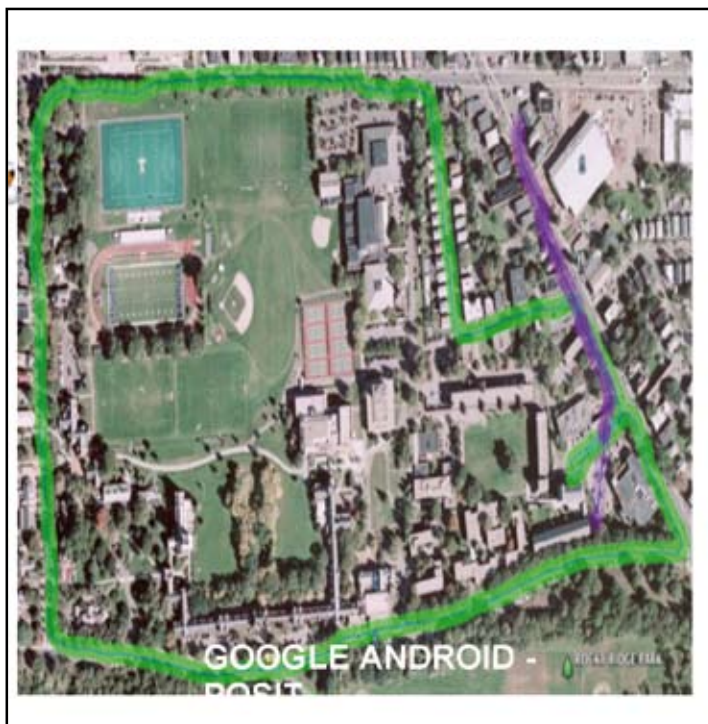
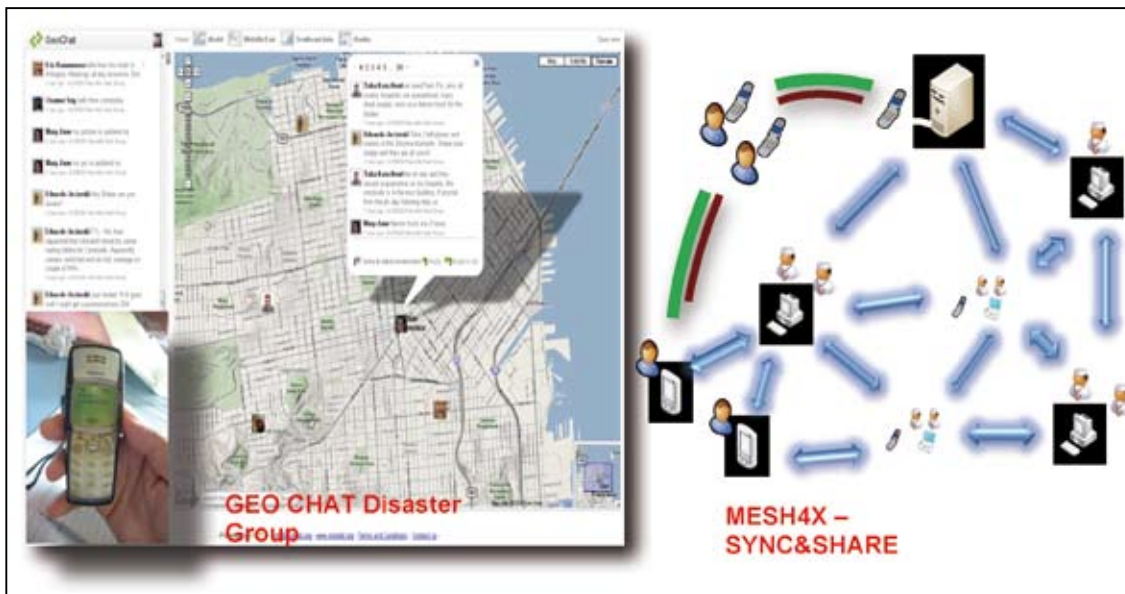
Search...

### 5. TRABAJOS EN CURSO

En la actualidad la Red Humanitaria viene desarrollando diversas actividades como la elaboración de Informes o Boletines informativos, viene coordinando reuniones por Internet y realizando conferencias internacionales sobre Sistemas de Información para el manejo de Crisis.

### 6 OTROS TRABAJOS

Como complemento para el manejo de la información se viene realizando el equipamiento de sistemas de búsqueda de calles, los enlaces por red utilizando Internet y/o telefonía y para mayor escala de búsqueda, el Google Earth.



# LA COMUNICACIÓN SOCIAL

## REDUCIENDO LOS RIESGOS DE DESASTRES A NIVEL LOCAL

Marco Antonio Jácome Beltrán  
Radio de la Universidad de Bolívar - Ecuador

### 1. LA COMUNICACIÓN EN LA PREVENCIÓN DE DESASTRES

La comunicación entre las personas es determinante, más aún si se trata de compartir información sobre el medio ambiente, donde hay probables riesgos y desastres que derivan en crisis personales y grupales.

En lo relacionado a la cultura del miedo, se contrarresta apelando a una comunicación que investigue, contextualice, verifique las fuentes, seleccione la información y socialice ésta en el momento adecuado a los diferentes actores, con el uso del lenguaje que estos entiendan y circulan en lo cotidiano.

### 2. PLAN ESTRATÉGICO PARA LA PREVENCIÓN DE LOS DESASTRES

Un plan de comunicación debe considerar desde el inicio la participación de todos los involucrados, en el sentido que ellos conocen el problema desde la vivencia y pueden sugerir desde lo empírico una serie de medidas a tomar.

La comunicación en la prevención de los desastres pasa por cuatro momentos:

- Conocer para comprender la realidad, bajo el intercambio de criterios con todos los actores involucrados.
- Planificar la comunicación a corto, mediano y largo plazo con los actores sociales
- Socializar el plan

- Divulgar la información y materiales de comunicación de manera pedagógica.

Los medios de Comunicación pueden ceder a la tentación de acentuar la tragedia y el desorden, o pueden más bien colaborar con la tarea de reducir el impacto y el riesgo de la zona y fomentar una respuesta pública más eficaz.

### 3. TRATAMIENTO PERIODÍSTICO DE LA INFORMACIÓN SOBRE DESASTRES

El funcionamiento de los medios de comunicación se caracteriza por una dualidad en su naturaleza: por un lado son empresas lucrativas, que buscan ser competitivas en el mercado y por otro, son entidades que brindan un servicio público y por ende, tienen una enorme responsabilidad social que cumplir.

Entonces, ¿cómo hacer para que los medios de información incorporen con cierta prioridad el tema de la prevención y mitigación en sus agendas cotidianas? ¿A quién corresponde esa decisión?

### 4. ÉTICA DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN

Las nuevas tecnologías de la información, la comunicación en sí, la inmediatez de la noticia, el mundo globalizado, la sociedad más informada y alerta de lo que acontece, han convertido a los Medios de Comunicación en agentes, actores y protagonistas.

Por su parte los gobiernos de turno deben escuchar a los diversos sectores ciudadanos para tomar las mejores decisiones que vayan en beneficio de la colectividad, saber gobernar y escuchar es lo más sensato al interior de un país.

La responsabilidad social nos obliga a adoptar mecanismos de defensa de la integridad periodística en nuestro país, basados siempre en la verdad, no en el sensacionalismo o amarillismo. Nuestra tarea es gravitante e importante en el desarrollo de nuestros pueblos, una sociedad bien informada avanzará por los caminos del desarrollo y progreso; lo contrario, llevará al oscurantismo y pérdida de identidad de nuestros pueblos.

## 5. LA COMUNICACIÓN SOCIAL PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO

Una cultura de prevención implica una actitud colectiva que sólo puede construirse mediante un largo proceso social. Dentro de este proceso, la democratización de la información sobre desastres y la creciente participación de la sociedad civil son factores claves.

El comunicador es el puente entre los técnicos, investigadores y profesionales especializados y la población, quien conoce las herramientas para sintetizar la información y presentarla al público en términos de fácil comprensión, sin desvirtuar ni distorsionar el contenido técnico. La población tiene el derecho de obtener información objetiva y oportuna, de tal manera que pueda contribuir a la mitigación y hacer conciencia.

## 6. LA COMUNICACIÓN EN LAS ETAPAS DE UN DESASTRE

**Prevención (antes)**, advertencia sobre el riesgo o peligro, información sobre el fenómeno, difusión de medidas de prevención. Contrarrestar falsos rumores que afecten negativamente en el ánimo y toma de decisiones de la población. Buscar la información en las fuentes autorizadas. Orientación a la población. Concienciación y orientación a las autoridades.

**Atención (durante)**, relato del suceso, situación de la comunidad afectada. Información encaminada a contrarrestar los rumores falsos. Emitir

disposiciones emitidas por las autoridades que administran la emergencia en la comunidad.

**Rehabilitación (después)**, Difusión de información. Información sobre zonas afectadas. Orientaciones sobre lo que debe hacer la comunidad para colaborar en la rehabilitación. Indicar qué hacer para la reconstrucción del sector.

## 7. NUEVA CONSTITUCIÓN DEL ECUADOR Y LA GESTIÓN DEL RIESGO

El 28 de septiembre del 2008, el Ecuador aprobó en las urnas, con el 85 % de su población a favor, el nuevo marco constitucional que rige oficialmente en la República del Ecuador desde el 14 de octubre del 2008, una vez publicado en el Registro Oficial.

La Constitución en su primer capítulo Sección IX hace una mención expresa sobre la gestión del riesgo en los artículos 389 y 390.

## 8. EXPERIENCIAS EN RADIO UNIVERSIDAD DE BOLIVAR

La experiencia realizada gracias al Proyecto de Cooperación Internacional (COOPI) en la ciudad de Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador, ha sido de enorme satisfacción para los Comunicadores Sociales, autoridades y ciudadanía en general, pues se ha llegado a los sectores más apartados y de verdadera peligrosidad donde pueden ocurrir desastres naturales

La labor ha sido titánica, pero se ha conseguido los objetivos trazados desde un principio. La difusión de programas radiofónicos con lenguaje sencillo y claro, ha permitido que los diversos sectores de la sociedad bolivarense conozca y sepa qué hacer en caso de un evento natural. La participación de niños, niñas, jóvenes, mujeres, adultos y autoridades ha elevado el nivel de conocimiento y cultura para prevenir desastres provocados por nuestra naturaleza.

## 9. CONCLUSIONES

- El Decreto Presidencial 1041 del 23 de abril del 2008, suscrito por el Presidente Rafael

Correa, está permitiendo que varias entidades de orden público y privado, como fundaciones, organizaciones, entre otras, puedan difundir a través de radios públicas y comunitarias, la información pertinente sobre lo que vienen haciendo en la prevención de desastres y Gestión del Riesgo.

- El papel de la comunicación permite que expertos, gobiernos y la comunidad expongan a los sectores sociales el conocimiento de los riesgos. Lo conveniente es insertar en el flujo cotidiano de información, los contenidos de prevención de desastres y así convertirlo en un tema cotidiano en el desarrollo de la ciudad y región.
- EL Comunicador Social es el puente entre los técnicos, investigadores y profesionales especializados y la población. El comunicador es quien conoce las herramientas para sintetizar la información y presentarla al público en términos de fácil comprensión, sin desvirtuar ni distorsionar el contenido técnico.
- El manejo de la información y los medios de comunicación son un eslabón crucial en la cadena de medidas de prevención de desastres naturales. La población tiene el derecho de obtener información objetiva y oportuna, de tal manera que pueda contribuir a la mitigación y hacer conciencia
- Los medios de comunicación colectiva determinan en gran medida la forma en que la gente reacciona ante los desastres, ya que la comunidad depende de la información para tomar decisiones.
- Los medios de comunicación tienen la responsabilidad social de informar veraz y pertinentemente sobre los desastres, no solo cuando están ocurriendo, o cuando salen a la luz las trágicas consecuencias de tales eventos, sino también antes de que sucedan.
- Los medios masivos pueden desempeñar un papel fundamental en la prevención y en la fase de alerta temprana mediante la publicación de mensajes educativos que lleguen a los grandes grupos de personas a través de la radio, la televisión, los diarios, las revistas, esclareciendo y orientando sobre la temática.
- En materia de prevención, es importante que el comunicador tenga claridad en la utilidad e impacto que su mensaje tendrá en el público; cuáles canales de comunicación utilizará; cuáles son las consecuencias positivas o negativas que tendrá esa emisión; los conceptos básicos que utilizará para no confundir a los receptores; prepararse y capacitarse para cubrir el tema y elaborar una lista de fuentes confiables para emitir la información veraz y oportuna.
- Saber escuchar al pueblo, el saber popular debe combinarse con el saber técnico para lograr los resultados de concienciación que queremos y de esta manera ayudar a los sectores de mayor vulnerabilidad en nuestras regiones latinoamericanas.

# SISTEMA NACIONAL DE ALERTA DE TSUNAMI – SNAT

Aristides Mussio Pinto  
Dirección Regional INDECI Costa Centro

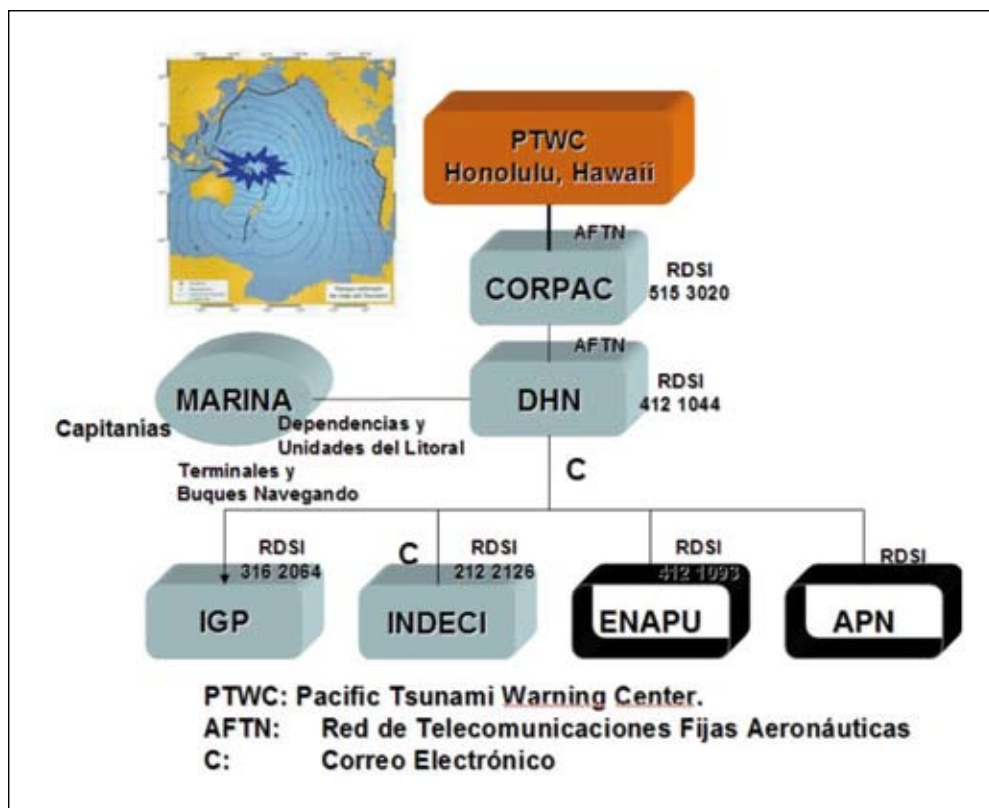
## 1. OBJETIVO

Brindar a la población información oportuna y real (auténtica) sobre la generación de un TSUNAMI, permitiendo la activación de los Planes de Evacuación.

## 2. EL SISTEMA DE ALERTA INTERNACIONAL

Este sistema surge después del terremoto que afectó Chile en Mayo de 1960 y cuyo tsunami cruzó

el Océano Pacífico causando daños importantes en Hawaii y Japón. La sede central de este organismo se establece en Honolulu – Hawaii y cumple la función de monitorear el avance de los tsunamis en todo el Pacífico a fin de proporcionar alertas de tsunami a los países que bordean al Océano Pacífico. En la figura siguiente se detalla la línea que siguen en el Perú las alertas dadas por esta institución internacional, así como el manejo de la información en cada institución nacional.



## 2.1. Red Digital de Servicios Integrados – RDSI - ISDN

Servicio mediante el cual las líneas telefónicas pueden transportar señales digitales en lugar de señales analógicas, aumentando considerablemente la velocidad de transferencia de datos a la computadora. ISDN combina servicios de voz y digitales a través de la red en un solo medio, ofrece a los clientes servicios digitales de datos así como conexiones de voz a través de un solo “cable”. Se requiere contar con el equipo y el software necesario así como la oferta del servicio por parte tanto de la central telefónica local como del proveedor de servicios de Internet. La velocidad de transferencia que puede alcanzar el ISDN es de 128,000 bps, aunque en la práctica las velocidades comunes son de 56,000 o 64,000.

## 3. TSUNAMI DE ORIGEN LEJANO

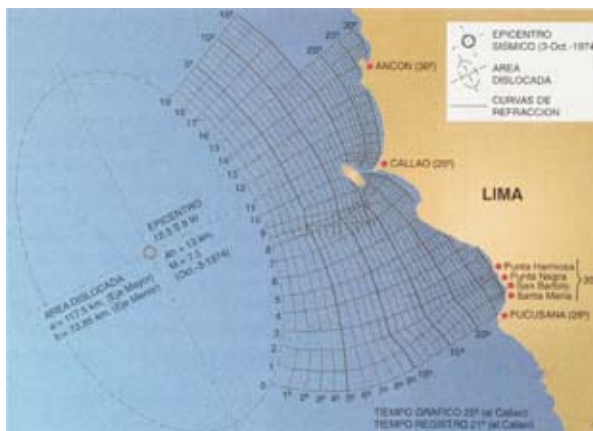
En el caso del Perú, un sismo que genera un tsunami lejano tiene las siguientes características:

- El sismo no es sentido por los habitantes y no produce daños.
- La información proviene del Centro de Alerta de Tsunami del Pacífico, Honolulu, Hawaii, EEUU.
- Las facilidades y/o capacidades de comunicaciones no han sido impactadas por el peligro.
- Hay tiempo prudencial para evacuar la costa

## 4. TSUNAMI DE ORIGEN CERCANO

En este caso, el sismo que genera un tsunami local tiene las siguientes características:

- El sismo es sentido por los habitantes y produce daños importantes.
- La información sobre los parámetros hipocentrales del sismo provienen del IGP.
- Las facilidades y/o capacidades de comunicaciones podrían haber sido impactadas por el peligro.
- El tiempo de llegada de la primera ola podría estar dentro de los 20 minutos.
- Presión psicológica para ordenar la evacuación

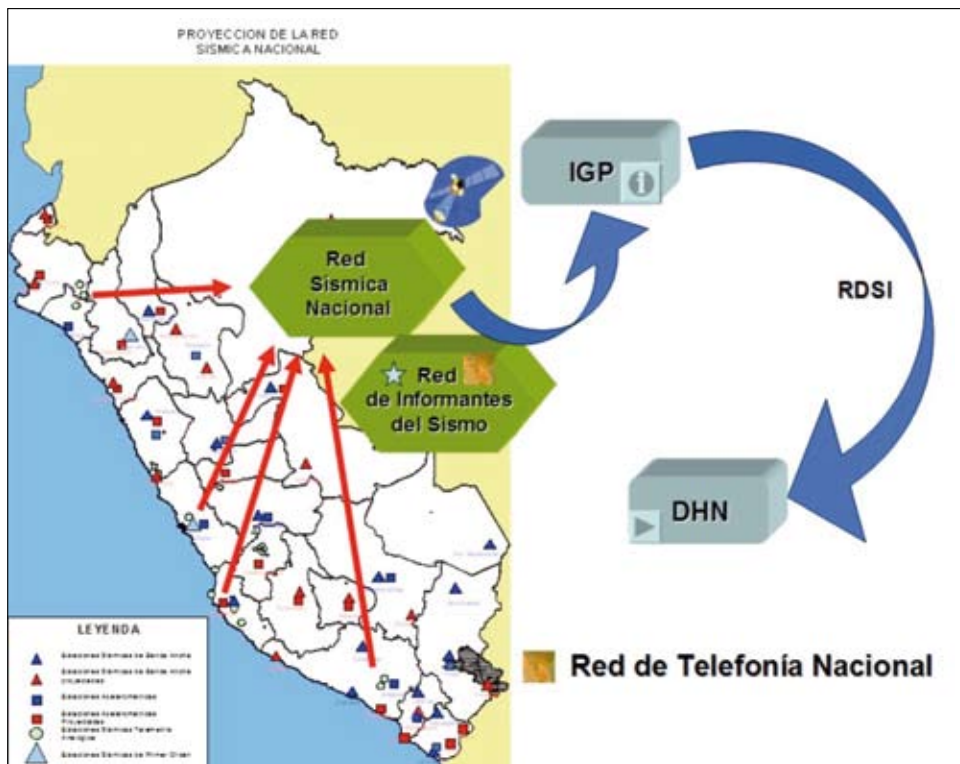


- Presión para obtener los parámetros de ubicación y magnitud del sismo.
- El daño al interior del país reduce la reacción al impacto del Tsunami.

## 5. SISTEMA NACIONAL DE ALERTA TEMPRANA - SNAT

El Sistema Nacional de Alerta Temprana (SNAT) considera como punto primordial conocer los parámetros hipocentrales de los sismos que pudieran producir un tsunami, siendo esta la responsabilidad del Instituto Geofísico del Perú (IGP). Para ello el IGP cuenta con una red sísmica nacional que cumple la función de monitorear la ocurrencia de sismos, así como una red de informantes a nivel nacional que proporcionan información sobre la percepción del sismo en cada localidad. Conocidos estos parámetros la información sobre el sismo fluye hacia la Dirección de Hidrografía de la Marina (DHN) a efectos de evaluar el comportamiento del nivel medio del mar.

El IGP proporciona información básica sobre las características de los sismos tal como se muestra en el esquema mostrado líneas abajo. Es necesario conocer la fecha, hora, sus parámetros epicentrales (latitud y longitud), la magnitud del sismo, su intensidad y la profundidad del foco. Información complementaria lo constituye saber el porcentaje de daños producidos en cada ciudad y cual es la mas cercana al epicentro del sismo. De esta información, la que define si el sismo producirá tsunami o no, es la ubicación del epicentro y su magnitud.



**Instituto Geofísico del Perú – IGP**  
**SERVICIO SISMOLOGICO NACIONAL**

Fecha: dd/mm/aa  
 Hora Local: HHMM (24 horas)  
 Latitud: XX.XX °S  
 Longitud: XXX.XX °W  
 Magnitud: XX ML (Richter)  
 Intensidad: XX (rom.) Mercalli Modificada MM  
 Profundidad: XX Kms.  
 Referencia: XX Kms. Desde un punto conspicuo  
 Intensidades: XX (rom.) en (Ciudad de origen de la información)  
 Hora de recepción de la información:

## 6. EL SNAT Y LOS TSUNAMIS DE ORIGEN LEJANO CERCAO

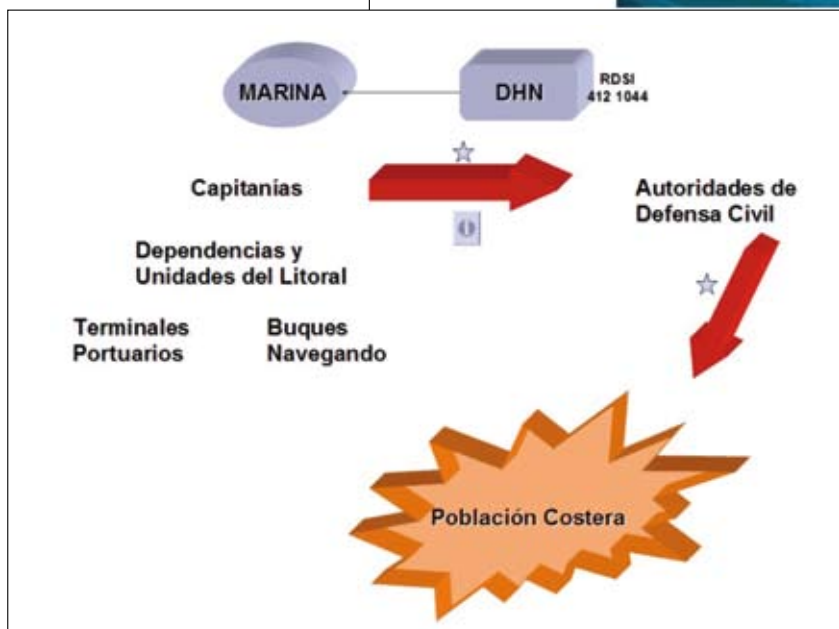
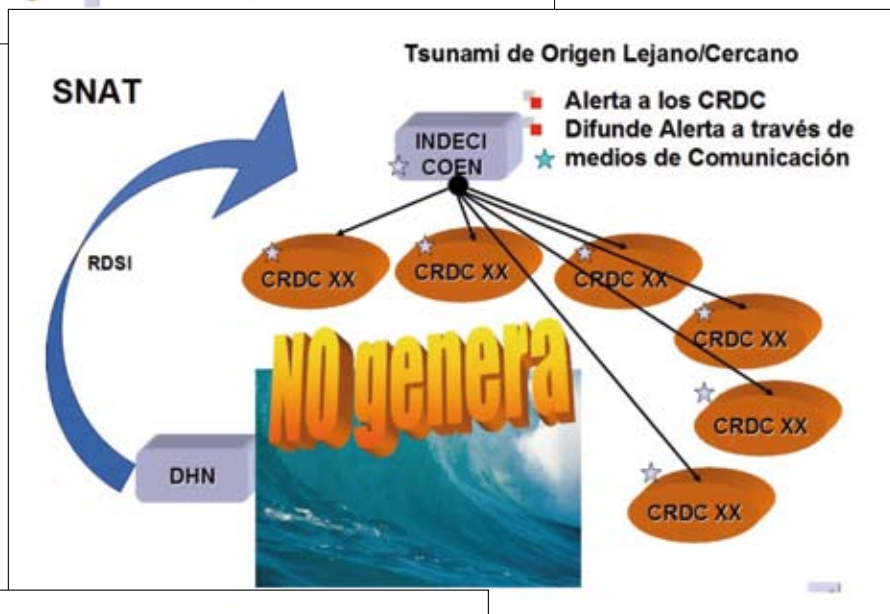
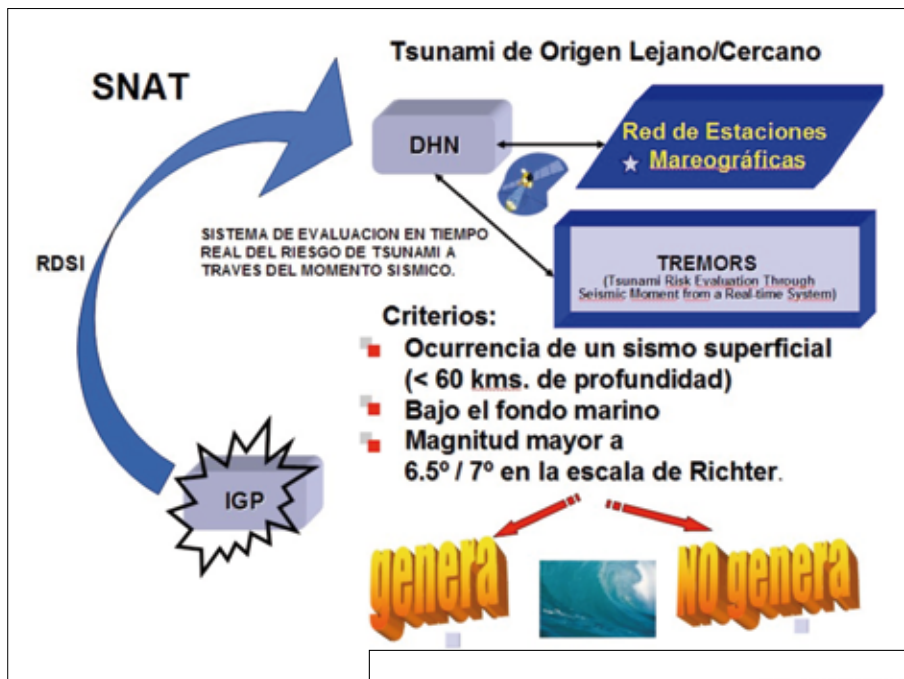
Para definir si un sismo producirá o no un tsunami, se deben considerar los criterios indicados en el esquema siguiente. Además, el IGP como el DHN disponen del sistema de alerta de tsunamis regional/internacional conocido como TREMORS que solo requiere información de una estación sísmica de 3 componentes para proporcionar información sobre el epicentro del sismo y su magnitud. En este caso se utiliza la estación sísmica de Ñaña (NNA).

Si la información transmitida por el IGP y el DHN indica que el sismo “no” producirá tsunami, INDECI a través del COEN proporciona la información a todos Comités Regionales de Defensa Civil (CRDC), quienes utilizando los medios de comunicación disponibles difunden la información.

Paralelamente, se sabe que el DHN informa a sus capitanías y población costera siguiendo el esquema mostrado a continuación.

Ahora, si la información proporcionada por el IGP e DHN indican que el sismo “si” producirá un tsunami, INDECI por medio del COEN alerta a todos



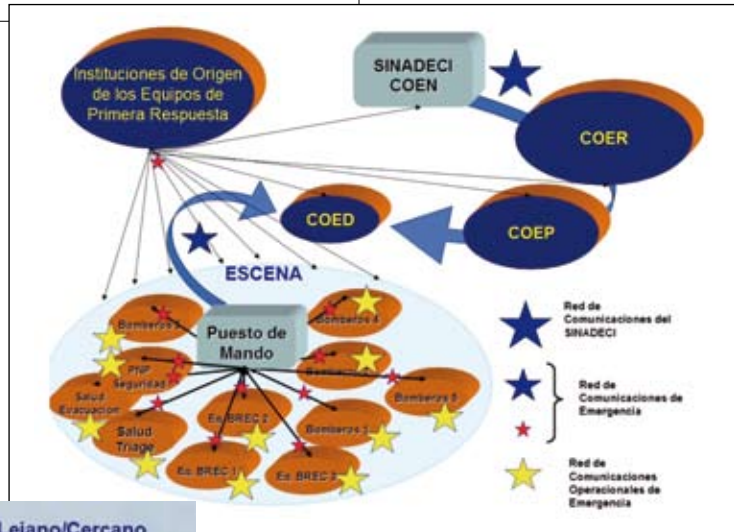
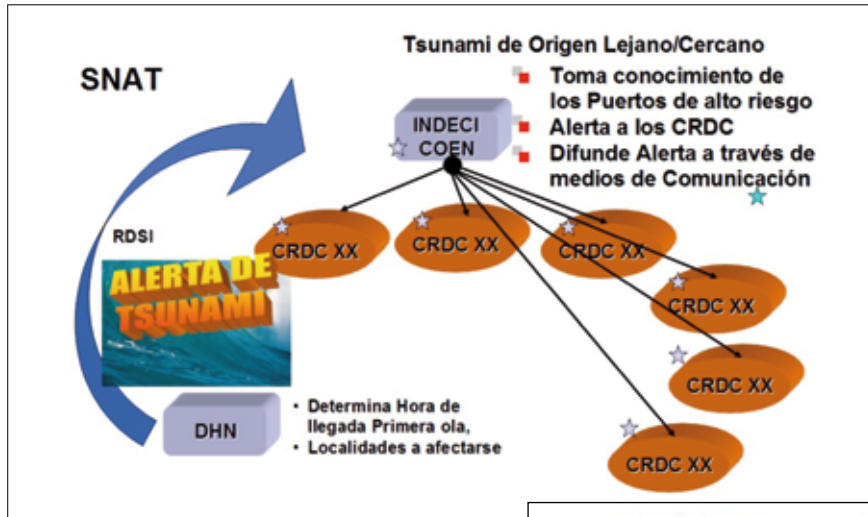


los comités regionales de Defensa Civil (CRDC), principalmente aquellos cercanos a los puertos donde el riesgo es alto. Posteriormente, cada CRDC se encarga de difundir la alerta utilizando los medios de comunicación disponibles a lo largo de toda la costa peruana.

En las ciudades, y localidades donde los efectos del tsunami y terremoto serán mayores, el SINA-

DECI coordina con las instituciones de origen de los equipos de primera respuesta y cuyos integrantes se detallan en el esquema adjunto.

Finalmente, las alertas se dan a los comités provinciales y dependencias de Defensa Civil a fin que ordenen la activación del Plan de Evacuación en todas las zonas costeras que el tsunami afectará. La información llega a los receptores finales, la población.



En las zonas costeras algunos gobiernos regionales a través de sus Comités de Defensa Civil han adquirido sistemas de alerta con bocinas que deben cumplir la función de alertar a la población.



## 7. COMENTARIOS

Más que comentarios podemos indicar que son ideas que ayudarán a mejorar las funciones del SNAT:

- Establecer, normar, difundir y probar el SNAT a fin de que las autoridades del Sistema Nacional de Defensa Civil (Presidentes de los respectivos Comités de Defensa Civil) y responsables de la activación de los planes de evacuación y de informar a su población, tomen conciencia de su competencia.
- Constituir una red especial que fortalezca y asegure la comunicación en la Red de Informantes del IGP a fin de complementar los datos de intensidad del sismo.
- Incrementar las estaciones sísmicas (Red Sísmica Nacional) con instrumentos satelitales

autónomos que aceleren la transmisión de la información sobre el sismo ocurrido, para su difusión inmediata a las autoridades del Sistema Nacional de Defensa Civil.

- Promover la reducción del tiempo de transmisión de la información sobre el sismo/tsunami en las Instituciones competentes, a fin de que sea automática y no dependa de la lectura de ésta, mediante la implementación de protocolos y de equipamiento adecuado en la comunicación a través de la Red Digital de Sistemas Integrados - RDSI.

## 8. CONCLUSIONES

- Generar cuñas televisivas y radiales con anticipación, que difundan de manera constante y mientras dure la alerta, la información sobre sismo/tsunami, a través de los medios televisivos y radiales.
- Implementar una estación de TV y radial AM y FM de alcance nacional y fundamentalmente costera, que transmita de manera automática la información sobre sismo/tsunami.
- Comprometer a las empresas radiodifusoras locales a difundir estas cuñas con la información sobre el sismo/tsunami.
- Contar con estaciones de radiodifusión locales, que en casos de emergencia difundan la información local del sismo/tsunami y las actividades de emergencia que se están efectuando. Su frecuencia debe ser difundida y activada a consecuencia de la alerta o ser parte de las capacidades del Servicio Móvil Terrestre.

# HERRAMIENTAS PARA LA COMUNICACIÓN EN EMERGENCIA

Jaime Huerta  
Cruz Roja Peruana



Vehículo moderno de telecomunicaciones de la Cruz Roja Peruana brindará servicios integrales en las zonas afectadas por desastres en el Perú y Latinoamérica.

El terremoto de Pisco puso en debate la falta de comunicación que se tiene luego de un desastre natural; por lo tanto, el Perú procedió a proveerse de equipos especializados con antenas GPS para mantener comunicaciones en las zonas afectadas.

Este sistema está constituido por una Red Nacional de Radio y cuenta con bases en once localidades del país, un Centro Nacional de Coordinación de las Comunicaciones con sede en Lima, y una Unidad Móvil de Comunicaciones. Este sistema fue implementado por la Cruz Roja y Telefónica para emergencias y permite la respuesta local e inmediata de organizaciones humanitarias ante un desastre. Esta iniciativa será operada por la Cruz Roja Peruana y podrá atender en el campo las necesidades de comunicación de otras instituciones como Defensa Civil, la Policía Nacional, el Ejército y los Bomberos. Es una red independiente, con subredes y con recursos suficientes que funcionan en cualquier situación.

## EL SISTEMA DE COMUNICACIONES

El Sistema de Comunicaciones consta de dos ejes estrechamente vinculados: una Red Nacional de Radiocomunicación y una Unidad Móvil de Emergencias con capacidad de desplazamiento inmediato. La implementación del sistema se ha nutrido de la habilidad de los técnicos de telecomunicaciones de Telefónica y de Cruz Roja, quienes además aportan su gran experiencia de trabajo de campo en situaciones de emergencia.

La Cruz Roja determinó la necesidad de contar con equipos de intervención en una emergencia que garanticen las comunicaciones en cualquier lugar y circunstancia debido a la cantidad de desastres naturales a los cuales está expuesto nuestro país, como los eventos del Fenómeno del Niño, terremotos, inundaciones, olas de frío, huaycos y sequías.



## LA UNIDAD MOVIL

La Unidad Móvil se encuentra equipada con diversos sistemas de telecomunicación: radio de corto y largo alcance, radio terrestre, aéreo y marino, transmisión de datos, teléfono satelital y teléfono celular. Asimismo, la unidad cuenta con sistemas de alimentación eléctrica autónomos: paneles solares, grupos generadores de corriente y baterías, con capacidad suficiente para mantener la unidad operativa aún sin energía eléctrica.

Esta Unidad Móvil, además de facilitar una intervención coordinada entre los diferentes miembros de Cruz Roja, prestará servicio a otros actores externos presentes e involucrados en la emergencia como Defensa Civil, la Policía, el Ejército, los Bomberos y profesionales de la salud, entre otros. De tal manera que el sistema beneficia directamente a todos los equipos e instituciones que intervienen en una emergencia e indirectamente a toda la población civil.

En Europa existen tres unidades de emergencia similares, que se encuentran estacionadas y pueden ser desplazadas a cualquier país del mundo dependiendo de las necesidades identificadas en la zona del desastre. Estas unidades son entonces desplazadas a la zona de emergencia tres o cuatro días después de ocurrido el desastre. Por la rapidez con que puede ser desplazado, el Perú sería el primer país en el mundo en contar con una unidad de telecomunicaciones para emergencias en el terreno lista para ser transportada por vía terrestre o aérea al lugar del siniestro. Igualmente, la Unidad Móvil al mantener la comunicación directa con la zona del desastre permitirá que llegue la ayuda necesaria para los pobladores. De esta manera, la respuesta frente a una emergencia podrá ser inmediata y eficaz.

Es importante resaltar que esta unidad cuenta con un sistema que no tienen otras unidades de emergencia en el mundo: la Estación Base Celular. Esta estación permite crear una célula GSM en cualquier lugar, de forma tal que la comunicación celular e inalámbrica pueda ser implantada en la zona de emergencia. Este sistema celular es soportado por una pequeña y robusta estación satelital, que facilita la independencia ante la eventualidad que los soportes de transmisión terrestre hayan sido afectados.

## LA RED NACIONAL DE RADIOCOMUNICACION

Esta Red cuenta con un Centro de Coordinación de Comunicaciones ubicado en San Juan de Lurigancho (Lima), que está encargado de la gestión y el mantenimiento técnico de la red. El centro contará con sistemas de telecomunicación y servicios que garanticen estar alerta durante 24 horas, los siete días de la semana. En caso de desastre, ellos iniciarán la comunicación hasta la llegada de la Unidad Móvil.

Además, la Red tiene once bases filiales distribuidas estratégicamente por todo el país que poseen equipos de radio para la comunicación en el ámbito nacional, sin restricciones ante cualquier adversidad. Las once bases están ubicadas en Arequipa, Caraz, Cusco, Huancané, Lima, Mariscal Cáceres, Maynas, Nazca, Piura, Puno y Tumbes.

El proyecto también contempla la capacitación del personal en el uso y mantenimiento de los equipos, tanto de la Unidad Móvil como de la Red Nacional de Radiocomunicación.

## EQUIPOS DE LA UNIDAD MÓVIL

Sistema de telecomunicación	Características
Radio HF	Radio de larga distancia (cobertura mundial).
Radio VHF	Radio de corta distancia (aproximadamente 90km).
Banda aérea	Comunicación con aviones comerciales o del ejército.
Banda marina	Comunicación marina y con redes fluviales, por ejemplo con las lanchas ambulancias del MINSA.
Escáner	Comunicación con cualquier radio en el terreno, como bomberos, policía, centros de salud, radio aficionados, entre otros. Permite incluir el sistema en otras redes, ampliando las células de comunicación de la misma.
Equipo bi-banda	
Inmarsat	Transmisión de datos por computadoras.
Iridium	Teléfono satelital.
Repetidor VHF	Permite ampliar la red de radio VHF en 90 Km. adicionales, convirtiéndola en una red de 180 Km.
Estación Satelital	Medio de transmisión para telefonía fija, celular y acceso a Internet.
Estación Base Celular ( <i>Base Transceiver Station</i> )	Restablece la comunicación celular e inalámbrica en la zona inicialmente solo para las unidades de emergencia, luego para la población civil.

## MESA REDONDA

Reflexionar sobre la relación entre la investigación científica, la gestión de crisis, su preparación y la comunicación.

A partir de algunas preguntas formuladas por el moderador, la mesa redonda tuvo como principal objetivo reflexionar y discutir sobre el aporte de la comunidad científica hacia los profesionales y organizaciones que intervienen directamente en las situaciones de emergencias, sean los gobiernos locales y regionales, los responsables políticos y administrativos o los integrantes de las ONGs. Se trató también de entender cómo se comunican y se transmiten estas investigaciones.

### ***Preguntas para los miembros de la mesa redonda y el público:***

- ¿De cuál tipo de información se necesita durante un periodo de emergencia y para preparar situaciones de emergencia?
- ¿Cómo utilizar esta información (dónde tiene que encontrarse, qué tipo de formato...)?
- ¿Cuál es el aporte actual de la investigación científica en la gestión de crisis o cuál debería ser su aporte?
- ¿Cuáles son los campos científicos que se necesitan más o se necesitan desarrollar porque todavía no se han involucrado?

### ***Principales conclusiones***

Cada integrante de la mesa redonda formuló su punto de vista.

Los investigadores describieron el tipo y disponibilidad de la información que producen tanto en el campo técnico como en el campo social. Intentaron

mostrar cómo esta información podría sensibilizar y capacitar a la sociedad si fuese bien encaminada o si llegara a manos de quienes realmente puedan comunicarla de una forma entendible.

Los profesionales en gestión de crisis participantes llegaron a la conclusión de que la información disponible es de suma utilidad para orientar las acciones de emergencia ya que permite disminuir las incertidumbres propias de una sociedad expuesta a la ocurrencia de peligros de diferentes tipos y de gran magnitud.

Hubo consenso entre los miembros de la mesa redonda sobre el hecho de que se ha producido una gran cantidad de información acerca de los riesgos durante los últimos diez años en la región andina, acompañando los avances en políticas de gestión del riesgo asumidas por algunos países de la Comunidad Andina. Sin embargo, falta todavía investigar para producir información que aún está poco desarrollada sobre :

- vulnerabilidad social e institucional;
- vulnerabilidad estructural, en particular en los barrios poco acomodados y para estructuras esenciales del funcionamiento territorial;
- capacidades y recursos de emergencia, su localización y sus características;
- sistemas urbanos resilientes;
- etc.

Se enfatizó también la importancia de cuantificar económicamente las pérdidas producidas por los desastres y su incidencia en el desarrollo de los países, como una metodología para concientizar más a las autoridades políticas de los países.

Se hizo énfasis sobre la insuficiente inversión en investigaciones científicas sobre riesgo y sobre cómo hacer para que estas inversiones rindan más, sean más útiles para las organizaciones de ayuda humanitaria y para la población más vulnerable. La inversión económica en las investigaciones está ligada a la ocurrencia de los desastres y no se considera como una actividad preventiva a largo plazo. La formación de jóvenes investigadores en gestión de riesgo tampoco se ha desarrollado de manera suficiente.

Fue expresada la dificultad de los científicos de acercarse a los tomadores de decisión cuyo interés en gestión de riesgo es muy desigual y generalmente de bajo nivel. Todavía la gestión de riesgos no es de gran interés para la mayoría de los tomadores de decisión desde el punto de vista político y electoral, como ya es el caso en algunos países europeos.

Otra dificultad es la de hacer llegar la información científica sobre riesgos y vulnerabilidades

a los niveles más descentralizados y a las comunidades. Para eso se necesitan científicos que tengan voluntad y capacidades pedagógicas de acercarse a las comunidades para intercambiar los conocimientos de cada uno: los científicos como los populares.

Se subrayaron las dificultades en hacer circular la información existente hacia la prensa y a través de la prensa de un modo constructivo y no sensacionalista. Así, se debatió mucho sobre el rol de los comunicadores y de la prensa, haciendo énfasis en la necesidad de un mayor conocimiento de los eventos, fenómenos y vulnerabilidades por parte de los comunicadores y de una mejor relación entre estos últimos y los científicos.

Se discutió sobre la necesidad y el modo de establecer lazos más estrechos entre las comunidades científicas y los encargados directa o indirectamente de situaciones de crisis y de la comunicación.



Fueron parte de la mesa redonda (de izquierda a derecha):

**Ing. José Tenorio Sancho Dávila**, Capacitador en la Sub-Gerencia de Defensa Civil de Lima Metropolitana; **Elizabeth Cano**, Coordinadora Regional del Programa de Reducción de Riesgo ante Desastres y Respuesta Humanitaria de Oxfam; **Lic. Marco Jacome**, Comunicador Social de la Universidad Bolívar de Guaranda, Ecuador; **Dra. Luisa Macedo**, investigadora del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) de Perú; **Arq. Giuseppe Damiano**, Director de Rapid-LatinoAmerica en Perú; **Prof. Daniel Gregori**, del Departamento de Geofísica de la Universidad de San Juan, Argentina; **Dr. Hernando Tavera**, investigador del Instituto Geofísico del Perú. Como moderador participó el **Dr. Robert D'Ercole** de IRD.