

PREVISIÓN DE DESASTRES SISMICOS: AVANCES EN EL PERÚ

Por: Leonidas C. Ocola A.
Facultad de Ciencias Físicas,
Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
locolaa@unmsm.edu.pe

1. INTRODUCCION

Los sismos pueden causar diversos grados de daño a los elementos expuestos: personas, edificaciones, naturaleza, etc., dependiendo de su vulnerabilidad y de la severidad del sacudimiento o movimiento del terreno. Los sismos pueden ser de origen natural o inducidos por las personas o sus obras. Cuando un sismo causa daños severos y/o altera el normal desarrollo de la población, se le denomina, popularmente, "terremoto". El nivel de daño que causan los sismos depende, además de la severidad de sacudimiento del suelo, de la peligrosidad de los fenómenos cosísmicos asociados, tales como: deslizamientos, derrumbes, licuefacción de terrenos, avalanchas de nieve y/o lodo, inundaciones por maremotos y/o lagomotos, etc. Cuando los daños y el impacto del sismo sobrepasan la capacidad de respuesta de una sociedad o comunidad para recuperar su normal funcionamiento por sus propios medios y requiere de la ayuda nacional y/o internacional, se le denomina desastre sísmico.

La severidad de sacudimiento del terreno, calificada en grados de las escalas macrosísmicas o en niveles de aceleraciones sísmicas máximas, depende de la cercanía del sitio (donde se experimenta u observa el paso de las ondas sísmicas) a la zona epicentral, las condiciones y naturaleza del terreno, la magnitud del sismo, profundidad y naturaleza de la fuente sísmica.

Los sismos se clasifican de acuerdo a las escalas de magnitudes. Algunas de estas escalas dependen de las amplitudes y periodos de las ondas sísmicas registradas a una distancia estándar y normalizadas por los efectos locales de sitio y clase de instrumento de registro, ejemplos: la magnitud local ML (magnitud de Richter), magnitud de ondas corpóreas compresionales mb/Mb, ondas superficiales Ms, etc. Estas escalas de magnitud clasifican los sismos apropiadamente dentro de un rango del "tamaño" del evento. Debido a la saturación que sufren los sistemas

de registro sísmico, cuando la severidad del movimiento sobrepasa el rango dinámico del instrumento, esta clase de magnitudes pierde efectividad. La escala de magnitud sísmica, físicamente significativa, que clasifica los sismos sin saturarse, es la escala de magnitud del momento sísmico Mw. Esta escala se basa en el momento sísmico calculado en función del desplazamiento promedio de la dislocación, dimensiones espaciales y propiedades elásticas (módulo elástico de rigidez) del material afectado en la fuente sísmica.

La previsión es un conjunto de actividades que generan conocimiento sobre el origen, peligrosidad, evolución espacial y temporal de fenómenos naturales o inducidos que causan desastres. En el manejo de los desastres por fenómenos naturales, esta etapa es muy importante, desafortunadamente, no se ha dado la debida importancia en la implementación de medidas de prevención de desastres. La prevención implica la implementación de medidas y/u obras diseñadas o dispuestas con anticipación para evitar o impedir la ocurrencia de un fenómeno o evento inducido peligroso, y/o disminuir su grado de peligrosidad, y/o reducir la vulnerabilidad de la población, de los elementos naturales y antropogénicos expuestos al peligro potencial que representa la ocurrencia del fenómeno o evento natural o inducido. Dependiendo del grado de conocimiento, la previsión puede comunicarse a la comunidad o a la población en general mediante la emisión de perspectivas, pronósticos, predicciones, alertas, etc., según el grado de conocimiento, documentación, certeza, y temporalidad.

En el presente documento, se revisa los avances en la previsión sísmica en Perú: caracterización de la sismicidad, evaluación del peligro sísmico, con las cuales el suscrito tuvo estrecha vinculación, y el reconocimiento de indicadores de fenómenos premonitores de la ocurrencia de fenómenos sísmicos en el territorio peruano, en el marco del patrón tectónico global.

2. EL PATRON TECTONICO GLOBAL Y LA OCURRENCIA DE LOS SISMOS

El planeta Tierra es un cuerpo celeste muy activo, tal como demuestra la existencia de un campo magnético a través de su historia, la documentación de corrientes de convección en su interior, la distribución de los volcanes y

sismos, el suministro de material sólido y/o fluido del interior del planeta a la superficie terrestre, tanto en los continentes (volcanes) como en los fondos oceánicos (cordilleras y rifts (valles tensionales) submarinos) la formación y desaparición de montañas y cuencas oceánicas, el reciclaje del material superficial, testimoniado por el hecho que la edad de la roca más antigua encontrada en el fondo marino no sobrepasa los 200 millones de años, contra la edad de la roca más antigua en los continentes de ~4.5 mil millones (4.5×10^9) de años, Stacey (1992), a pesar que la superficie actual del fondo marino es ~2/3 la del globo terrestre. La Tierra actúa como una gigantesca máquina termomecánica teniendo como fuente un reservorio de energía térmica en el núcleo externo a más de $4,000^\circ\text{C}$ entre los 2,950 km y 5,250 km de profundidad, y celdas de convección que circulan en el manto terrestre sólido, rompiendo la superficie terrestre en casquetes semi-esféricos cuyos bordes están delineados por los sismos (Figura 1), volcanes, cadenas montañosas (continentales y submarinas), etc., reciclando el material terrestre entre la superficie y el interior del planeta.

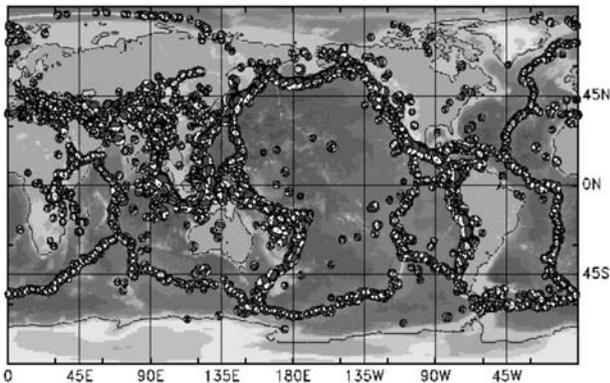


FIGURA 1: Sismicidad del globo terrestre representada por mecanismos focales de sismos importantes: periodo 1976-2005, catálogo CMT-NEIC. La distribución de la actividad sísmica marca los bordes de los casquetes semi-esféricos que constituyen las placas tectónicas (Ilustración del NEIC 2006, modificada)

El patrón tectónico global está íntimamente relacionado a la dinámica del interior de la Tierra y a sus propiedades físicas. El territorio peruano se encuentra en la zona de colisión de las placas tectónicas de Nazca y de Sudamérica, y la subsiguiente subducción de la placa Nazca. Es atravesado longitudinalmente

por la cordillera de los Andes en la parte continental y por la fosa marina en el territorio marino.

3. SISMICIDAD DEL PERU A TRAVES DEL TIEMPO

La previsión de desastres sísmicos conlleva el desarrollo de conocimiento sobre la ocurrencia de los sismos. Científicos peruanos desde el inicio del siglo pasado se preocuparon de documentar sismos sentidos en el territorio peruano, como T. Polo a través de los boletines de la Sociedad Geográfica de Lima de 1904, luego las publicaciones en las revistas de la Sociedad Geológica del Perú, permitió reunir información suficiente sobre la ocurrencia de sismos en el Perú, que hizo posible sustentar el pedido de Perú para que se cree el Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS), con sede en Lima-Perú, en la reunión de UNESCO en Chile presidida por el Dr. V. Belussov en 1960. La contribución más significativa que ha heredado Perú sobre la actividad sísmica es la documentación de la sismicidad histórica de los escritos de la conquista Española, el Virreynato y el periodo republicano, además de observaciones propias del doctor Enrique Silgado publicados en 1973 y 1979 (Silgado, 1979). Las descripciones de los efectos de los sismos en la naturaleza, edificaciones, personas, animales sirvieron para elaborar el catálogo sísmico de Intensidades Macrosísmicas de Perú (Ocola, 1984)

El primer catálogo sísmico instrumental, para el periodo: enero 1949-julio 1963, fue organizado por Ocola L. en su tesis de "Master of Science". Este catálogo permitió la elaboración del primer mapa de sismicidad del Perú (Ocola L, 1966) (Figura 2). El catálogo integró la información de fuentes internacionales, existente en la Biblioteca de la Universidad de Wisconsin (USA), publicaciones especializadas, etc. Se documentó por primera vez la existencia de dos zonas sismogénicas en el territorio peruano: la zona de subducción a lo largo de la costa, y la continental: a lo largo de la cordillera oriental-Zona Sub-Andina. Además, se identificó y documentó dos bloques sismotectónicos, uno en el sur de Perú y el otro en el centro y norte de Perú, los que modernamente se les denomina, bloques sismotectónicos de subducción normal, el del sur, y de subducción a normal el del norte de Perú.

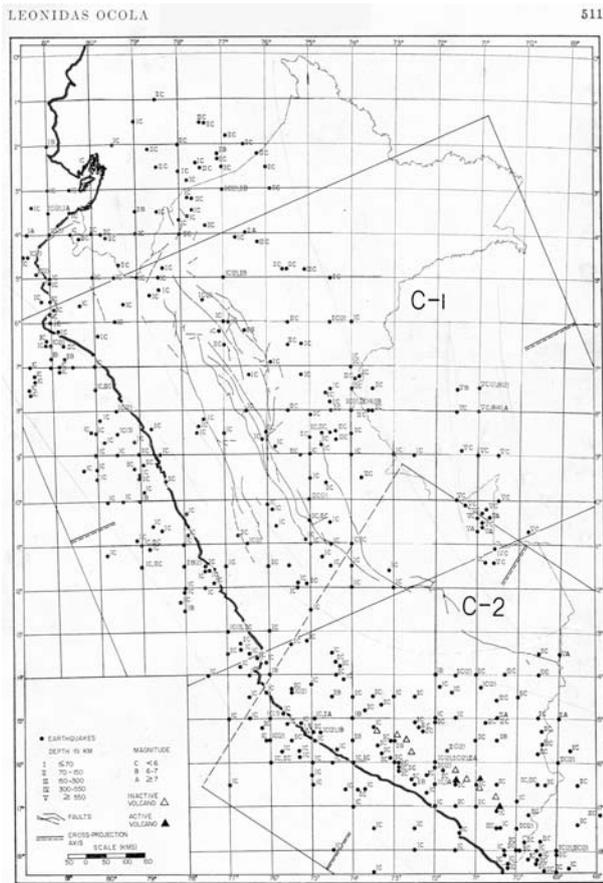


Fig. 1. Epicenter map for Peru: January 1949 to July 1963. Numbers in parentheses after magnitude groups represent the number of epicenters with the same magnitude and location. C-1 and C-2 stand for the seismotectonic blocks C-1 and C-2.

FIGURA 2: Primer mapa de sismicidad del Perú: Periodo 1949-1963. Epicentros clasificados por magnitud (letras) y profundidades (números romanos). Los rectángulos C-1 y C-2 delimitan los bloques sismotectónicos del centro-norte, y sur de Perú, respectivamente; corresponden a bloques sismotectónicos de subducción anormal el C-1 y a subducción normal el C-2.

Posteriormente, gracias a proyectos financiados por la Organización de los Estados Americanos (OEA), se ejecutó el primer estudio integral de sismicidad de las Repúblicas de Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú: Proyecto SISAN. Uno de los productos importantes fue la elaboración de los Catálogos Sísmicos de Hipocentros y Catálogos de Intensidades Macrosísmicas para cada una de las repúblicas participantes, Figura 3 (Ocola, 1984, 1984a, 1984b, 1984c). Los catálogos de los cuatro países mencionados, en su formato digital, fueron la base para la elaboración de los Catálogos Sísmicos para Sudamérica por CERESIS. Los catálogos de Intensidades Macrosísmicas fueron creación del Proyecto SISAN.

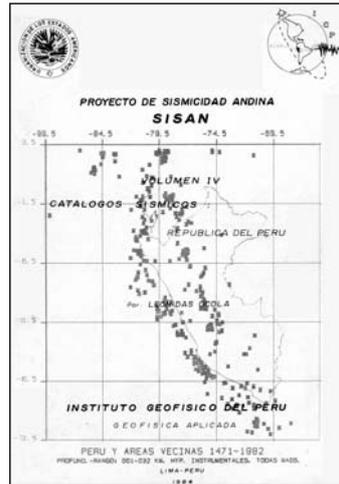


Figura 3: Catálogos sísmicos del Proyecto SISAN para Perú. Volúmenes similares se elaboraron para Bolivia, Colombia y Ecuador. Cada volumen contiene hipocentros de fuentes internacionales y los determinados en base de información macrosísmica histórica. Los catálogos de Intensidades Macrosísmicas incluyen información de la referencia utilizada para evaluar la intensidad macrosísmica en la escala MSK.

Uno de los grandes beneficios de los catálogos sísmicos es que permiten elaborar mapas y documentar la distribución geográfica de la actividad sísmica en función del tiempo, la magnitud (tamaño del evento), y la profundidad. Este último parámetro es muy importante, porque la severidad de sacudimiento del suelo, i.e., su peligrosidad, a igual distancia de la zona epicentral, es función inversa de la profundidad de la fuente sísmica. Entre más profunda es la fuente sísmica, el sismo es menos peligroso.

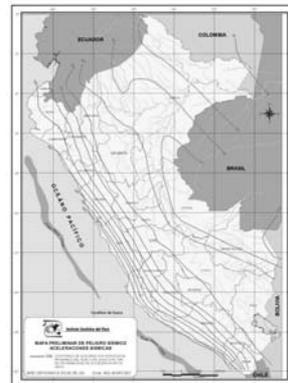


FIGURA 4: Mapa de peligro sísmico del Perú. Aceleraciones máximas en cm/s^2 , para una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años, Ocola 2003, en INDECI, 2003.

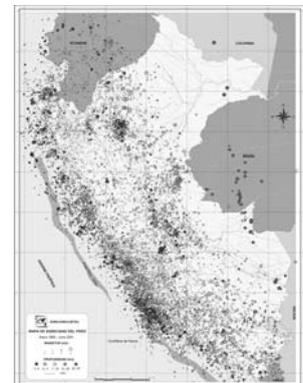


FIGURA 5: Sismicidad del Perú, periodo: 1900-2001. Hipocentros clasificados en función de la magnitud y profundidad. En color rojo los sismos más superficiales y peligrosos, Ocola 2003.

En base de la información de los Catálogos Sísmicos se calculó y publicó en 1982 el primer mapa de peligro sísmico de Perú, en términos de intensidades Macrosísmicas, para fines de Defensa Civil, y el de aceleraciones sísmicas en 1997, para fines de ingeniería y planificación territorial (Ocola, 2003). Estos mapas constituyen los primeros documentos de previsión de los niveles de la severidad de sacudimiento del suelo por movimientos sísmicos para una probabilidad de excedencia

del 10% en 50 años (Figura 4). La aceleración sísmica máxima es información básica para los planificadores, ingenieros civiles estructurales, y para las autoridades de la gestión de riesgos-desastres. Si las autoridades hubiesen utilizado los niveles de aceleración sísmica del mapa de peligro sísmico, publicado en el Atlas de Peligros Naturales de INDECI (2003) para tomar las medidas de prevención, la magnitud del desastre del terremoto del 15 de agosto del 2007 hubiese sido mucho menor.

Con el incremento del número de las estaciones sísmicas y las estaciones acelerográficas en el territorio peruano, el nivel de detección y registro de los sismos ha mejorado. La actividad sísmica en el territorio peruano (tanto marino –hasta las 200 millas marinas– como continental) clasificada en función de la magnitud y la profundidad, para los años 1900-2000, se muestra en la Figura 5. El mapa de sismicidad más reciente es el publicado por el Instituto Geofísico del Perú para el período 1964-2008 (Tavera y Bernal, 2009)

4. PREMONITORES DE TERREMOTOS EN LA ZONA DE SUBDUCCIÓN SUD-AMERICANA

Un premonitor sísmico causal es aquel evento o fenómeno natural que se interpreta como un indicador causalmente relacionado a la ocurrencia futura de un sismo de mayor magnitud. La identificación de premonitores significativos es una tarea de investigación actualmente. Históricamente, se ha utilizado los siguientes indicadores: anomalías en la velocidad de propagación de las ondas sísmicas: compresionales y de corte, la ocurrencia de anomalías en la conductividad eléctrica, anomalías en el campo magnético, variación del campo eléctrico, anomalías en la actividad sísmica de eventos de pequeña magnitud, variación de los niveles del agua en pozos artesianos, variaciones del flujo de radón, anomalías en el desplazamiento-deformación-inclinación de la superficie terrestre, la presencia de gap-sísmicos, anomalías en el campo gravedad terrestre, etc. (Rikitake, 1975, Uyeda et al., 2004, entre otros). Un gap-sísmico es aquella región geográfica donde histórica o prehistóricamente han ocurrido sismos de gran magnitud y que las últimas decenas o centenas de años no han vuelto ocurrir. El más famoso, en Perú, fue el gap sísmico del sur de Perú, correspondiente al gran terremoto de 1868.

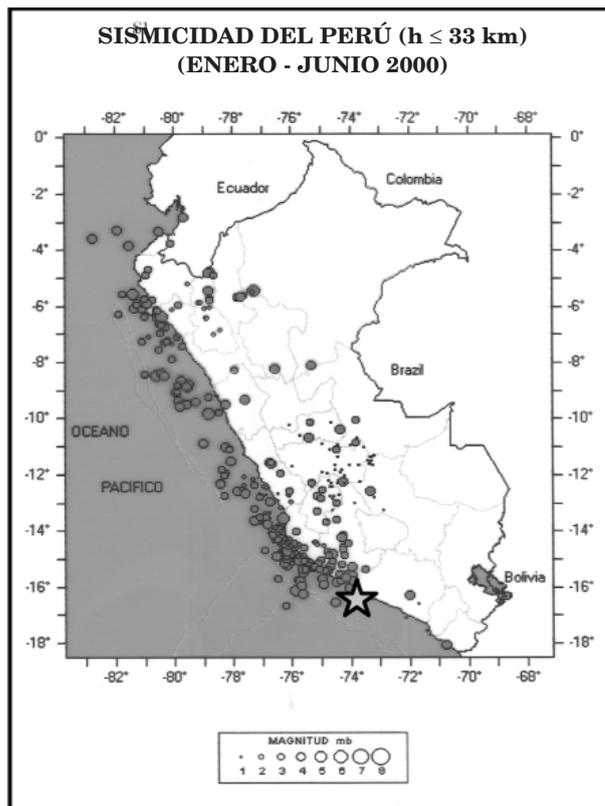


FIGURA 6: Sismicidad superficial de Perú enero-junio 2000, profundidades hipocentrales: < 33 km. Gap sísmico del terremoto de Arequipa, magnitud 8.4 Mw, del 23 de junio 2001. Un ejemplo. La estrella marca el epicentro (Ocola, 2001)

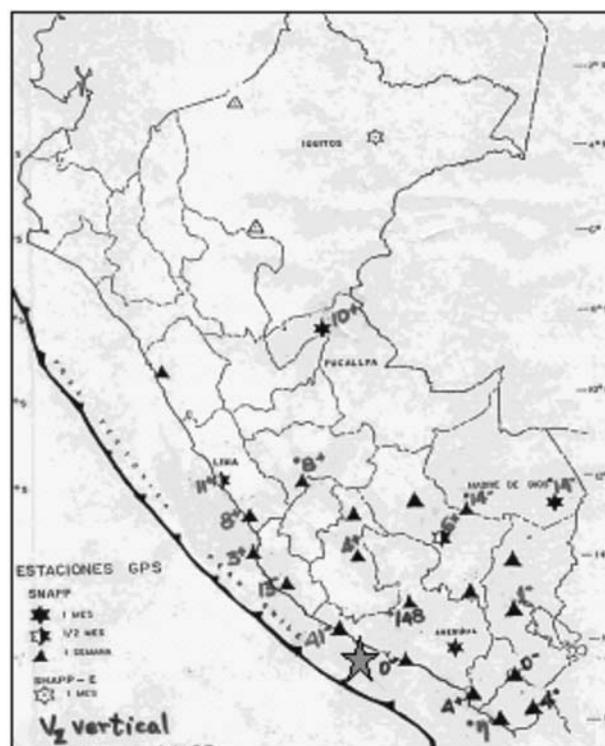


FIGURA 7: Anomalía GPS-componente-vertical negativa en la vecindad del gap sísmico del terremoto de 1868. La estrella marca el epicentro del terremoto del 23 de junio 2001. Datos del Proyecto SNAPP 1994-1996.

Debido a la heterogeneidad del manto superior y corteza terrestres, y a los diferentes procesos físicos que tienen lugar en el interior del planeta, los indicadores de la posibilidad de sismos futuros de gran magnitud no son los mismos para las diferentes zonas sismogénicas del globo terrestre. Para el caso peruano, Kanamori (1981) reportó gap-sísmicos para los terremotos de 1966, 1970, y 1974, Tavera y Bernal en 2005 reportaron el gap sísmico del terremoto de Pisco-Perú de 2007, y Ocola (2001) documentó el gap sísmico que precedió al terremoto del 2001 (Figura 6) y una anomalía negativa del cambio en la componente vertical GPS, entre los años 1994 - 1996 (Figura 7).

5. PREMONITORES DEL TERREMOTO DE CHILE

El patrón tectónico y sismogénico de las costas de Perú y Chile son similares. Después de la ocurrencia del terremoto de Chile del 27 de febrero del 2010, se investigó la sismicidad de la región siniestrada utilizando el catálogo sísmico del NEIC-USGS, para los sismos con profundidades menores a 33 km y magnitudes ≥ 5.8 Mw, en el periodo julio 31 de 1973 a febrero 27 de 2010. El resultado se presenta en la Figura 8. La identificación del gap-sísmico es clara. En la Figura 9, se muestra la distribución de las réplicas sísmicas con profundidades ≤ 100 km, para las primeras 64 h después de ocurrido el terremoto, localizadas por el NEIC-USGS.

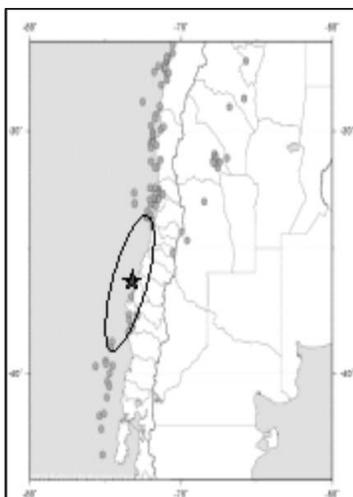


FIGURA 8: Sismicidad del sur-centro de Chile, julio 31 1973 - febrero 26 2010, profundidad de hipocentros: 00-33 km, magnitudes ≥ 5.8 Mw, Datos NEIC-USGS. La estrella, en el área del gap sísmico, marca el epicentro.

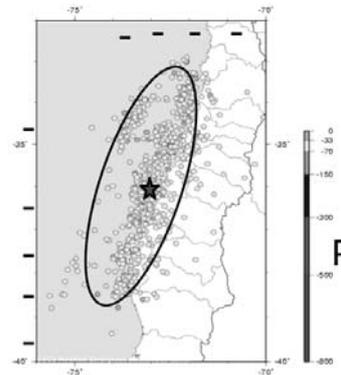


FIGURA 9: Réplicas del Terremoto de Chile del 27 de febrero del 2010, magnitud 8.8 Mw, y actividad sísmica en áreas vecinas: Primeras 65 h de ocurrido el terremoto. Profundidad de la actividad sísmica 00-100 km. La elipse enmarca la zona aproximada de ruptura del terremoto. Datos sísmicos del NEIC-USGS.

Gracias a la gentileza del Dr. W. Ruegg, se tuvo la oportunidad de utilizar los datos de GPS publicados por Ruegg et al. (2009) para visualizar, en base de contornos, la anomalía GPS y la vecindad de la zona de ruptura. Los resultados para las velocidades: componente vertical, se presentan en la Figura 10. La línea de contorno "0" marca la separación de las velocidades de desplazamiento vertical positivo y negativo. Al igual que en Perú, el epicentro del terremoto se localiza en la zona negativa. En la Figura 11, se presenta los contornos de los valores de las componentes de la velocidad de desplazamiento paralela a la velocidad de convergencia tectónica de la Placa Nazca. Los contornos de igual velocidad encierran la zona de la fuente sísmica, en su parte norte.

Es evidente la correlación entre el gap-sísmico, las anomalías de GPS y la zona de la fuente sísmica. Modernamente, se invierte numéricamente los datos GPS pre-terremoto para localizar las áreas de acoplamiento anómalo entre las placas involucradas en la zona de convergencia, identificando fuentes potenciales de futuros terremotos.

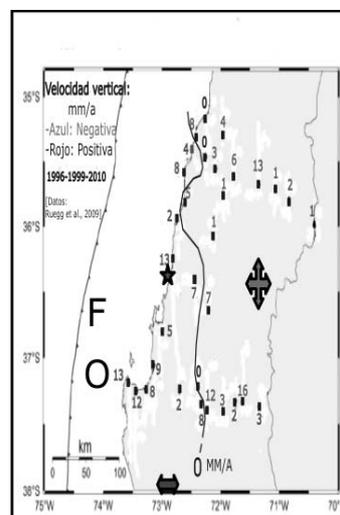


FIGURA 10: Velocidades verticales GPS (mm/a) en Sur-Centro de Chile. Las velocidades son negativas hacia la zona epicentral. La línea de "0" velocidad encierra el área de ruptura en su parte norte. Los valores de velocidad vertical aumentan al SW. La estrella indica la posición del epicentro. Datos de Ruegg et al., 2009.

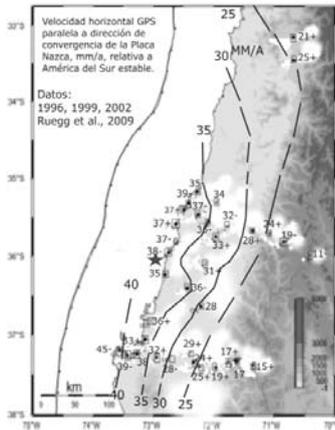


FIGURA 11: Velocidades horizontales GPS (mm/a) paralelas a la dirección convergencia de la placa Nazca hacia Sudamérica en el Sur-Centro de Chile. Las velocidades aumentan hacia la zona epicentral y los contornos de igual velocidad tienden a cerrar la zona de ruptura en el extremo norte. La estrella indica la posición del epicentro. Datos de Ruegg et al., 2009.

La anomalía negativa de la componente vertical GPS, hacia la zona de la fuente sísmica, que se presentó en el terremoto de Arequipa-2001 y de Chile-2010, se ha observado en otros sismos, como el terremoto de Nankaido-Japón de 1946, magnitud 8.6 Mw (Kanamori, 1973). El desplazamiento vertical cosísmico, de este sismo, fue más de 3 m.

6. GAPS SISMICOS DE LA ZONA DE SUBDUCCION PERUANA

En la Figura 12, se presenta la sismicidad de Perú para profundidades ≤ 50 km y magnitudes mayores a 4.5 Mw del catálogo del NEIC-USGS para el periodo 1973-2010. En dicha figura, se identifica por elipses los gaps-sísmicos a lo largo de la costa peruana, algunos de cuales fueron reportados en el 2008 (Ocola, 2008).

De sur a norte, se identifican los siguientes gaps sísmicos en la zona de subducción: 1. Arica (Chile) - Ilo, 2. Ocoña - Yauca, 3. Chancay - Huarney, y 4. Trujillo - Chiclayo. No se conoce cual es el estado de deformación en las zonas de estos gaps sísmicos y áreas vecinas. No hay datos de GPS publicados.

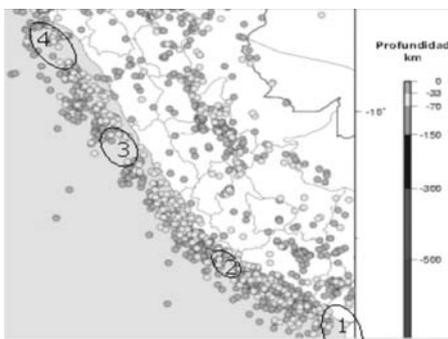


FIGURA 12: Actividad sísmica en los primeros 50 km de profundidad, magnitud: >4.5 Mw, en el Perú. Gaps sísmicos identificados en la zona de subducción: (1) Arica (Chile)-Ilo, (2) Ocoña-Yauca, (3) Chancay-Huarney y (4) Trujillo-Chimbote. Datos del NEIC-USGS

7. CONCLUSIONES

De lo expuesto resumidamente sobre los avances de la previsión de desastres sísmicos en el territorio peruano, se concluye:

1. Perú cuenta con documentación de sismos históricos para casi 500 años, información instrumental para los últimos 50 años, estimación probabilística de aceleraciones sísmicas máximas con una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años, para todo el país. Esta información es indispensable para la planificación territorial y el diseño de edificaciones sismorresistentes y la implementación de medidas de prevención-mitigación de desastres por sismos.
2. Una prevención eficiente y efectiva de desastres, causados por fenómenos naturales o inducidos, requiere de una previsión oportuna y confiable de la peligrosidad de dichos fenómenos. La previsión debe basarse en la interpretación científica de documentación y observaciones apropiadas de indicadores premonitores de dichos fenómenos, y en la capacidad humana.
3. Entre los avances logrados en la previsión de desastres por sismos en Perú destacan la identificación de los siguientes indicadores de fenómenos premonitores: Los gaps sísmicos, las anomalías de deformación cortical (GPS: Componentes vertical, y horizontal, interferometría), el patrón tectónico; además de la documentación del numeral 1.
4. La observación, documentación, generación de conocimiento, previsión y prevención de desastres causados por fenómenos naturales o inducidos es tarea de todos: Los gobiernos (Nacional, Regional, Local), las universidades, y la sociedad en su conjunto.

8. AGRADECIMIENTOS

El suscrito agradece al Dr. W. Ruegg por autorizar la utilización de los datos publicados de GPS para la zona del terremoto de Chile de 2010. Así mismo, agradece a los directivos de la Academia Nacional de Ciencias por la publicación del presente documento, agradece a todos los miembros del Instituto Geofísico del Perú (IGP) que a través de los años colaboraron con el suscrito en la elaboración de los catálogos sísmicos, toma de datos de campo y la implementación de procedimientos

de observación y procesamiento de información geofísica. Particularmente, agradece al Ing. Alberto Giesecke por el apoyo a las iniciativas del personal que laboró en el IGP mientras él fue su director.

9. REFERENCIAS

- INDECI. 2003. Atlas de peligros naturales del Perú. Instituto Nacional de Defensa Civil. Auspicio: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – PNDU, Lima, Perú.
- Kanamori H. 1973. Mode of strain release associated with major earthquakes in Japan. *Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences*, vol.1, p213.
- Kanamori H. 1981. The nature of seismicity patterns before large earthquakes prediction. In “ Maurice Ewing Series 4: Earthquake Prediction. An international review”. AGU Geophysical Monograph IV Series., pp1-19.
- Kanamori H. 1996. Initiation process of earthquakes and its implications for seismic hazard reduction strategy. *PNAS* 93(9), 3726-3731
- Ocola L. 1966. Earthquake Activiy of Peru. In *The Earth beneath the Continents. A Volume of Geophysical Studies in Honor of Merle A. Tuve*. American Geophysical Union. Geophysical Monograph 10. National Academy of Sciences – National Research Council Publication 1467.
- Ocola L. 1984. Catálogos Sísmicos: República del Perú. Volumen IV: Catálogo sísmico de hipocentros del Perú y áreas vecinas, 1471-1982; Catálogo de intensidades macrosísmicas de Perú 1471-1981. Proyecto SISAN (OEA). Instituto Geofísico del Perú: Geofísica Aplicada, Lima, Perú, 466 pp.
- Ocola L. 1984a. Catálogos Sísmicos: República de Colombia. Volumen II: Catálogo sísmico de hipocentros de Colombia y áreas vecinas, 1534-1982; Catálogo de intensidades macrosísmicas de Colombia 1566-1977. Proyecto SISAN (OEA). Instituto Geofísico del Perú: Geofísica Aplicada, Lima, Perú, 200 pp.
- Ocola L. 1984b. Catálogos Sísmicos: República del Ecuador. Volumen III: Catálogo sísmico de hipocentros de Ecuador y áreas vecinas, 1534-1982; Catálogo de intensidades macrosísmicas de Ecuador 1541-1976.
- Proyecto SISAN (OEA). Instituto Geofísico del Perú: Geofísica Aplicada, Lima, Perú, 152 pp.
- Ocola L. 1984c. Catálogos Sísmicos: República de Bolivia. Volumen I: Catálogo sísmico de hipocentros de Bolivia y áreas vecinas, 1471-1982; Catálogo de intensidades macrosísmicas de Bolivia, 1650-1976. Proyecto SISAN (OEA). Instituto Geofísico del Perú: Geofísica Aplicada, Lima, Perú, 185 pp.
- Ocola L. 2001. Precursory hints of June 23-2001 earthquake in southern Perú seismic gap. *American Geophysical Union Fall Meeting, Proceedings*. San Francisco, California, USA.
- Ocola L. 2003. Mapa Preliminar de Peligro Sísmico: Aceleraciones Sísmicas. En: *Atlas de Peligros Naturales del Perú*. Auspicio: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). INDECI. Pp166-167.
- Ocola L. 2008. El gap-sísmico de Trujillo-Chiclayo y los sismos notables en la zona de subducción del Noroeste de Perú. XIII Congreso Latinoamericano de Geología y XIV Congreso Peruano de Geología. Sociedad Geológica del Perú.
- Rikitake S. 1975. Earthquake Precursors. *Bull. Seism. Soc. Ame.*, Vo. 65, N° 5. pp1133-1162.
- Ruegg J. C., Rudloff A., C. Vigny, R. Madariaga, J.B. de Chabaliér, J. Campos, E. Kausel, S. Barrientos, D. Dimitrov. 2009. Interseismic strain accumulation measured by GPS in the seismic gap between Constitución and Concepción in Chile. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. 175, pp78-85.
- Silgado E. 1979. Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513-1974). Boletín N° 3, Serie C. Geodinámica e Ingeniería Geológica, Instituto de Geología y Minería, Sector Minas, República del Perú.
- Stacey F.D. 1992. *Physics of the earth*. Brookfield Press, pp550.
- Tavera H. y I. Bernal. 2009. Mapa sísmico del Perú. Periodo: 1964-2008. Instituto Geofísico del Perú, Ministerio del Ambiente. Lima, Perú.
- Uyeda S., Nagao T. And Tanaka H. 2004. A report from the RIKEN International Frontier Research Project on Earthquakes (IFREQ), TAO, Vol. 15, N° 3, pp269-310