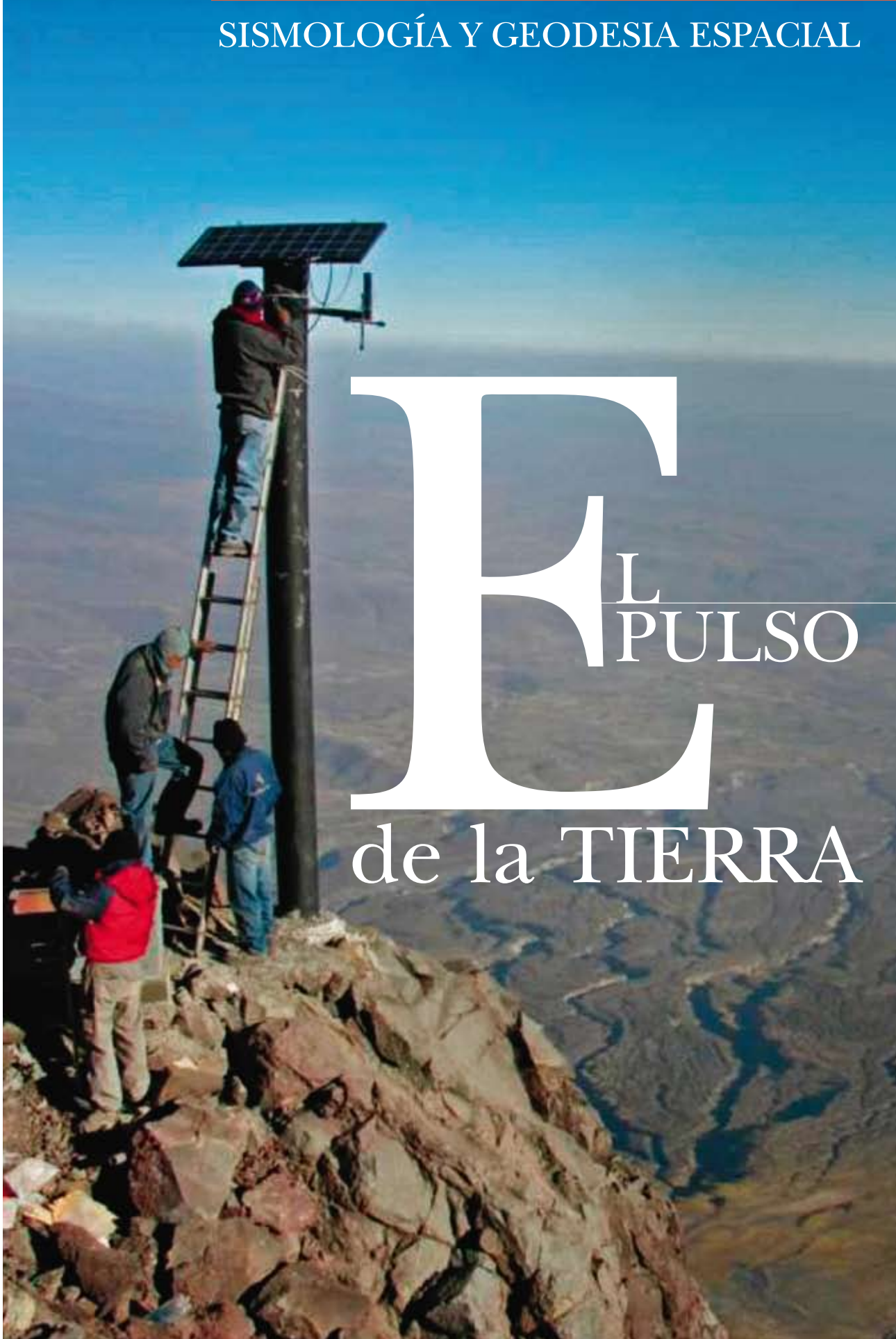


SISMOLOGÍA Y GEODESIA ESPACIAL



EL PULSO
de la TIERRA

Entre los años 1969 y 2009, el Perú fue sacudido por cinco terremotos que superaron los 7^o en la escala de Magnitud momento (Mw), causando más de 70 000 muertos y cuantiosos daños materiales. ¿Qué hacer? La sismología y la geodesia espacial han desarrollado técnicas y acumulado conocimientos que ayudan a mitigar los efectos destructivos de estos fenómenos naturales. Aunque todavía no es posible dar una fecha exacta para los próximos terremotos, sí podemos conocer y asignar probabilidades a aquellas áreas donde estos ocurrirán de manera eventual e inevitable.

La superficie de la Tierra está formada por grandes placas que se mueven entre sí de manera discontinua (no uniforme). En promedio, este movimiento es de unos cuantos centímetros por año.

La zona de contacto entre dos placas puede permanecer relativamente quieta, acumulando energía durante decenas de años, para luego fracturarse y moverse (deslizarse) varios metros en pocos segundos. Esta liberación súbita de energía elástica es un terremoto, que cuando su origen está bajo el fondo marino puede generar un tsunami (ola sísmica).

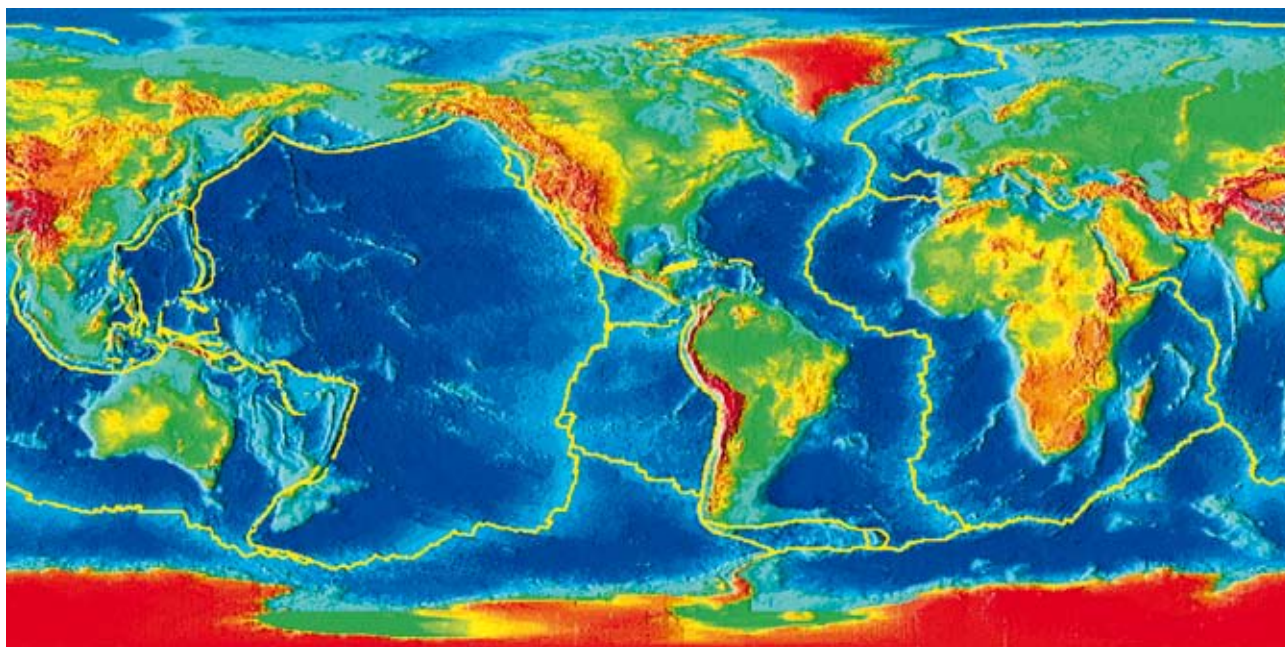
El Instituto Geofísico del Perú tiene la responsabilidad de vigilar la sismicidad en nuestro país, apoyando al Sistema Nacional de Defensa Civil para minimizar las pérdidas humanas y materiales que puedan causar los terremotos. Dedicado a esta tarea, el IGP también contribuye a ampliar el conocimiento que tenemos acerca del origen y comportamiento de los terremotos.

El objetivo final del IGP, y de la sismología en general, es predecir con un grado de certeza cada vez mayor la localización en el espacio y en el tiempo del próximo terremoto.

A fin de alcanzar este objetivo, el IGP vigila el pulso de la Tierra mediante una Red Sismológica Nacional (RSN) compuesta por 18 sismógrafos digitales de última generación y alta sensibilidad distribuidos a nivel nacional. Estos sismógrafos, capaces de registrar movimientos sísmicos en otros continentes, están complementados por 12 acelerógrafos digitales cuya información es utilizada para mejorar el diseño antisísmico de las construcciones urbanas y de las grandes obras de ingeniería.

La Red Sismológica Nacional brinda la información mínima necesaria para localizar los epicentros de los sismos que ocurren en el Perú. Por este motivo, el IGP continúa con su trabajo de ampliar la Red Sismológica Nacional a fin de cubrir adecua-

DISTRIBUCIÓN DE LAS PLACAS TECTÓNICAS. Las zonas de contacto (trazo amarillo) señalan el lugar donde se producen los sismos. El Perú se encuentra en el llamado Cinturón de Fuego del Pacífico, que concentra 90% de la actividad sísmica del planeta.



damente los 1 285 220 km² del territorio nacional.

El IGP espera que la RSN alcance a ser comparable con la de otro país altamente sísmico, el Japón. Con sólo 30% del área del Perú, Japón cuenta con 900 estaciones sísmicas y 1 700 acelerómetros. La ampliación de la Red Sismológica Nacional se logrará adquiriendo equipos de última generación complementados con registradores digitales diseñados por ingenieros del IGP.

Bajo el territorio peruano, la fricción entre la placa de Nazca y la placa de Sudamérica es continua en el tiempo. Por lo tanto, también lo es la ocurrencia de sismos, cuya magnitud varía en función del deslizamiento ocurrido y las dimensiones del área afectada.

Estos deslizamientos o fracturas no son visibles debido a que ocurren debajo de la superficie. Sin embargo, sus dimensiones pueden ser estimadas.

GEODESIA ESPACIAL: LA MEDIDA EXACTA

La distribución geográfica de terremotos y réplicas ocurridos en el pasado, permite identificar aquellas áreas donde no se ha producido una ruptura reciente y que, por lo tanto, podrían ser escenarios de nuevos eventos en un futuro próximo. Estas áreas reciben el nombre de lagunas sísmicas (*seismic gaps*).

Sabemos que los grandes terremotos recurren en el

Geodesia Espacial: origen y aplicaciones

La geodesia es una disciplina científica que tiene por objeto determinar la forma y dimensiones de la Tierra, así como la distribución de su campo gravitacional. Tiene aplicaciones en ingeniería civil, defensa, navegación, prevención de desastres naturales y ciencias espaciales.

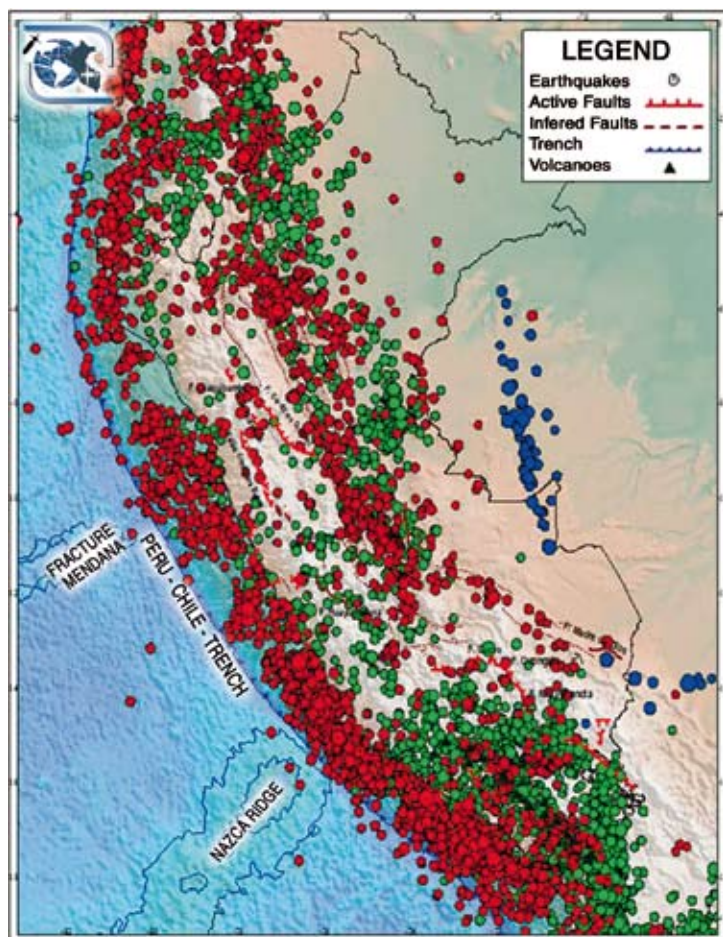
La historia de la geodesia espacial se inicia en 1957, con el lanzamiento del primer satélite artificial, Sputnik. Las señales de radio transmitidas desde el satélite permitían establecer su órbita utilizando estaciones de rastreo en tierra. Asimismo, por triangulación, era posible conocer la posición de un receptor ubicado en otro lugar de la Tierra. Esto sirvió de base para desarrollar el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), una constelación de 27 satélites que orbitan la Tierra a 20 000 km de altura.

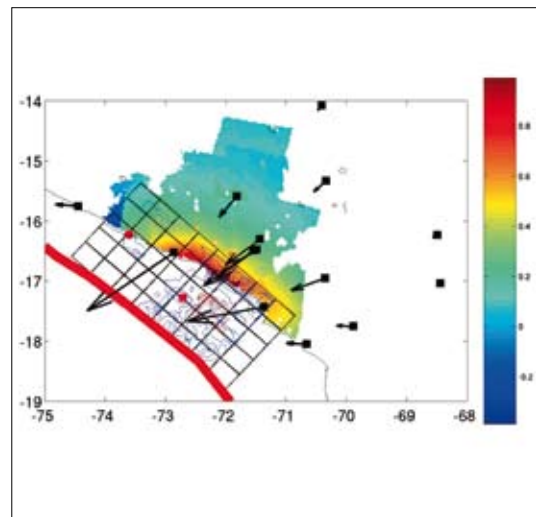
En el Perú, en los años 90, la aplicación de tecnología GPS permitió determinar con exactitud milimétrica cambios en la forma de la superficie terrestre asociados a la convergencia (choque) de las placas de Nazca y Sudamérica. Estos cambios son de gran importancia, pues tienen una relación directa con los terremotos. Desde el 2000, la geodesia espacial es usada para estudiar el ciclo de los grandes terremotos en las principales zonas de lagunas sísmicas de nuestro territorio.

tiempo y en el espacio (el llamado ciclo sísmico). En la década de 1990 se empezó a utilizar el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) para medir con exactitud milimétrica las deformaciones de la corteza terrestre antes, durante y después de un sismo.

Entre los años 1994 y 1997, científicos del IGP, en cooperación con la Fundación Carnegie de Washington y la Universidad de Miami, inicia-

ABAJO: Mapa sísmico del Perú, periodo 1950-2007. Información como esta es de gran valor para planificar los esfuerzos de prevención.
DERECHA: Distribución de las estaciones GPS permanentes (círculos rojos) utilizadas para estudiar la laguna sísmica del sur en la zona de Moquegua, Tacna y Arica. **ABAJO DER:** Estación CBRO (Arequipa), una de las cinco estaciones GPS del proyecto IGP-Instituto Tecnológico de California.





DERECHA: Pisco e Ica fueron las principales ciudades afectadas por el potente terremoto y subsecuente tsunami de 2007.

IZQUIERDA: Las flechas negras representan los desplazamientos horizontales instantáneos producidos por el terremoto del 23 de junio de 2001 (Arequipa) en base a mediciones GPS y GPS-INSAR. El máximo desplazamiento alcanzó un metro en la zona de Camaná.

ron los primeros estudios con GPS para estimar la deformación de los Andes Centrales del Perú y Bolivia y el potencial de grandes terremotos en la zona de contacto de placas. En el año 2000 el Programa de Geodesia Espacial y Estudios de Microsismicidad se amplió para estudiar el ciclo de los terremotos en las principales lagunas sísmicas, como la zona de Lima, la falla de la Cordillera Blanca y la falla del Huaytapallana.

Actualmente, el IGP y el Instituto Tecnológico de California han instalado una red de cinco estaciones GPS permanentes en los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna con la finalidad de vigilar la deformación de la placa de Sudamérica. La detección de anomalías ayudará a anticipar el esperado terremoto en la laguna sísmica del norte

de Chile (Arica) y sur del Perú (Tacna).

En el futuro cercano, se espera transmitir toda la información de estas redes en tiempo real al centro de análisis en el Laboratorio Central de Lima.

RIESGO Y ZONIFICACIÓN SÍSMICA

Como se ha explicado, para pronosticar futuros terremotos es necesario considerar aquellos que ocurrieron en el pasado. El mapa o catálogo de sismos históricos revela, por contraste, aquellas lagunas sísmicas donde deberían ocurrir los próximos terremotos.

En el Perú, el registro instrumental de los sismos se inició en 1948, en el Observatorio de Huancayo. Desde entonces, la calidad de la información ha ido en aumento. Hoy tenemos una imagen bastante



EL TERREMOTO DEL 15 DE AGOSTO DE 2007. Destruyó 80% de las viviendas en la ciudad de Pisco.

Intensidad y Magnitud

La severidad de un sismo se califica con dos parámetros: Intensidad y Magnitud. La magnitud mide la cantidad de energía liberada por el sismo, mientras que la intensidad mide el sacudimiento percibido por las personas y su efecto sobre la propiedad. La magnitud es una escala objetiva. La intensidad es una escala subjetiva. Por ejemplo: La magnitud del sismo que sacudió la costa central del Perú el 15 de agosto del 2007 fue una sola: 8,0 Magnitud momento (Mw). En cambio, la intensidad no fue la misma en las distintas ciudades afectadas. En Pisco el sismo tuvo una intensidad de VII - VIII grados en la escala modificada de Mercalli, destruyó 80% de las viviendas y causó más de 350 muertos. En Lima, el mismo terremoto de 8,0 magnitud momento (Mw) de magnitud tuvo una intensidad de V en la escala de Mercalli. Se sintió un fuerte remezón, hubo pánico y algunas estructuras colapsaron, provocando media docena de muertos y un centenar de heridos. Los sismos son causados por la energía liberada por la corteza terrestre cuando ésta se rompe o "fractura". La magnitud en la escala de Richter tiende a "saturarse" por encima de los 6 grados. Por esta razón, los sismólogos utilizan otra escala, denominada de Magnitud momento (Mw), especialmente para sismos muy fuertes. La intensidad se mide en la escala modificada de Mercalli, que va de I a XII. El XII de Mercalli califica un evento cataclísmico, con destrucción total y escasos sobrevivientes. El terremoto ocurrido en 1960 en Concepción, Chile, alcanzó 9,7 Mw de magnitud y XII grados de intensidad en la escala de Mercalli en una franja costera de más de 200 km de extensión. Felizmente, eventos como este ocurren sólo una o dos veces cada 100 años. En cambio, los sismos de VII y VIII en la escala de Mercalli son bastante comunes, y cada año se registran una docena a nivel mundial. En los pasados 50 años, más de 20 sismos han superado los VII grados de intensidad en el Perú. Se puede afirmar, con certeza casi absoluta, que en los próximos 50 años habrán otros 20 sismos con el mismo potencial destructivo.

precisa de la forma en la que la placa de Nazca se introduce bajo la placa de Sudamérica.

En los últimos 100 años, la zona de contacto de placas frente a la costa peruana ha sido escenario de terremotos violentos de alto costo social y económico. Entre ellos figuran los terremotos de la región Lima (1940, 1966 y 1974), región Nazca (1942 y 1996), Chimbote (1970) y Arequipa (2001). El más reciente ocurrió el 15 de agosto de 2007 frente a la costa de Pisco y alcanzó una magnitud de 7,9° en la escala Mw. Minutos después de ocurrido el terremoto se generó un tsunami cuyas olas alcanzaron hasta seis metros de altura en la bahía de Paracas.

ACCIÓN Y REACCIÓN

Cuando ocurre un sismo, el Servicio de Emergencia Sísmica del IGP informa en tiempo real sobre la localización y magnitud del sismo, así como las intensidades sentidas en los principales poblados dentro de la región afectada. Esta información es distribuida dentro de los cinco minutos de ocurrido el sismo a las instituciones que integran el Sistema Nacional de Defensa Civil, así como a los medios de comunicación. La información también se publica en la página web del IGP: <http://www.igp.gob.pe>.

El Servicio de Emergencia Sísmica analiza los datos de la Red Sísmica Nacional de manera permanente las 24 horas del día, los 365 días del año. Este equipo de sismólogos valora que el conocimiento inmediato de la localización y magnitud de un terremoto permite orientar con eficacia las tareas de socorro y asistencia a la población afectada.



Pero esto no es suficiente. Debemos ser proactivos. Conocer la localización del riesgo sísmico permite manejar una serie de instrumentos sociales que ayudan a reducir el potencial destructivo de los terremotos. Estos instrumentos van desde la educación cívica (planes de evacuación, simulacros, etc.) hasta normas adecuadas de construcción.

La tarea del IGP consiste en darle a la sociedad peruana la base científica para desplegar este conjunto de instrumentos que nos deben proteger de lo inevitable: el próximo terremoto.

Tenemos un largo camino por recorrer, y cada paso que damos ayuda a salvar vidas. ■

LAGUNILLAS, PARACAS. En este lugar, las construcciones soportaron el sismo del 15 de agosto de 2007, pero fueron destruidas por el tsunami subsecuente.

Escala de intensidad sísmica de Mercalli modificada (simplificada y abreviada)

- I. Registrado sólo instrumentalmente.
- II. Perceptible sólo por pocas personas en pisos altos.
- III. Perceptible por algunos en edificios.
- IV. Sentido por todos en edificios y algunos en el exterior.
- V. Sentido por todos dentro y fuera de edificios.
- VI. Temor generalizado. Daños moderados en construcciones de adobe.
- VII. Mayoría aterrizada. Graves daños en construcciones de adobe y moderados en las de ladrillo.
- VIII. Miedo y pánico general. Daños graves en construcciones de ladrillo, moderados en construcciones nobles.
- IX. Pánico general. Daños graves en construcciones nobles.
- X. Colapso de la mayoría de construcciones, incluyendo algunas de construcción noble.
- XI. Daños importantes en todas las construcciones, incluyendo canales y carreteras.
- XII. Todas las estructuras destruidas o gravemente dañadas, y cambios en la topografía.

