

Los peligros geológicos en Iberoamérica. El papel de los servicios de geología y minería iberoamericanos (ASGMI)

Rosa María Mateos⁽¹⁾, Francisco Armando Arcedo y Cabrilla⁽²⁾, Manuel Vílchez Mata⁽³⁾,
Thiago Dutra dos Santos⁽⁴⁾, Rafael Silva Ribeiro⁽⁴⁾, Maria Adelaide Mansini⁽⁴⁾, Rubén Dias⁽⁵⁾,
Susana Machado⁽⁵⁾, Fausto Carranco⁽⁶⁾, Johanna León⁽⁶⁾, Gloria Lucía Ruiz Peña⁽⁷⁾, Cristian López⁽⁷⁾,
Mónica Arcila⁽⁷⁾, Alejandra Tejedo⁽⁸⁾, Alejandro Alfaro⁽⁹⁾, Josiela Sánchez⁽¹⁰⁾, Héctor Claros⁽¹⁰⁾

(1) Instituto Geológico y Minero de España. C/ Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid.
rm.mateos@igme.es

(2) Servicio Geológico Mexicano. Blvd. Felipe Ángeles, km. 93. 50-4. Col. Venta Prieta. 42083 Pachuca de Soto Hidalgo.
franciscoarceo@sgm.gob.mx

(3) Instituto Geológico Minero y Metalúrgico de Perú. Avda. Canadá 1470, San Borja-Lima 41.
mvilchez@ingemmet.gob.pe

(4) Serviço Geológico do Brasil. Setor Bancário Norte – SBN, Quadra 02, Asa Norte,
Bloco H- Edifício Central Brasília – DF. Código Postal: 70040-904.

thiago.santos@cprm.gov.br; rafael.silva@cprm.gov.br; adelaide.maia@cprm.gov.br

(5) Laboratório Nacional de Energia e Geologia de Portugal. Estrada da Portela, Bairro do Zambujal, Apdo 7586- Alfragide. 2610-999
Amadora (Portugal).

ruben.dias@Ineg.pt; Susana.machado@Ineg.pt

(6) Instituto de Investigación Geológico y Energético de Ecuador. De las Malvas E15-142 y de los Perales. 170503-Monteserrín.
fausto.carranco@geoenergia.gob.ec; johanna.leon@geoenergia.gob.ec

(7) Servicio Geológico Colombiano. Diag. 53 N.º 34-53, Bogotá, Cundinamarca.
gruiz@sgc.gov.co

(8) Servicio Geológico Minero Argentino. Avda. General Paz 5445. San Martín.
alejandra.tejedo@segemar.gov.a

(9) Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile. Santa María 0104. Providencia, Santiago.
alejandro.alfaro@senargeomin.cl

(10) Instituto Hondureño de Geología y Minas. Bulevar Centroamérica, Ave. La FAO. Tegucigalpa.
jsanchez@inhgeomin.gob.hn; hclaros@inhgeomin.gob.hn

RESUMEN

Iberoamérica es uno de los territorios del Mundo más expuestos a las catástrofes derivadas de procesos geológicos activos. De los peligros geológicos que acechan el territorio, las inundaciones y avenidas dejan los mayores daños, seguidas de terremotos, movimientos de ladera y erupciones volcánicas. El Grupo de Amenazas Geológicas de la Asociación de Servicios Geológicos y Minería Iberoamericanos (ASGMI) ha compartido un cuestionario entre sus países miembros (10), con la finalidad de recopilar los eventos más dañinos en la última década, conocer sus efectos e impactos socio-económicos, así como analizar las fortalezas y debilidades de los servicios geológicos para generar conocimientos útiles en la toma de decisiones para las diferentes etapas de la gestión del riesgo y el ordenamiento territorial. Todos los países reportan casos dramáticos durante la última década, con miles de fallecidos (> 11.000), graves afecciones a la población y cuantiosos daños económicos valorados en US\$50 billones. No obstante, se manifiesta una falta de datos oficiales sobre los daños socio-económicos que generan los peligros geológicos en cada país. La mayoría de los servicios geológicos tiene planes de cartografía temática sobre los diferentes peligros geológicos, aunque se detecta una necesidad de cartografías detalladas de peligrosidad y vulnerabilidad, que se puedan incluir en la planificación urbanística y territorial. La mitad de los servicios geológicos encuestados no tiene competencias oficiales en materia de vigilancia, control y seguimiento de los diferentes peligros geológicos, hecho que determina una debilidad reflejada en el número de expertos en plantilla y en una limitación de su actividad. En general, los servicios geológicos iberoamericanos deben incrementar sus esfuerzos para desarrollar programas de transferencia del conocimiento, mediante estrategias de comunicación educativa e información pública, así como favorecer y facilitar el acceso de sus datos sobre este tipo de fenómenos recurrentes, conocimiento que redunde finalmente en la reducción del riesgo.

Palabras clave: ASGMI, Amenazas Geológicas, Iberoamérica, Peligros naturales, Servicios Geológicos.

Geohazards in Iberoamerica. The role of the Iberoamerican Geological Surveys and Mining Surveys (ASGMI)

ABSTRACT

The geological context determines that Iberoamerica is one of the territories of the world most exposed to disasters derived from active geological processes. As far as the main geohazards which threaten the Iberoamerican countries are concerned, floods and flash floods cause the greatest damage, followed by earthquakes, mass movements and volcanic eruptions. The Group of Experts in Geohazards from the Association of Iberoamerican Geological and Mining Services (ASGMI) has developed an enquiry-based and participatory analysis approach to firstly compile the most damaging events registered during the past ten years and their socio-economic impact. Ten member countries have reported dramatic cases during the last decade, with thousands of fatalities (>11,000 deaths) and severe damage valued up to US\$50 billion. However, there is a lack of official data on the socio-economic damage generated by geohazards in many countries. This questionnaire also tries to identify the strengths and weaknesses of ASGMI to generate useful knowledge in decision-making for the different stages of risk management and territorial planning. Most geological services have thematic mapping plans on the different geohazards; however, a relevant deficiency detected in many countries is the lack of hazard and vulnerability at a detailed resolution for urban and territorial planning. Half of the geological services do not have any official competences in terms of vigilance, control and monitoring of the different geohazards; a fact that determines a smaller number of experts on the staff and less activity in this field. In general, Iberoamerican geological services should increase their efforts to develop outreach programs to strengthen geohazard awareness, educational and communication strategies to provide residents and policy-makers adapted information on the knowledge acquired, as well as favouring and facilitating free and open access to their data.

Keywords: AGSM, geohazards, geological services, Iberoamerica, natural hazards.

ABRIDGED ENGLISH VERSION

Introduction

Geohazards in Iberoamerica produce highly significant social and economic consequences. According to the report from the Inter-American Development Bank (BID, 2000), natural hazards have caused 432,000 fatalities during the XX century, with millions of people affected and a significant impact on the economies of the Iberoamerican countries. Within the framework of global change, the frequency and intensity of severe rainfalls events and droughts is likely to increase; in fact, during the 1990s disasters related to natural hazards have multiplied by 4 compared to previous decades.

The Association of Iberoamerican Geological and Mining Surveys (ASGMI) is a non-profit organization founded in 1993, with its own legal personality since 2012. Currently, the ASGMI represents 22 geosurveys (Fig. 1): Argentina, Bolivia, Brazil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, El Salvador, Spain (and the region of Catalonia), Guatemala, Honduras, Mexico, Nicaragua, Panama, Paraguay, Peru, Portugal, Dominican Republic, Uruguay and Venezuela. The structure of ASGMI incorporates different Expert Groups, highlighting the Expert Group on Geohazards.

In March 2019, the Geohazards Expert Group of the ASGMI developed a survey-based and participatory analysis approach to determine the impact of geohazards in Iberoamerica and to identify the strengths and weaknesses of the geosurveys to provide relevant information for reducing the impact of geohazards.

Method

Within the framework of ASGMI, the Geohazards Expert Group has carried out a survey by means of a questionnaire that was circulated amongst its members (see questionnaire in Anexe I). 10 National Geological and Mining Surveys participated: Argentina, Brazil, Chile, Colombia, Ecuador, Spain, Honduras, Mexico, Peru and Portugal. The questionnaire contains a list of 7 questions divided into 2 sections:

- 3 questions related to the most damaging geohazards in the country; a very short description of one of the most significant damaging events which has occurred during the past 10 years; and the average annual damage (economic losses and fatalities) caused by geohazards in the country.

- 4 questions to assess the strength and weaknesses of the participant survey in the field of geohazards: the staff; the existence of mapping plans, the legal competences, and the dissemination of the information produced by the geosurvey.

Results

Flooding is the most significant geohazard (regarding damage) for Argentina, Brazil, Spain, Honduras, Mexico and Portugal with earthquakes and tsunamis for Chile, Ecuador and Peru, and landslides for Chile and Colombia. Volcanic eruptions are relegated to a fourth place of the most damaging geohazards (Table I); nevertheless, a single volcanic or seismic event can generate considerable damage that may modify this general assessment, such as the case of the volcanic eruption "Nevado del Ruiz" in Colombia (1985), with 25,000 fatalities.

All the geosurveys report damaging events during the past 10 years (Figs. 2, 3 and 4), the with the case of Honduras being outstanding, where the Hurricane Mitch (1998) caused 5,677 fatalities, 12,000 injured people and 1.4 million people affected. Economic loss was estimated at 4% of the National GDP (United Nations, 1999)

In general, there is a lack of official information regarding the economic and social impact of geohazards in Iberoamerica. Peru reports 85 fatalities annually caused by landslides and economic losses of up to US\$ 3,100 million when the Niño phenomenon takes place; Mexico reports that 22 million people have been exposed to flooding and this geohazard causes losses of US\$230 million annually.

Most of the participant geosurveys have a national geohazard mapping plan (Table II), usually to draw up susceptibility and hazard maps at large scales (> 1:100,000). Nevertheless, some countries, such as Brazil (Fig. 5) and Colombia, include vulnerability and risk maps at a detailed scale (< 1:25,000). The Geological Survey of Brazil also produces geotechnical maps for urban purposes.

Half of the participant geosurveys have no legal competences on geohazards (Table III), which is reflected in a smaller number of experts on the staff (Table IV). The Geological Survey of Brazil has legal competences in all the geohazards with a high number of experts on flooding and landslides. A particular case is the Geological Survey of Colombia, which is responsible for the seismic and volcanic network (Fig. 6).

Half of the participant geosurveys have an outreach programme to strengthen geohazard awareness. A good example is the Geological Survey of Colombia, with a strategic plan to social knowledge assumption. This plan is focused on local communities in geohazard-prone areas and policymakers.

Discussion and conclusions

Geohazards in Iberoamerica have produced extensive social and economic impacts which have resulted in fatalities, injures, destruction to housing and properties, infrastructures and loss of productive land. The socio-economic impact of geohazards is difficult to quantify; in fact, there is a lack of information in many of the participant geosurveys. Taking into account only the significant cases reported by the geosurveys during the past decade, 11,000 deaths have occurred and severe damage valued up to US\$50 billion. It is necessary to implement an Iberoamerican geohazard database to compile all the events and their real effects.

Geological services have an important challenge ahead to implement/improve systematic, continuously updated geohazard-mapping plans. ASGMI has to maximize this, taking advantage of the positive experience of some of its members. One relevant deficiency detected is the lack of vulnerability/risk maps at a sufficiently detailed resolution for urban and territorial planning.

Half of the participant geosurveys have no legal capabilities in the field of geohazards; they are in the hands of other institutions. ASGMI, with the geological knowledge of Iberoamerica, has to enhance the collaboration and cooperation with these institutions.

Major efforts on dissemination have to be carried out. Authorities and residents in hazardous areas must be made aware of the dangers. The Geological Surveys of Iberoamerica can play a vital role in this: providing residents with adapted information, as well as designing specific training for policy-makers and land-use planners. Geological Surveys have to make a greater effort to present scientific and technical data as open information which is freely available in digital format

Introducción

Los peligros geológicos causan impactos muy significativos en el desarrollo económico y social de Iberoamérica (Anderson, 1991; UNESCO, 2015). Según un informe del Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2000), 150 millones de personas, o uno de cada tres habitantes de la región, están expuestos a las amenazas de origen geológico. Durante el último cuarto del siglo XX, los desastres costaron la vida a más de 100.000 personas en Iberoamérica y causaron daños superiores a US\$50.000 millones. El estudio apunta que esta estadística representa sólo la punta del iceberg, ya que se fundamentó en datos aportados por algunos países, y no por el conjunto de los países iberoamericanos. Adicionalmente, se aprecia un incremento en la frecuencia de eventos catastróficos durante las últimas décadas, que pudiera estar relacionado con los efectos del cambio climático. Entre 1900 y 1989 la región Iberoamericana se enfrentó a un promedio de 10,8 desastres por año, mientras que en la década 1990-1998, ese promedio aumentó a 40 eventos por año. Estos datos permiten afirmar que Iberoamérica se erige como el segundo territorio del Mundo (tras Asia) más vulnerable a los peligros geológicos debido principalmente a la elevada concentración de población en zonas de alto riesgo, al crecimiento demográfico y urbanístico acelerado y a la degradación ambiental provocada por el abuso de los recursos naturales (BID, 2000).

El contexto geológico de Iberoamérica es de los más proclives del mundo a las amenazas geológicas. Incluye al menos cuatro placas tectónicas activas y sus costas del Pacífico y caribeña registran una parte muy significativa de la actividad sísmica y volcánica del Planeta. Las tormentas tropicales y huracanes son muy frecuentes, especialmente en América Central y el Caribe, y el control climático de los fenómenos recurrentes de El Niño y La Niña dejan una estela de intensas sequías, lluvias torrenciales y fuertes vientos en toda la región. Según datos del BID (2000), los desastres por eventos naturales durante el siglo XX en Iberoamérica (a excepción de España y Portugal) han causado: 432,000 víctimas mortales, millones de personas afectadas y daños económicos incalculables. De los peligros geológicos que acechan el territorio, las inundaciones y avenidas dejan los mayores daños, que se cuantifican en pérdidas humanas y económicas, seguidas de terremotos, deslizamientos y erupciones volcánicas (Santana y Escobar, 2006). En ocasiones, un evento meteorológico extremo puede desencadenar un abanico de procesos geológicos asociados: inundaciones, deslizamientos, erosión marina, etc. Tal es el caso de los efectos del Huracán

Mitch (1998) en América Central, con un saldo de 17,000 muertos y desaparecidos, y pérdidas económicas superiores a los US\$10,000 millones (Baños Castiñeira, 2002).

La Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos (ASGMI) fue fundada en el año 1993, con personalidad jurídica propia desde el año 2012. ASGMI representa en la actualidad a 22 servicios geológicos de Iberoamérica (Fig. 1): Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, El Salvador, España, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Portugal, República Dominicana, Uruguay y Venezuela, además del servicio geológico regional de Cataluña (España). La Asociación tiene dos misiones fundamentales: contribuir al desarrollo socio-económico de los pueblos mediante la cooperación horizontal entre sus asociados (bilateral/multilateral) y el fortalecimiento institucional de los Servicios de Geología y Minería. Con estos objetivos en el horizonte, ASGMI tiene entre sus fines «la cooperación internacional, científica y técnica para el desarrollo, teniendo en cuenta la sensibilidad creciente de la sociedad en materias tales como la prevención y mitigación de los desastres por fenómenos naturales, la gestión sostenible de los recursos minerales, hídricos y energéticos, la contaminación del suelo y de las aguas subterráneas, o los efectos del cambio climático». Con la finalidad de componer una estructura que facilite el cumplimiento de estos objetivos, ASGMI ha ido creando una serie de Grupos de Expertos (9 en la actualidad), entre los que se encuentra el Grupo de Amenazas Geológicas (GAG-AGSMI en adelante). GAG-ASGMI empieza su actividad en enero de 2019 con el objeto de favorecer la cooperación internacional en materia de peligros geológicos (vulcanismo, sismicidad, inundaciones, movimientos en masa y otros), el intercambio de información entre los diferentes servicios geológicos, así como implementar conjuntamente medidas encaminadas a dar apoyo a la prevención y mitigación de catástrofes.

En marzo de 2019, GAG-ASGMI comparte entre sus asociados un primer cuestionario (ver Anexo I) que pretende evaluar los siguientes aspectos: las amenazas geológicas y su impacto en cada país, con los eventos más significativos de los últimos años, así como identificar las fortalezas y debilidades de los servicios geológicos iberoamericanos en la materia. El cuestionario fue completado por los servicios geológicos de Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, España, Honduras, México, Perú y Portugal. En el presente trabajo se analizan las respuestas dadas al cuestionario por los diferentes países, para dar paso a una discusión general sobre las iniciativas conjuntas



Figura 1. La Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos (ASGMI) cuenta con 22 socios: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, El Salvador, España (y la región de Cataluña), Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Portugal, República Dominicana, Uruguay y Venezuela.

Figure 1. The 22 countries belonging to the Association of the Geological and Mining Surveys of Iberoamerica (ASGMI): Argentina, Bolivia, Brazil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, El Salvador, Spain (and the region of Catalonia), Guatemala, Honduras, Mexico, Nicaragua, Panama, Peru, Portugal, Dominican Republic, Uruguay and Venezuela.

que deberían adoptar los servicios geológicos y mineros iberoamericanos con la finalidad de mejorar el conocimiento de los peligros geológicos y poder así contribuir a las tareas de vigilancia y prevención de los mismos.

El Marco de Sendai para la Reducción del riesgo de desastres 2015-2030 de las Naciones Unidas (2015) hace referencia al importante papel que puede jugar, no solo el sector académico, sino otras entidades y redes científicas de investigación: *deben aumentar la investigación para la aplicación regional, nacional y local, apoyar las iniciativas de las comunidades y las autoridades locales, y apoyar la interacción entre las políticas y la ciencia para la toma de decisiones.* Los servicios geológicos deben ser instituciones estratégicas para contribuir notablemente a conseguir tales objetivos.

Metodología

El cuestionario desarrollado por GAG-ASGMI (Anexo I) está constituido por siete preguntas que se engloban en dos grupos:

- Tres cuestiones relativas a los peligros geológicos más relevantes en el país y los daños y afecciones que causan. Se incluye además una relación de los eventos más dañinos ocurridos durante la última década.

- Cuatro preguntas relativas al papel del servicio geológico frente a las amenazas: planes de cartografía temática, plantilla de expertos, competencias oficiales y la existencia o no de programas de transferencia del conocimiento científico-técnico adquirido.

Resultados

Las amenazas geológicas en Iberoamérica: daños y efectos

Existe un amplio abanico de amenazas geológicas que acechan Iberoamérica. La Tabla 1 reúne los resultados obtenidos del cuestionario, donde los servicios geológicos tenían que valorar (de manera cualitativa) la importancia en su país (en cuanto a daños se refiere) de cada uno de los principales peligros geológicos: inundaciones y avenidas torrenciales, movimientos en masa, terremotos/tsunamis y volcanes. En general, las inundaciones y las avenidas torrenciales representan la principal amenaza para Argentina, Brasil, España, Honduras, México y Portugal. Los terremotos/tsunamis representan la amenaza principal para Chile, Ecuador y Perú, y los movimientos en masa para Chile y Colombia. La actividad volcánica queda relegada a un cuarto lugar de los fenómenos geológicos más dañinos. No obstante, un solo evento volcánico o sísmico puede generar cuantiosos daños puntuales que modifican esta valoración general. Tal es el caso de la catástrofe inducida por la erupción del Nevado del Ruiz (1985) sobre los departamentos de Caldas y Tolima (Colombia), que dejó una estela de 25,000 muertos y pérdidas económicas valoradas en US\$246 millones (0,7% del PIB del país).

Los eventos más significativos de la última década

Entre los eventos más dañinos ocurridos durante la última década, los servicios geológicos participantes han reportado los siguientes:

- ARGENTINA: Tras las abundantes lluvias que castigaron a Buenos Aires y La Pampa durante el 2017, hubo 10 millones de hectáreas productivas inundadas y anegadas. La pérdidas económicas, directas e indirectas, equivalen a US\$ 1.138,5 millones a lo que habría que sumar US\$ 4.517 millones en concepto de pérdidas de 301.000 cabezas de ganado y US\$ 4.857 millones por otras afecciones (destete de terneros y remisión de leche). Adicionalmente, las intensas lluvias de 2017 afectaron a la localidad de Volcán (Jujuy), que fue anegada por barro y lodo, con pérdidas económicas valoradas en US\$ 4,65 millones (datos oficiales del Gobierno de la Provincia y la Nación).

- BRASIL: Uno de los mayores desastres tuvo lugar los días 11 y 12 de enero de 2011. La ocurrencia de un episodio de lluvias muy intensas (> 200 mm diarios) disparó numerosos movimientos de ladera (flujos principalmente) que afectaron a 20 municipios, en su mayoría del Estado de Río de Janeiro. Las nefastas consecuencias fueron: 1000 muertos, 400 desaparecidos y cerca de 30 mil damnificados y desplazados, así como más de 20.000 familias sin hogar (Castilho et al. 2012). Las estimaciones del Banco Mundial (2012) afirman que los costes económicos fueron del orden de US\$ 478.000.

- CHILE: El terremoto de Maule de 2010 (8,8 Mw) causó 521 víctimas mortales, 56 personas desaparecidas, 2 millones de damnificados, 200 mil viviendas destruidas y unos daños económicos cuantificados en US\$ 30.000 millones. Las intensas y excepcionales lluvias de marzo de 2015 en el norte del país, causadas por un núcleo frío en altura, causaron inundaciones y flujos de derrubios que dejaron un saldo de 31 muertos, 16 desaparecidos, 35.086 damnificados, 2.071 viviendas destruidas y 6.253 viviendas dañadas (ONEMI, 2015)

- COLOMBIA: El 31 de marzo de 2017, como consecuencia de fuertes lluvias, tuvieron lugar (de manera simultánea) avenidas torrenciales (flujos de detritos) en las cuencas de las quebradas Taruca y Taruquita y los ríos Mulato y Sangoyaco, que afectaron a la ciudad de Mocoa, capital del departamento de Putumayo, al sur del país (Fig. 2). El evento dejó 332 personas

fallecidas, 398 personas heridas, 77 desaparecidas, 141 viviendas destruidas, 1.462 viviendas afectadas, y numerosas infraestructuras seriamente dañadas (vías, puentes, subestaciones eléctricas, acueductos, etc.). El valor estimado para la reconstrucción es de US\$400 millones, que representan cerca del 0.2% del PIB (2017) de Colombia (UNGRD, 2017).

- ECUADOR: El terremoto de Ecuador del 16 de abril de 2016, de magnitud 7,8 Mw y con epicentro entre las parroquias Pedernales y Cojimíes (cantón de Pedernales), ha sido el terremoto más importante del país en lo que va de siglo. Dejó un saldo de 671 víctimas mortales y 12 desaparecidos, así como 80.000 personas afectadas, con casi 14.000 viviendas por demoler y cerca de 70.000 casas dañadas (Fig. 4). La estimación de los daños económicos causados por el terremoto asciende a US\$ 3.344 millones.

- ESPAÑA: El terremoto de Lorca (2011), con Magnitud 5,1 Mw, y réplicas posteriores, dejaron 12 víctimas mortales, graves daños al patrimonio cultural de la ciudad y un saldo de pérdidas económicas valorado en US\$1.332 millones (ICOG, 2018). La inundación relámpago en el municipio de Son Servera (Mallorca), en octubre de 2018, causó la pérdida de 13 vidas humanas y graves daños materiales a la localidad e infraestructuras de la zona, valoradas en US\$101 millones (El Mundo de Baleares, 2018).

- HONDURAS: El huracán Mitch (1998) se puede considerar la mayor tragedia del siglo XX en Honduras. Causó 5.677 muertos en el país, 12.000 heridos y

AMENAZA	Inundaciones Avenidas	Movimientos en masa	Terremotos / Tsunamis	Volcanes	Otros Subsistencia y colapso
Más importante del país	Argentina Brasil España Honduras México Portugal	Chile Colombia	Chile Ecuador Perú		
2ª más importante	Colombia (avenidas torrenciales) Chile	Argentina Brasil Ecuador España Honduras México Perú	Portugal	Chile	
3ª más importante	Colombia (inundaciones) Ecuador Perú	Portugal	España Honduras	Argentina México	Brasil Chile

Tabla 1. Valoración cualitativa de la importancia, en cuanto a daños se refiere, de las diferentes amenazas geológicas en cada país participante.
Table 1. Qualitative assessment of the most damaging geohazard for each participant country.

1,4 millones de damnificados. Los daños fueron tan devastadores que redujeron el PIB nacional en un 4% (Naciones Unidas, 1999).

- MÉXICO: El huracán Ingrid y la tormenta tropical Manuel (septiembre 2013) dejaron de manera simultánea, en ambos extremos del país, 105 víctimas mortales y cuantiosos daños en numerosas (119) localidades (Fig. 3). Los terremotos de Tehuantepec (8,2 Mw) y de Morelos (7,1 Mw), ambos en septiembre de 2017, dejaron un reguero de 471 víctimas mortales y daños incalculables en viviendas e infraestructuras (SSN, 2017a; SSN, 2017b).

- PERÚ: El Niño costero de 2017 fue un evento climático excepcional, caracterizado por intensas precipitaciones que activaron deslizamientos en las regiones de Arequipa y Tumbes (13 regiones afectadas). Los daños causados se resumen en: 169 personas muertas, 19 desaparecidos, 505 heridos, 283.137 damnificados y 1.644.879 afectadas; graves afectaciones a las vías de comunicación (22.618 km), viviendas (447.018), puentes (509), escuelas (4.159) y centros de salud (1.230) (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2018).

- PORTUGAL: El 20 de febrero de 2010, Madeira sufrió unas intensas lluvias (334 mm/24h) que generaron numerosas inundaciones y deslizamientos de tierras (flujos principalmente) en la isla. Hubo 45 víctimas mortales, 8 desaparecidos, 250 heridos y unas 600 personas desalojadas de sus hogares. Las pérdidas económicas de este evento se cuantifican en US\$ 1,9 billones (Fragoso et al. 2012).

Quantificación oficial de daños

En relación a la cuantificación de daños por peligros geológicos, hay pocos países con datos oficiales. La mayoría hacen referencia a casos concretos como los expuestos con anterioridad. No obstante, algunos servicios geológicos han facilitado datos al respecto:

- ARGENTINA: refiere unos costes anuales por inundaciones de US\$40 millones y más de 5.000 evacuados. En relación a la actividad volcánica, los daños económicos anuales que genera se estiman en más de US\$ 7,2 millones.

- BRASIL: En el periodo comprendido entre 1991-2012 se han registrado 12.750 eventos de inundaciones que han generado 2.800 víctimas mortales (UFSC, 2013; Mikoz, 2017), lo que equivale a una media de 133 víctimas anuales por este tipo de procesos. Los movimientos en masa, para el mismo periodo, han registrado 539 víctimas en 699 eventos (USF, 2013), lo que representa una media de 26 víctimas cada año. Otros procesos, tales como la erosión (349 eventos



Figura 2. Vista aérea de los efectos de las avenidas torrenciales de 2017 en la ciudad de Mocoa, Putumayo (Colombia). Murieron 332 personas y casi 1.500 viviendas fueron afectadas. Fuente: ©Elpais.com.co/Colprensa.

Figure 2. Aerial photo which shows the impact in the city of Mocoa (Colombia) caused by debris flow. 332 fatalities and almost 1,500 dwellings were affected. Source: ©Elpais.com.co/Colprensa.

durante el periodo 1991-2012) han generado 6 víctimas mortales. No hay datos oficiales en cuanto a pérdidas económicas.

- COLOMBIA: La Unidad para la Gestión del Riesgo de Desastre (UNGDR) lleva un registro permanente de las emergencias ocurridas en el país. Las inundaciones y avenidas torrenciales generan el 15% y el 19% (respectivamente) de las muertes causadas por amenazas naturales, con más de 22 millones de hectáreas del territorio nacional inundables. Los movimientos en masa son los que mayores víctimas generan, el 66% de las ocasionadas por las amenazas geológicas. En relación a la actividad sísmica, teniendo en cuenta los datos de los últimos 35 años, los terremotos causan un promedio mínimo de 70 fallecidos al año y unas pérdidas económicas anuales estimadas en US\$100 millones. La actividad volcánica en Colombia registra enormes tragedias, como la erupción del volcán Nevado del Ruiz en 1985, que generó pérdidas económicas valoradas en US\$246 millones y 25.000 víctimas mortales.

- ESPAÑA: Según recientes datos del ICOG (2018), los peligros geológicos generan en España unas pérdidas anuales de US\$613 millones. Las inundaciones son los procesos que causan mayores daños, con un promedio de 10 víctimas anuales y pérdidas económicas superiores a los US\$111 millones (Díez-Herrero y García-Rodríguez, 2016).

- MÉXICO: Las inundaciones generan en México unas pérdidas económicas anuales de US\$ 230 millones (Staff, 2017) y se estima una población de 22 millones de personas expuestas a este peligro. Los movimientos en masa producen 25 víctimas anuales de promedio, y unas pérdidas económicas de US\$12,65



Figura 3. Deslizamiento en La Pintada (México), ocurrido en septiembre de 2013 tras el paso de la tormenta tropical Manuel. Hubo 86 víctimas mortales y graves afectaciones a viviendas e infraestructuras. Fuente: Servicio Geológico Mexicano.

Figure 3. Landslide in La Pintada (Mexico) in September 2013. The landslide was triggered by the tropical storm Manuel. It caused 86 fatalities and numerous dwellings and infrastructures were severely affected. Source: Geological Survey of Mexico.

millones (estimaciones para el periodo 2000-2015, SEGOB, 2016).

- PERÚ: Los movimientos en masa en Perú generan un promedio de 85 víctimas anuales y daños económicos de hasta US\$3.100 millones cuando se produce el fenómeno de El Niño costero (1,6% del PIB). El terremoto de Ancash de 1970 (7,9 Mw) y el aluvión asociado causaron 70.000 muertos. Se considera el sismo más destructivo de la historia del Perú y una de las mayores tragedias naturales del siglo XX.

Planes de cartografía temática en los servicios geológicos iberoamericanos

Los planes nacionales de cartografía temática de los diferentes peligros geológicos son muy diversos en los diferentes servicios geológicos, en cuanto a escala y contenidos se refiere. Algunos países se limitan exclusivamente a los peligros más dañinos. En la Tabla 2 se sintetizan los planes cartográficos de cada servicio geológico. En general, predominan las cartografías de susceptibilidad y peligrosidad (amenaza), aunque algu-

nos servicios geológicos elaboran también mapas de vulnerabilidad, exposición y riesgo, e incluso de zonificación de amenaza sísmica, como Chile y Colombia. En relación a las escalas cartográficas, predominan las regionales e incluso nacionales (> 1:100.000), aunque algunos servicios geológicos trabajan a escala de más detalle (1:25.000-1:10.000), llegando a escalas más locales y precisas (1:1.000) en el caso de Brasil y Colombia. El Servicio Geológico de Brasil (CPRM) tiene la misión de elaborar los mapas de riesgo a los movimientos en masa e inundaciones a escala municipal (Fig. 5). Además, tiene la particularidad de elaborar «Cartas de Aptitud a la Urbanización», que traducen la capacidad de los terrenos para soportar los diferentes usos y prácticas de la ingeniería y del urbanismo, con el mínimo impacto posible y con el mayor nivel de seguridad para la población. Se entiende como documentos estratégicos para el crecimiento planificado y adecuado de la ocupación del medio físico, con fines a la caracterización del medio frente a diferentes tipos de solicitudes urbanísticas, además de la indicación de aptitudes frente a desastres naturales.

La mayoría de los servicios geológicos reportan una actualización reciente de las cartografías, destacando los casos de Chile y Brasil con actualizaciones en el 2019.

Fortalezas de ASGMI para hacer frente a las amenazas geológicas

Competencias oficiales

La Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanas cuenta con miembros muy dispares en cuanto a funciones y actividad se refiere. En algunos predomina la actividad relacionada con los recursos minerales, y en otros su actividad es más diversa, incluyendo diferentes campos de trabajo como la hidrogeología, el patrimonio geológico, la geotermia, los materiales radioactivos y las amenazas geológicas. Únicamente los Servicios geológicos con actividad en este último campo forman parte del Grupo de Expertos en Amenazas Geológicas de ASGMI. Como primer paso para evaluar la fortaleza del grupo, se han analizado las competencias oficiales que tiene cada servicio geológico en materia de vigilancia, seguimiento y control de los diferentes peligros geológicos. Las respuestas se resumen en la Tabla 3.

Destaca el Servicio Geológico de Brasil con competencias oficiales en todos los peligros geológicos analizados. En concreto, su División de Geología Aplicada - DIGEAP fue creada a raíz del histórico de accidentes resultantes de los procesos geológicos naturales, sumados a las intervenciones antrópicas en el medio ambiente. Una de las competencias de esta división es actuar en acciones de emergencia, en apoyo a la defensa civil durante los principales eventos en Brasil, desde el año 2011. La división actúa en la promoción de estudios, proyectos y programas relativos a la Geología Aplicada a la Ingeniería, Geotecnia y Ocupación Urbana, con enfoque en Riesgos Geológicos. Las actividades específicas se desarrollan con el fin de identificar y caracterizar atributos del medio físico, para orientar la toma de decisiones de la defensa civil durante la fase de rescate y respuesta, para la reducción de los daños materiales y/o pérdidas de vidas humanas (CPRM, 2018).

Colombia también es un país a destacar donde el Servicio Geológico Colombiano (SGC) opera las redes sismológicas y acelerográficas nacionales, con 60 estaciones sismológicas satelitales y 122 acelerógrafos. Además, dispone de tres Observatorios Volcanológicos que monitorea e investiga 23 estructuras volcánicas con redes multiparamétricas (geofísica, geodésica, geoquímica y geovulcanológica), a través



Figura 4. Terremoto del 16 de abril de 2016 (7,8 Mw) con epicentro entre las parroquias Pedernales y Cojimíes (Ecuador). Causó 671 víctimas mortales, más de 6.000 heridos y 80.000 personas afectadas. El sismo destruyó el 70% de las edificaciones en Pedernales. Fuente: ©Extra.ec.

Figure 4. Earthquake in Pedernales and Cojimíes (Ecuador) on 16 April 2016 (7.8 Mw). 671 fatalities, more than 6,000 injured people and 80,000 people were affected. The earthquake destroyed the 70% of the dwellings in Pedernales. Source: ©Extra.ec.

de 349 estaciones permanentes y 287 de campaña. Además, el SGC cuenta con Red Geodésica Satelital GPS con propósitos geodinámicos, conformada a finales de 2018 por 126 estaciones permanentes (Fig. 6). Genera igualmente mapas de amenaza por movimientos en masa a diferentes escalas, mapa nacional de amenaza sísmica y mapas de amenaza volcánica.

Los Servicios geológicos de España, Honduras, México, Perú y Portugal no tienen competencias oficiales en materia de peligros geológicos, que están en manos de otras instituciones.

Plantilla de expertos

La Tabla 4 recoge el número de expertos en plantilla de cada Servicio Geológico participante y para cada tipo de amenaza (septiembre 2019). En total, los diez países participantes ofrecen 361 expertos en la materia, un 35% de ellos dedicados a los movimientos en masa y un 25% a vulcanismo. Indudablemente, el disponer de competencias oficiales dispara la plantilla de expertos, como ocurre en los servicios geológicos de Brasil y Colombia. Entre ambos países atesoran casi el 75% de los expertos.

Programas de transferencia y comunicación del conocimiento

Los Servicios geológicos de Argentina, Brasil, Chile, Colombia y Perú tienen programas especiales de difusión del conocimiento abiertos a la sociedad. Un caso particular es el Servicio Geológico Colombiano (SGC), que cuenta con un plan estratégico de Aproximación Social del Conocimiento, en el cual está in-

País	Inundaciones	Movimientos en masa	Terremotos/ tsunamis	Volcanismo	Otros
Argentina	- Susceptibilidad - Peligrosidad - Vulnerabilidad pequeña y gran escala	- Susceptibilidad esca- la de detalle		- Susceptibilidad - Vulnerabilidad escala de detalle	- Aptitud a la ur- banización
Brasil	- Susceptibilidad - Riesgo - Geotécnico E: 1:1.000; 1:1:10.000; 1:25.000	- Susceptibilidad - Peligrosidad - Riesgo - Geotécnico E: 1:1.000; 1:1:10.000; 1:25.000			- Expansividad - Susceptibilidad - Riesgo - Geotécnico E: 1:1.000; 1:1:10.000; 1:25.000
Chile		- Susceptibilidad - Peligrosidad E: 1:250.000 1: 100.000	Respuesta/mi- cro-zonificación sísmica. E: 1:25.000	- Peligrosidad volcanes activos	
Colombia		- Susceptibilidad y amenaza E:1:100.000 - Algunos municipios a E: 1: 25.000 - Zonas urbanas 1:5.000 y 1:2.000 hasta nivel de riesgo	- Riesgo a es- cala nacional 1:1.000.000 - Zonificación sísmica. Escala urba- na 1:10.000	- Evaluación amenaza volcanes: Galeras, Cerro Bravo, Doña Jua- na y Paramillo de Santa Rosa	
Ecuador		- Susceptibilidad E:1:1.000.000 y 1:50.000			
España (GeoUrban, en proyecto)	-Peligrosidad zonas urbanas E: 1: 10.000	- Susceptibilidad E: 1: 25.000	- Peligrosidad zo- nas urbanas E: 1:10.000		
México	-Peligrosidad, ex- posición, vulnerabi- lidad y riesgo. E: 1:2.000.000	- Peligrosidad, ex- posición, vulnerabilidad y riesgo. E: 1:2.000.000	- Peligrosidad, exposición, vulnera- bilidad y riesgo. E: 1:2.000.000	- Peligrosidad, ex- posición, vulnera- bilidad y riesgo. E: 1:2.000.000	
Perú	-Susceptibilidad E: 1: 10.000.000	- Susceptibilidad E: 1:250.000		- Peligrosidad - Vulnerabilidad E: 1:50.000 1:250.000 1:600.000	
Portugal			Peligrosidad E:1:1.000.000		

Tabla 2. Planes cartográficos de los servicios geológicos participantes.

Table 2. Mapping plans in the participant geological surveys.

cluido la difusión a diferentes públicos. En el caso particular del grupo de trabajo "Evaluación de Amenaza por Movimientos en Masa", SGC cuenta con una metodología de comunicación dirigida a comunidades, de tal manera que las autoridades y comunidades locales utilicen este conocimiento como base para la toma de decisiones. Recientemente, el SGC junto a la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastre y el Observatorio de Ciencia y Tecnología definieron una Estrategia de Comunicación del Riesgo Volcánico. Para la temática de los sismos y su

amenaza, actualmente se utilizan las redes sociales para difundir, tanto información sobre la ocurrencia de sismos, como para sensibilizar sobre los sismos y sus efectos. Se tienen implementados sistemas de información para reporte de sismos sentidos, consultas de sismicidad histórica, catálogos y amenaza sísmica. Además, el SGC gestiona el Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA), donde el usuario puede acceder a las bases de datos de catálogo e inventario de movimientos en masa a nivel nacional, que se actualizan permanentemente; ade-

Municípios com risco alto e muito alto a movimentos gravitacionais de massa enchente e inundação mapeados no Brasil

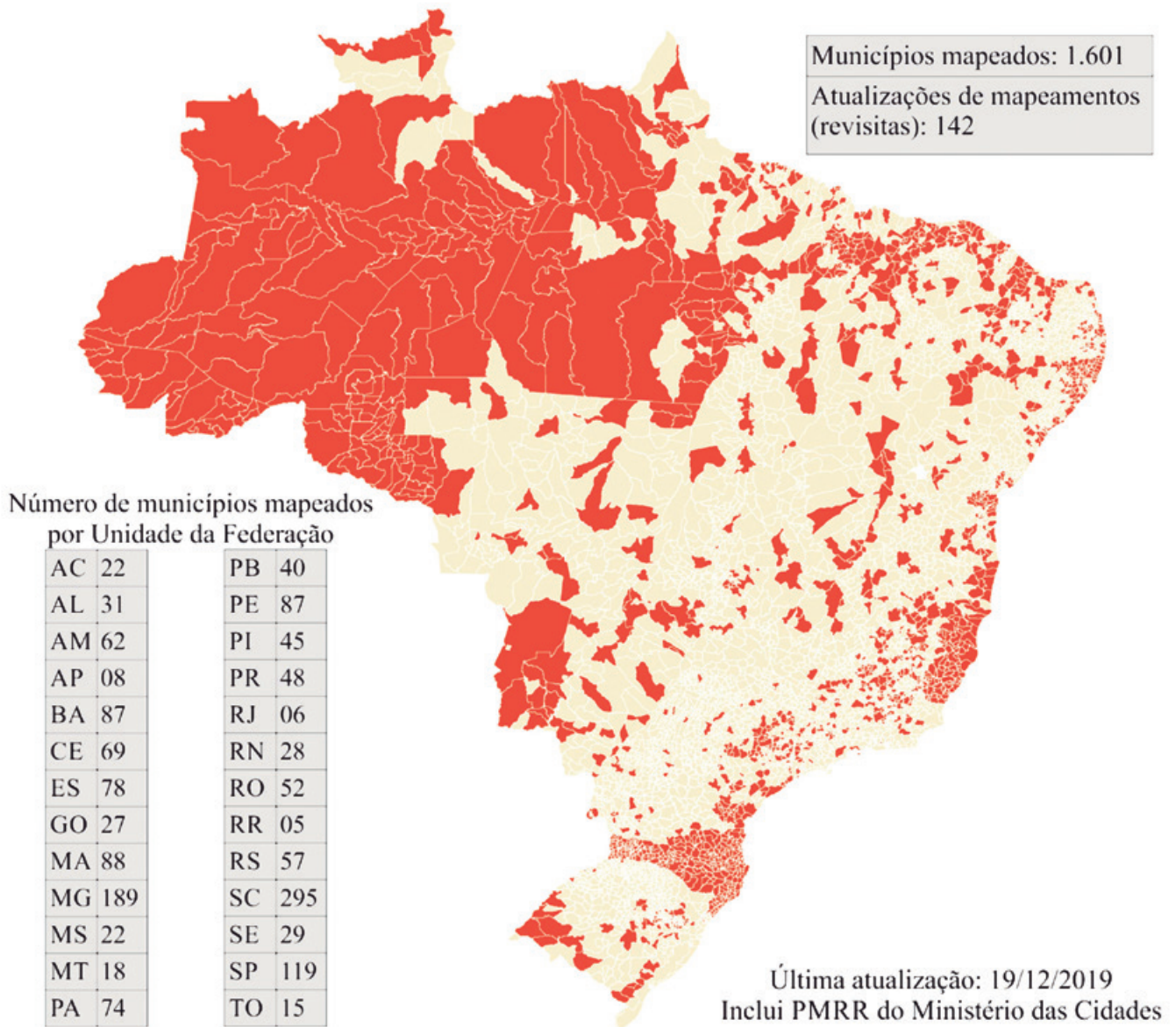


Figura. 5. Plan cartográfico del Servicio geológico de Brasil (CPRM) para la elaboración de mapas de riesgo a escala de municipio a los movimientos en masa e inundaciones. En rojo se muestran los 1601 municipios ya cartografiados en diciembre de 2019.

Figure. 5. Mapping Plan of the Geological Survey of Brazil for landslide and flooding risk at a municipal scale. In December 2019, 1,601 municipalities had already been mapped.

más, SIMMA permite consultar todos los estudios de zonificación de amenaza por movimientos en masa que ha desarrollado el SGC a través de su historia, al igual que información de referencia para público no experto. A través de la página web, el SGC publica los boletines semestrales de sismos y de movimientos fuertes, como producto de la red sísmica y de acelerógrafos, así como boletines semanales,

mensuales y semestrales de actividad de los volcanes que son monitoreados por los tres observatorios vulcanológicos.

El Servicio Geológico de Brasil (CPRM) gestiona el Sistema de Catastros de Deslizamientos e Inundaciones (SCDI) para uso de los equipos de Defensa Civil municipales. El SCDI pretende así elaborar un banco de datos de los eventos ocurridos, para contribuir en

Amenaza geológica	Inundaciones	Movimientos en masa	Terremotos /Tsunamis	Actividad volcánica	Otros
Servicios Geológicos con competencias oficiales	Brasil	Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador	Brasil, Colombia	Argentina, Brasil, Chile, Colombia	Brasil

Tabla 3. Competencias oficiales de los Servicios geológicos participantes en materia de vigilancia, seguimiento y control de los diferentes peligros geológicos.

Table 3. Legal competences on geohazards in the Geological Surveys: alertness, monitoring and control.

el conocimiento de los procesos geológicos y en la elaboración de programas y proyectos para la gestión de los riesgos geológicos de los municipios. El sistema está constituido por varias pantallas estandarizadas para la inserción de datos, asociadas a bibliotecas de atributos, y permite la entrada, consulta, búsqueda y almacenamiento de información. El CPRM también ofrece una línea de actuación destinada a la previsión y alerta de inundaciones. Ha desarrollado un Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE), que proporciona los datos monitoreados en el sitio de forma tabular y gráfica. Además, permite el almacenamiento de ecuaciones de previsión hidrológica de baja complejidad. Publica los boletines en la página web y los transmite vía e-mail a los interesados.

Discusión y conclusiones

El análisis de los resultados del presente trabajo permite la discusión de las siguientes conclusiones:

- Los impactos socio-económicos de los peligros geológicos en Iberoamérica son elevadísimos. Las inundaciones y avenidas torrenciales -asociadas a

eventos meteorológicos extremos- son la principal amenaza, así como los terremotos/tsunamis y movimientos en masa. La actividad volcánica genera también daños importantes en Chile, México y Argentina, principalmente. No obstante, un solo evento sísmico o volcánico puede disparar las cifras de daños económicos y víctimas mortales. La erupción volcánica del Nevado del Ruiz (Colombia, 1985), con 25.000 víctimas mortales, es un trágico ejemplo de ello.

- Todos los países reportan casos dramáticos durante la última década. Tan solo seleccionando un caso significativo en cada uno de los países participantes, la cifra de víctimas mortales asciende a más de 11.000, con centenares de miles de personas afectadas y cuantiosas pérdidas económicas valoradas en casi US\$50 billones. Es un hecho que la economía de los países iberoamericanos se ve gravemente afectada tras la ocurrencia de eventos catastróficos de naturaleza geológica, que pueden tener un alto impacto en el PIB nacional.

- Hay escasos datos oficiales sobre los daños socioeconómicos que generan los peligros geológicos en Iberoamérica. La información disponible se refiere principalmente a los eventos más significativos ocurridos en cada país. Los valores aportados en el apartado anterior, tanto de víctimas mortales como de daños económicos, pueden multiplicarse por varias cifras si se dispusiera de información de todos los eventos. Es necesario trabajar hacia una base de datos conjunta, de manera que la información sea homogénea e intercambiable, así como implementar bases de datos e inventarios exhaustivos similares en cada uno de los países.

- La mayoría de los servicios geológicos participantes están involucrados en la generación de cartografías temáticas sobre amenazas geológicas. Predominan los mapas de susceptibilidad y peligrosidad (amenaza), generalmente a gran escala (>1:100.000), aunque algunos servicios geológicos ya han implantado planes cartográficos de vulnerabilidad y riesgo a escala de más detalle (<1:10.000). Tanto la escala como los contenidos de los mapas son muy heterogéneos entre los diferentes servicios geológicos, e incluso para el mismo país según el tipo de proceso que se analice. ASGMI debe trabajar hacia planes cartográficos comunes, aprovechando las metodologías

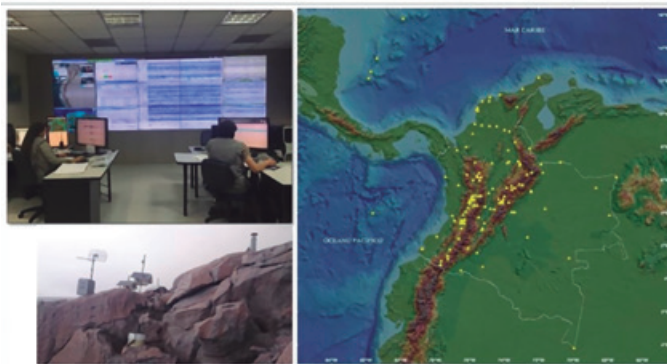


Figura 6. Competencias oficiales del Servicio Geológico Colombiano en materia de vigilancia y control del riesgo sísmico y volcánico. Fotografía superior izquierda: sala de monitoreo 24/7 de la Red Sísmica Nacional de Colombia; fotografía inferior izquierda: equipos de monitoreo volcánico; imagen derecha: mapa de ubicación de las 126 estaciones permanentes de la red geodésica (Fuente: Servicio Geológico de Colombia).

Figure 6: The Geological Survey of Colombia has the legal competences on volcanic and seismic risk. Upper left photo: monitoring room 24/7 of the National Seismic Network; lower left photo: volcanic monitoring equipment; map: location of the 126 permanent geodesic stations of the National Geodesic Network. Source: Geological Survey of Colombia.

Amenaza geológica	Inundaciones	Movimientos en masa	Terremotos/ Tsunamis	Actividad volcánica	Otros
Argentina	2	3		10	5
Brasil	60	60	5	5	2
Chile		11	2	8	
Colombia		25	51	60	
Ecuador		5			
España	2	11	5	2	
México	2	6	1	2	2
Perú		6		4	
Portugal			4		
TOTAL: 361	66	127	68	91	9

Tabla 4. Plantilla de expertos en los Servicios Geológicos participantes para cada amenaza geológica (a fecha de septiembre 2019).
Table 4. Staff, for each geohazard, in the participant Geological Surveys (updated in September 2019).

ya desarrolladas con éxito en algunos países. Las cartografías deben llegar al nivel de vulnerabilidad/ riesgo, a una resolución tal, que se puedan incluir en la planificación territorial y urbanística. Si se identifican previamente, los riesgos geológicos se pueden combatir y minimizar con mayor eficacia.

- La mitad de los servicios geológicos participantes no tiene competencias oficiales en materia de vigilancia, control y seguimiento de los diferentes peligros geológicos. Este hecho determina una pérdida de fortaleza en la temática, que se ve reflejada en una plantilla reducida de expertos y en una limitación de los medios y equipamientos para el estudio y control de las amenazas. ASGMI debe trabajar para compartir recursos y experiencias, así como fortalecer la colaboración y cooperación con aquéllos otros organismos que sí tienen las competencias. El «plus» del conocimiento geológico del territorio es fundamental para hacer frente a las amenazas.

- Tan solo la mitad de los servicios geológicos consultados tienen programas de difusión y comunicación -abiertos a la sociedad- en materia de peligros geológicos. Los programas de transmisión del conocimiento más completos están en aquéllos servicios geológicos con competencias legales en la temática. ASGMI debe potenciar mayores esfuerzos en la difusión del conocimiento a los diferentes sectores de la sociedad: comunidades, líderes políticos y sociales, gestores implicados en el urbanismo y el medio ambiente, servicios de emergencia y protección civil, etc. La información que generen los servicios geológicos debe ser abierta, accesible y en formato digital, con la finalidad de favorecer una comunicación bidi-

recional con la sociedad que, en muchas ocasiones, no es consciente del riesgo a que está expuesta.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado en el marco del Grupo de Expertos de Amenazas Geológicas de la Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanas (ASGMI). Nuestro agradecimiento a Diana Ponce de León y Gracia Olivenza por su continuo apoyo y dedicación.

Queremos agradecer también la labor del editor, así como de los revisores anónimos de este artículo, que han contribuido notablemente a una mejora del mismo.

Referencias

Anderson, M.B. 1991. Which cost more: Prevention or Recovery? In: A. Kreimer y M. Mchan (Eds.), *Managing Natural Disasters and the Environment*. Washington DC: World Bank. 17-27.

Banco Mundial. 2012. *Avaliação de Perdas e Danos: Inundações e Deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro*. Janeiro 2011. 32 pp.

Baños Castiñeira. 2002. El desastre del huracán Mitch en Centroamérica. En: Ayala Carcedo y Olcina Cantos (eds.), *Riesgos naturales*. 797-800.

BID, Banco Interamericano de Desarrollo. 2000. El desafío de los desastres naturales en América latina y El Caribe. *Informe especial del Departamento de Desarrollo Sostenible*. 30 p.

- Castilho, L.V., Oliveira, P., Fabriani, C.B. 2012. Análise de uma tragédia ambiental e a participação da população no equacionamento dos problemas de moradia: um estudo de caso da tragédia na região serrana do Rio de Janeiro. *VI Encontro Nacional da ANPPAS*. 15 p.
- CPRM. 2018. Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa. *Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Desastres Naturais*. Projeto GIDES. (livro eletrônico): CPRM. Rio de Janeiro: CPRM/SGB – Serviço Geológico do Brasil, 2018; Versão 1. 213 páginas (pdf). ISBN (978-85-7499-448-2).
- Díaz-Herrero, A., García-Rodríguez, M. 2016. Riesgos por avenidas e inundaciones. En: Lario, J.y Bardají, T. (Coord.), *Introducción a los Riesgos Geológicos*: 119-152. Editorial UNED. ISBN: 978-84-362-7014-3.
- El Mundo de Baleares. 2018. El Govern quantifica los daños por las inundaciones en Mallorca en 91,1 millones de euros. <https://www.elmundo.es/baleares/2018/10/21/5bc3a2b46163f95818b467d.html>. Consultado el 4 de febrero de 2020.
- Fragoso M., Trigo R.M., Pinto J.G., Lopes S., Lopes, A., Ulbrich, S, and Magro, C. 2012. The 20 February 2010 Madeira flash-floods: synoptic analysis and extreme rainfall assessment. *Natural Hazards Earth System Science* 12: 715–730.
- ICOG, Ilustre Colegio Oficial de Geólogos. 2018. *Impacto económico de los riesgos geológicos en España en los últimos años: unas cifras alarmantes*. *Tierra y Tecnología*. <https://www.icog.es/TyT/index.php/2018/12/impacto-economico-de-los-riesgos-geologicos-en-espana-en-los-ultimos-anos-unas-cifras-alarmanentes/>, consultado el 4 de febrero de 2020.
- Instituto Nacional de Defensa Civil. 2018. *CD-ROM Interactivo estadístico 2018*. Lima: INDECI.
- Mikosz, L. 2017. Sendai Framework Indicators for Disaster Risk Reduction in Brazil: Initial Conditions, Feasibility Analysis, and Understanding the Risks. *GRIPS/ICHARM 2017*, 6pp.
- Naciones Unidas. 1999. *Informe sobre desarrollo humano Honduras 1999: el impacto humano de un huracán*. 325 p.
- Naciones Unidas. 2015. *Marco de Sendai para la reducción de Riesgos por Desastres 2015-2030*. 39 pp.
- ONEMI, Oficina Nacional de Emergencias de Chile. 2015. Análisis multiseccional eventos 2015. Evento hidrometeorológico Marzo-Terremoto/tsunami Septiembre. *Informe del Comité Científico Técnico de ONEMI*. 55 pp.
- Santana, L.M. y Escobar, F. 2006. Las bases de datos globales y SIG en la toma de decisiones: oportunidades y limitaciones. *Entorno Geográfico* 3: 34-51.
- SSNa, Servicio Sismológico Nacional de México. 2017. *Reporte especial: Sismo de Tehuantepec (2017-09-07 23:49 M8,2)*. 9 pp.
- SSNb, Servicio Sismológico Nacional de México. 2017. *Reporte especial: Sismo del día 19 de septiembre de 2017, Puebla-Morelos (M 7,1)*. 10 pp.
- Staff, F. 2017. En México se pierden cada año 230 US\$ por inundaciones. *Revista Economía y Finanzas*. <https://www.forbes.com.mx/mexico-pierden-230-mdd-cada-ano-por-inundaciones/>. Publicado el 1 de julio de 2017
- UNESCO. 2015. *Reducción del Riesgo de Desastres: contribución de la UNESCO frente al desafío global*. 6pp.
- UNGRD, Unidad Nacional para la Gestión de Riesgo de Desastres. 2017. *Infografía_Mocoa*. https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/24990/Infografia_Mocoa.pdf?sequence=1. Consultado el 4 de febrero de 2020.
- UFSC, Universidade Federal de Santa Catarina. 2013. *Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2010*, 2 ed., Florianópolis. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas Sobre Desastres. 168 pp.

Recibido: julio 2019

Revisado: noviembre 2019

Aceptado: enero 2020

Publicado: marzo 2021