

Respaldando la respuesta y la recuperación en Ecuador después del terremoto M7.8 del 16 de abril de 2016

El 16 de abril de 2016, un terremoto de magnitud 7.8 (Mw) sacudió la costa norte de Ecuador, generando cuantiosos daños y víctimas en una extensa área. El hipocentro del evento se ubicó en 0.37N y 79.97O, a una profundidad de 19 km. Al momento de escribir este artículo, centenares de edificios habían colapsado y se reportaban más de 3000 personas afectadas. Ante tales consecuencias, resulta esencial responder de manera eficiente y prepararse para la fase de recuperación. Con el apoyo de la Fundación SwissRe, [GEM](#) ha colaborado con socios locales de Ecuador por muchos años, como parte del alcance del proyecto [SARA](#) (Evaluación del Riesgo en Suramérica, por sus siglas en inglés). Como parte de esta iniciativa, se han desarrollado numerosas bases de datos y modelos útiles para la estimación de pérdidas por terremotos. Este artículo busca compartir algunos de estos resultados con la comunidad científica y de reducción de riesgos por desastres, con la esperanza de que puedan ser de utilidad en la identificación de las regiones donde se espera un mayor nivel de daño, así como en la planificación estratégica del proceso de recuperación.

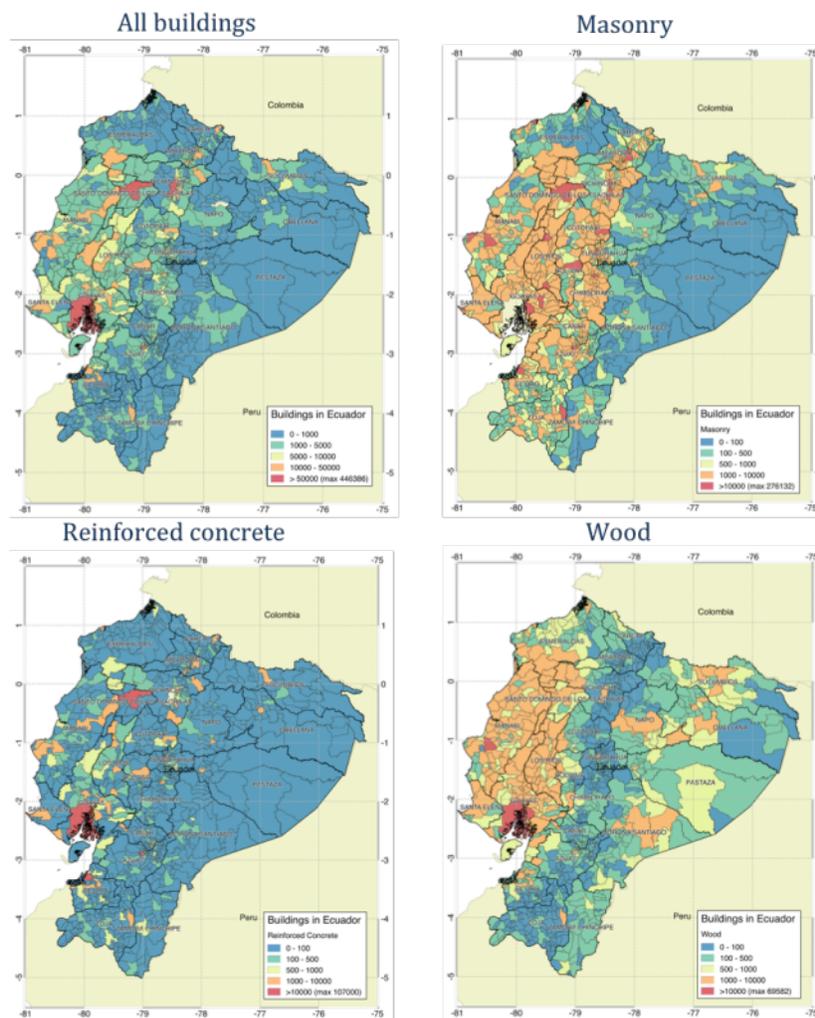
Portafolio de inmuebles residenciales

Ecuador se divide en 25 provincias, 224 cantones y 1024 parroquias ([INEC, 2010](#)). Las mayores ciudades son Guayaquil, Quito (la capital del país) y Cuenca. Como parte del proyecto [SARA](#), se desarrolló un modelo de exposición que incluye el número de edificios y su valor económico (costo de reposición) a nivel de provincia, cantón y parroquia. El inventario de edificaciones residenciales se desarrolló con base en la información proveniente del censo así como la opinión de expertos. A partir de la información censal fue posible obtener las características del material de paredes y piso, el tipo de vivienda y el tipo de área (urbana o rural) al menor nivel administrativo disponible (parroquias). La siguiente figura muestra la distribución total de edificios, así como la distribución de estructuras de mampostería (albañilería), concreto reforzado y madera. Se estima que el portafolio residencial de

Ecuador tiene cerca de 3.02 millones de edificios con un costo total de reposición de USD 62600 millones.

El portafolio residencial se caracteriza por construcciones de baja altura (1-3 niveles), principalmente de mampostería no reforzada y mampostería confinada de baja ductilidad. Adicionalmente, en zonas urbanas es común encontrar estructuras de concreto reforzado con sistemas de losa plana y pórticos con rellenos de mampostería. Por otro lado, en las zonas rurales es habitual la presencia de quincha así como construcciones de adobe y tapia. Este modelo de exposición está disponible [aquí](#) en formato csv y en formato xml compatible con OpenQuake [aquí](#).

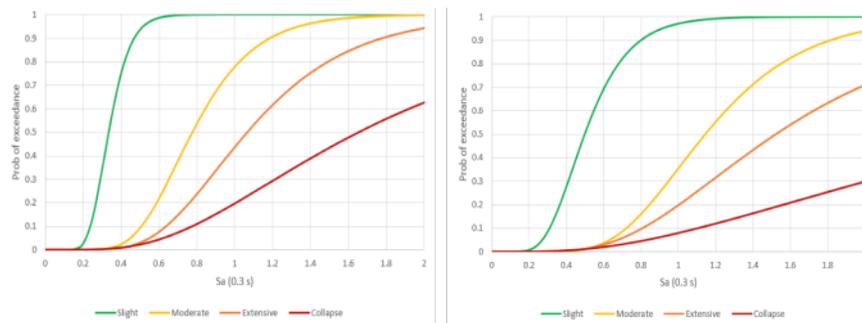
Para más información sobre el proceso de desarrollo de este modelo, sírvase visitar la página [SARA wiki](#).



Distribución de los edificios residenciales en Ecuador

Funciones de fragilidad

Como parte del alcance del proyecto [SARA](#) se obtuvo un modelo de fragilidad para cada tipo de construcción en la región. En este contexto, se generó una gran cantidad de modelos numéricos, los cuales permitieron tomar en cuenta la variabilidad entre edificios. Además, se seleccionaron y escalaron más de 300 registros de aceleración para considerar la variabilidad entre registros. Estos dos componentes se combinaron utilizando análisis dinámicos no-lineales y se consideraron cuatro estados de daño: daño leve, moderado, extenso y completo/colapso. Los modelos obtenidos para mampostería no reforzada y mampostería confinada no dúctil (ambos de 2 niveles) se muestran en la siguiente figura. De acuerdo con los reportes preliminares, estos tipos de construcción se encuentran entre los más afectados.



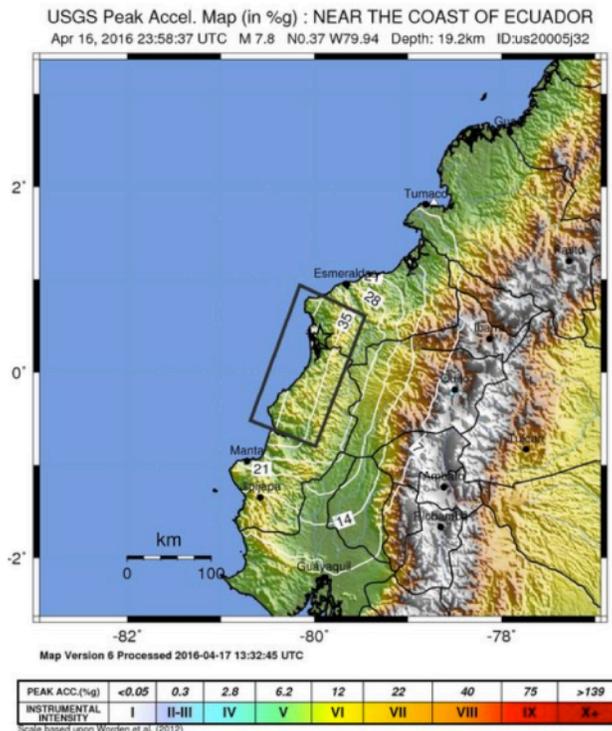
Modelos de fragilidad para mampostería no reforzada y mampostería confinada no dúctil de 2 niveles para Ecuador

Estas funciones de fragilidad han sido verificadas utilizando otros eventos sísmicos en Suramérica (por ejemplo Armenia – Colombia 1999, Pisco – Perú 2007, Maule – Chile, 2010) y pueden obtenerse en formato compatible con OpenQuake [aquí](#).

Movimiento sísmico en la región

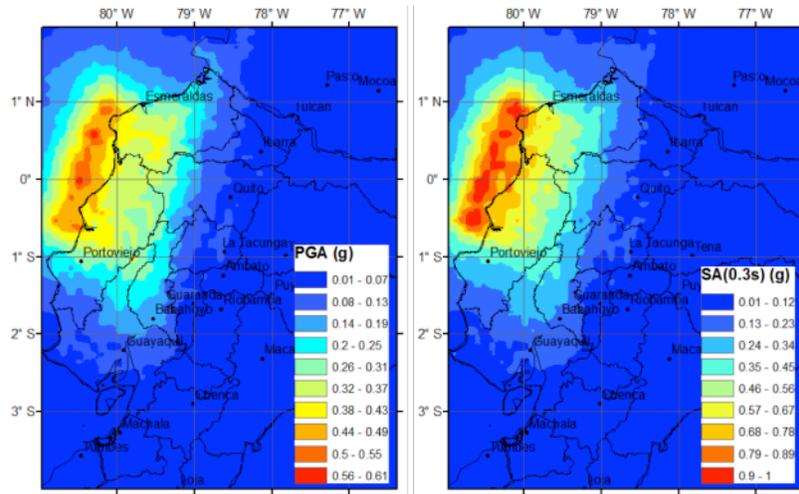
Para definir el **movimiento sísmico** en la región, nuestra recomendación es basarse en los ShakeMaps producidos por el sistema de Evaluación Rápida para Respuesta de Terremotos Globales ([PAGER](#), por sus siglas en inglés) del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Este sistema utiliza los mejores datos disponibles de magnitud, ubicación y **mecanismo de la fuente** para mejorar el modelamiento de falla finita. Además, usa información de **sacudida fuerte** en tiempo real para restringir el **movimiento del suelo** en el área afectada, corrigiendo este con el **componente inter-evento (sesgo)** y reduciendo la variabilidad total en regiones cercanas a estaciones

que hayan registrado el evento. El mapa de [ShakeMaps](#) generado poco después del evento sísmico de Ecuador se presenta a continuación.



ShakeMap generado por PAGER en términos de aceleración pico efectiva (PGA).

El conjunto de datos que facilita el USGS puede utilizarse para generar catálogos de **áreas de movimiento del suelo con correlación cruzada** (*cross-correlated ground motion fields*), los cuales a su vez pueden utilizarse con [OpenQuake](#) para el cálculo de daños y/o pérdidas. Una serie de estas **áreas** puede descargarse [aquí](#) y los correspondientes valores promedio de movimiento del suelo en términos de aceleración pico efectiva (PGA) y aceleración espectral a 0.3 segundos se muestran a continuación.



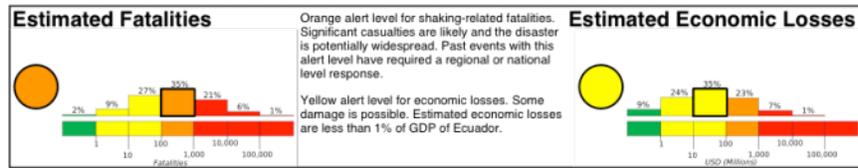
Áreas de movimiento del suelo promedio en términos de aceleración pico efectiva (PGA) y aceleración espectral (SA) a 0.3 segundos utilizando información del ShakeMap de PAGER.

También es posible calcular el **movimiento sísmico** para la evaluación de daños y pérdidas a partir de la geometría de la ruptura y uno (o más) modelos de atenuación disponibles en OpenQuake. La [geometría de la falla propuesta por el USGS](#) puede descargarse [aquí](#) en el formato xml para OpenQuake.

Más información útil sobre este evento puede encontrarse en el portal del [Instituto Geofísico](#) de la Escuela Politécnica Nacional.

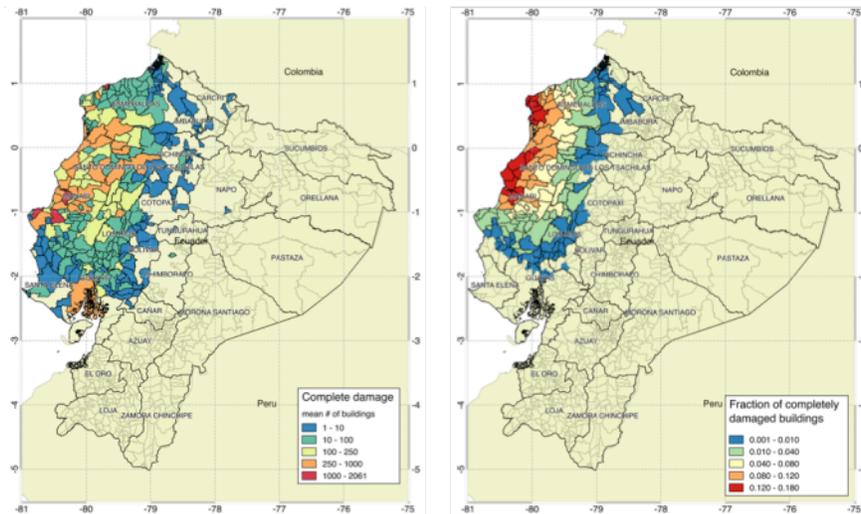
Pérdidas económicas, víctimas y distribución de daños

Para la evaluación rápida de pérdidas humanas y económicas, PAGER genera un reporte cada vez que un evento de al menos cierta magnitud ocurre cerca de áreas pobladas. Estos reportes contienen información relativa al hipocentro y la magnitud del evento, así como estimaciones de pérdidas. Los modelos de pérdidas emplean modelos de vulnerabilidad para cada país, basados en datos empíricos y bases de datos globales con la distribución espacial de la población y el capital social. Estos reportes indican el orden de magnitud esperado de las pérdidas humanas y económicas, así como las probabilidades asociadas. Los [resultados obtenidos para este evento en Ecuador](#) se presentan en la siguiente figura.



Estimación de pérdidas humanas y económicas de PAGER (versión 3)

Con el fin de proveer una estimación del daño en edificios en la región afectada, hemos utilizado los modelos mencionados anteriormente (exposición, fragilidad y **áreas de movimiento del suelo** de ShakeMaps) con el programa [OpenQuake](#) para calcular el número esperado de colapsos en cada parroquia, como se muestra en las siguientes figuras. Es importante resaltar que el “daño completo” (*complete damage*) representa un estado de daño a partir del cual no es posible la reparación de la estructura debido al excesivo nivel de daño y no necesariamente implica el total colapso de la misma.



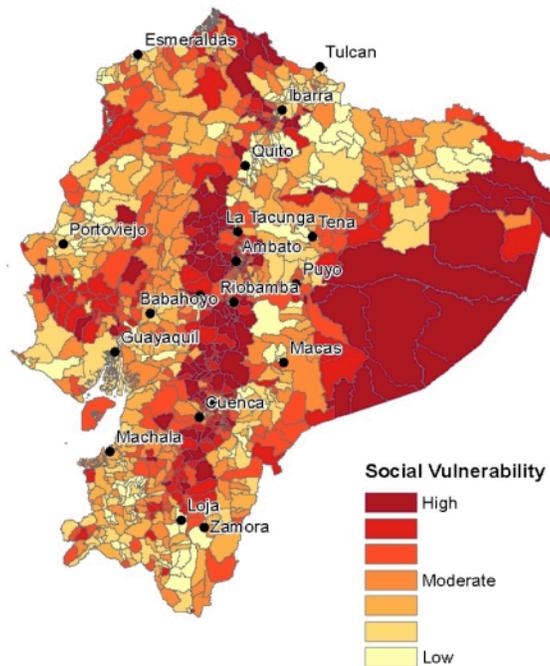
Distribución del número promedio de edificios con daño completo (izquierda) y fracción de edificios con daño completo (derecha).

De acuerdo con nuestras estimaciones, las provincias donde se espera un mayor número de colapsos son **Manabí, Esmeraldas, Guayas y Los Ríos**.

Modelos socio-económicos

La distribución de la vulnerabilidad social en Ecuador es una parte integral del manejo, planeación y mitigación contra el riesgo sísmico del país. La siguiente figura ilustra la variación espacial de la vulnerabilidad social a nivel de parroquias en Ecuador. El valor de vulnerabilidad social en cada parroquia provee una evaluación

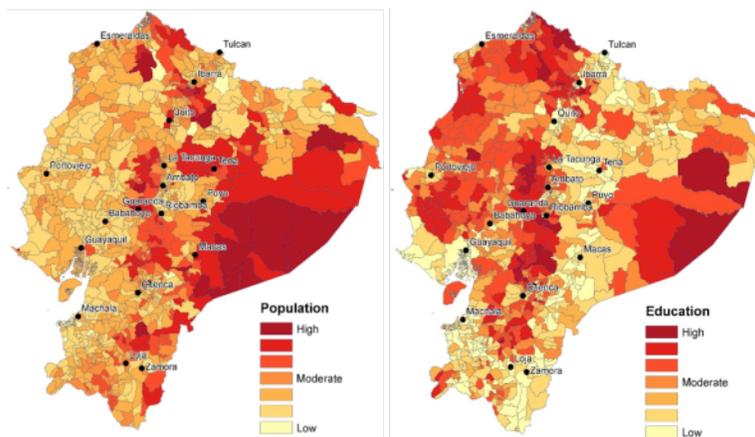
comparativa a nivel del país. Por ejemplo, las parroquias ilustradas en rojo exhiben mayores niveles de vulnerabilidad social. Es de especial interés y potencial utilidad para la administración la concentración de niveles de vulnerabilidad social medio-altos y altos a lo largo de las regiones costeras, los Andes y las regiones amazónicas. Nótese que las parroquias en áreas rurales muestran altos valores de vulnerabilidad social, mientras que los principales centros urbanos y las parroquias a su alrededor presentan los niveles más bajos. Estos resultados confirman el hecho de que las principales zonas urbanas poseen mejor acceso a necesidades básicas tales como líneas vitales (agua, electricidad o sistemas de alcantarillado), educación y servicios de salud.



Distribución del índice de vulnerabilidad social al tercer nivel administrativo en Ecuador (parroquias).

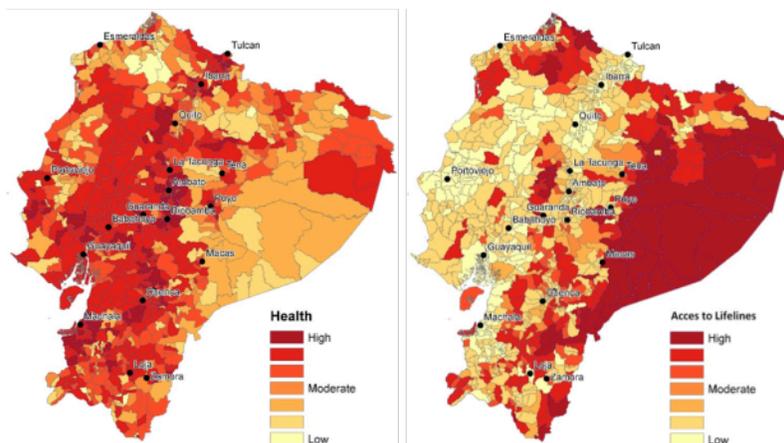
Con el fin de determinar algunos de los factores que contribuyen con las tendencias ilustradas en la figura anterior y además explorar más a fondo el sesgo urbano-rural en la vulnerabilidad social observada, se mapearon los siguientes sub-componentes del índice de vulnerabilidad social: población, educación, acceso a líneas vitales y salud. Muchos patrones espaciales son rescatables. Por ejemplo, ocurren altos niveles de población vulnerable en áreas urbanas importantes (Quito, Ibarra, Ambato, Cuenca) donde condiciones como la densidad de población, población con alguna discapacidad, **dependencia de edad**, inquilinato y población femenina son más pronunciadas, agravando la vulnerabilidad social. Igualmente, se observan altos niveles de vulnerabilidad social en la región amazónica donde las condiciones sociales en que habita la población indígena y la dificultad de acceso a servicios básicos son indicadores de vulnerabilidad social. El componente educativo, representado por el

acceso a educación formal, indica que muchas parroquias en las regiones costera, de los Andes y amazónica presentan altos niveles de vulnerabilidad.



Sub-componentes de población (izquierda) y educación de la vulnerabilidad social

El componente de salud se basa en el acceso a servicios básicos de salud y se puede observar que las parroquias ubicadas alrededor de grandes centros urbanos presentan los mayores niveles de vulnerabilidad respecto a este componente. Esto se debe a la dificultad de la población para obtener acceso a dichos servicios. Finalmente, el acceso a sistemas de agua y saneamiento refleja altos niveles de vulnerabilidad social, especialmente en parroquias rurales y aquellas ubicadas en la región del Amazonas.



Sub-componentes de acceso a salud (izquierda) y a líneas vitales de la vulnerabilidad social

El modelo socio-económico para Ecuador se puede descargar aquí. Los contenidos de este artículo se estarán actualizando en cuanto haya nueva información disponible. Para información adicional sobre los modelos, herramientas y bases de datos aquí descritos, no dude en contactarnos al correo integrated_risk@globalquakemodel.org.