

PROPUESTA DE EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y DE AMENAZAS NATURALES (EGAN) PARA EL DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURA SEGURA EN COSTA RICA

Rolando Mora Chinchilla*
rmorach@geologia.ucr.ac.cr
Maritta Alvarado Velas**
Álvaro Climent Martín***

Fecha de recepción: 15 mayo 2009 - Fecha de aceptación: 30 julio 2009

Resumen

Como primer punto, se describe la situación actual de la inclusión de la geotecnia y las amenazas naturales en el proceso de evaluación del impacto ambiental de proyectos de desarrollo en Costa Rica. Posteriormente, se hace una propuesta sobre los aspectos que deben considerarse a la hora de elaborar una evaluación geotécnica y de amenazas naturales.

Palabras clave: *amenazas naturales, desarrollo sostenible, impacto ambiental, infraestructura, medio ambiente.*

Abstract

A description is done on the current situation of the incorporation of Geotechnics and the Natural Hazards in the process of Environmental Impact Assessment for development projects in Costa Rica. Later on, a suggestion is done on the aspects that must be considered at the moment of elaborating a Geotechnical and Natural Hazards Assessment.

Key Words: *natural hazards, sustainable development, environmental impact, infrastructure, environment.*

Introducción

Por su ubicación geográfica, geológica y geotectónica, Costa Rica se encuentra expuesta a eventos naturales, estos incluyen: sismos, erupciones volcánicas, deslizamientos e inundaciones. El evento más reciente que ha causado pérdidas de vidas y destrucción de obras de infraestructura es el Terremoto de Cinchona del 8 de enero del 2009. La impresión dejada por este evento es que

el Gobierno de Costa Rica requiere, urgentemente, de un sistema efectivo y legal para prevenir y mitigar el impacto de los eventos naturales. También, se debe recordar el caso del Terremoto de Limón de 1991, el cual ocasionó daños severos a la infraestructura vial, misma que fue reparada sin considerar las lecciones aprendidas tras el evento. Por un lado, año con año se repiten los casos de daños a la infraestructura vial y habitacional por causa de las inundaciones en la

* Escuela Centroamericana de Geología, Sede Rodrigo Facio, Universidad de Costa Rica.

** Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA).

*** Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

región caribeña, alrededores de Filadelfia (Guanacaste) y en Parrita. Es evidente que en ningún caso, luego de presentado un evento destructivo, se haya practicado una mejoría en la forma de enfrentar eventos futuros.

En Costa Rica, la importancia de las amenazas naturales ha sido subestimada por los proponentes, planificadores, diseñadores, desarrolladores, contratistas de proyectos y el público en general. Desafortunadamente, la importancia de estos solamente se reconoce luego de un evento dramático y devastador; es decir, actuamos en contra del principio de proteger la vida y la propiedad.

Para lidiar con esta ineficiencia, el Gobierno debe contar con una respuesta adecuada, comprensiva y a largo plazo para prevenir y mitigar el impacto de los eventos naturales. Por ejemplo, se requieren consideraciones adicionales a la hora de realizar el proceso de Evaluación del Impacto Ambiental (EIA); y que todos los proponentes de proyectos, públicos y privados, de desarrollo de infraestructura habitacional y civil, presenten una evaluación geotécnica y de amenazas naturales exhaustiva (EGAN).

Se debe estipular que el proponente de un proyecto de desarrollo realice un EGAN, el cual debe enfocarse en las amenazas geológicas potenciales, las cuales puedan tener un impacto directo o indirecto en la obra. También, deben incluirse las medidas preventivas y de mitigación apropiadas.

El EGAN deberá ser sometido a revisión por parte de un equipo técnico interdisciplinario de la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA), luego de la cual, se determinará si el mismo cumple o será necesaria la presentación de estudios complementarios en forma de anexo al estudio original, antes de que sea otorgada o no la Viabilidad Licencia Ambiental del proyecto.

Este artículo tiene como objetivo hacer reflexionar a los políticos y tomadores de decisiones sobre la imperiosa necesidad de poner en práctica un instrumento para la prevención y mitigación del impacto de los eventos naturales en las obras de infraestructura civil y habitacional. Como cualquier propuesta, la misma debe ser discutida ampliamente con el apoyo de la Comisión Nacional de Prevención del Riesgo y

Atención de Emergencias (CNE), el Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones y el Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

Situación actual de la inclusión de la geotecnia y las amenazas naturales en los estudios de impacto ambiental (EIA)

De acuerdo con el Manual de Instrumentos Técnicos para el proceso de EIA (Manual de EIA) parte II, Decreto N° 32712-MINAE, los datos geotécnicos de capacidad soportante o de cimentación para la obra civil forman parte del protocolo técnico para el estudio de ingeniería básica del terreno, así mismo, como parte del protocolo de geología, se incluye la condición de amenazas/riesgos naturales del área del proyecto.

Los estudios anteriores son requisitos ante la SETENA cuando se desea desarrollar edificaciones, viviendas, edificios para comercio o industria, movimientos de tierra, rellenos, muelles, estructuras de contención, puentes, viaductos, excavaciones, caminos y, en general, cualquier obra que modifique el entorno donde se localizará el proyecto.

En el caso de la consideración de amenazas/riesgos naturales, para las actividades, obras o proyectos de construcción categorizados de moderado a bajo impacto ambiental (según la Lista del Anexo 2 del Reglamento General de Procedimientos de EIA), y cuando las condiciones del terreno del área del proyecto no presentan limitantes significativas por amenazas naturales para su desarrollo, y según el criterio profesional correspondiente, dicho estudio puede ser sustituido por una certificación firmada por un geólogo en la cual indica que las condiciones geológicas son apropiadas para el desarrollo de la actividad, obra o proyecto.

La responsabilidad de la información técnica científica que se presenta en los estudios mencionados anteriormente recae directamente sobre el profesional o profesionales quienes los firman; es decir, profesionales en ingeniería o en geología con especialidad en geotecnia, para el caso del estudio geotécnico, y profesionales en geología, en caso del apartado de amenazas/riesgos naturales.

SETENA, en su papel de autoridad del Estado Costarricense, fiscaliza que los estudios que se aportan cumplan con los lineamientos técnicos establecidos (Cuadro 1), si los mismos se cumplen, acepta la información como verídica, a modo de declaración jurada. Basada en los datos aportados, SETENA puede tomar decisiones

referentes a la Viabilidad Licencia Ambiental del proyecto, obra o actividad planteada. En caso de que se aporte información falsa o errónea, los profesionales correspondientes son responsables por tal falta y por las consecuencias de decisión que a partir de los datos incurre la SETENA y el Desarrollador.

Cuadro 1

Subtema	Descripción básica	Elementos de análisis
1. Estructura geológica local y susceptibilidad a las amenazas	Descripción breve de la estructura que presentan localmente las unidades geológicas superficiales y del subsuelo superior en el área del proyecto (AP) y su área de influencia directa (AID), haciendo vínculo respecto a lo descrito para el entorno inmediato y regional en que se circunscribe. Sobre la base de esta introducción, se deben enumerar las amenazas naturales que podrían enlistarse en el AP y su AID.	Distribución y geometría de las unidades geológicas superficiales y del subsuelo superior. Buzamientos y tendencias estructurales. Presencia de fallas geológicas o discontinuidades geológicas que limiten las unidades. Elaboración de un perfil geológico que interprete la situación geológica y de estructura de las unidades superficiales y del subsuelo superior.
2. Fallas Geológicas	Identificar y delimitar las fallas geológicas presentes en el AP y su AID, y caracterizarlas de forma básica, en particular, debe indicarse si se trata de una falla inactiva, potencialmente activa o inactiva.	Describir si en virtud de estudios geológicos previos en los que se circunscribe el AP y el AID se han delimitado fallas geológicas. En caso de que si, hacer un resumen corto (1 página). Indicar si por criterios directos de campo (geo y neotectónicos) o por fotointerpretación, ha sido posible corroborar la existencia y posición de las fallas geológicas. En caso de que el terreno sea plano y en virtud de las características del proyecto, podría recurrirse a métodos de investigación complementarios, tales como trincheras de exploración o métodos geofísicos. Caracterizar la falla y calificarla según su potencial inactividad o actividad. Definir área de amortiguamiento (buffer) en caso necesario. Colocar la información obtenida en el mapa de amenaza local y señalar las limitantes al método aplicado.
3. Potencial de licuefacción	Sobre la base de los datos sobre la extensión y características geológicas, geotécnicas e hidrogeológicas de las unidades superficiales (no consolidadas) y del subsuelo superior, interpretar la situación respecto al potencial de licuefacción que puede presentar el terreno ante una situación sísmica.	Realizar breve análisis de interacción de datos sobre características físicas e hidrogeológicas de las unidades geológicas superficiales (no consolidadas), identificarlas en el AP. Interpretar y calificar el potencial de licuefacción que pudiese tener esas unidades geológicas dentro del AP ante la aplicación de cargas significativas o bien de solicitaciones sísmicas. Interaccionar los datos con los resultados del estudio de ingeniería del terreno. Representar los datos en el mapa del AP y señalar las limitantes al método aplicado.

Cuadro 1 (Continuación)

4. Sismicidad	Considerando los datos de la geología básica del AP, establecer el tipo de suelo al que pertenece el AP respecto a la tabla guía que contiene el Código Sísmico de Costa Rica. Aportar datos complementarios de sismología local cuando la obra de infraestructura así lo amerite, o bien cuando la geología del terreno lo haga necesario.	Establecer posible vínculo entre sismicidad y fallamiento geológico local. Interpretar desde el punto de vista geológico el efecto sísmico que puede tener la condición del terreno, respecto a la disposición de unidades de roca y su estructura, incluyendo datos sobre los efectos de la morfología del terreno.
5. Amenaza Volcánica	Si el AP se localiza a menos de 30 km de distancia de un centro de emisión volcánico activo o potencialmente activo deberá indicarse, tomando en consideración información previamente publicada para la zona y datos de geología local, el tipo de amenaza volcánica que podría presentar el AP.	Potencial de afectación del AP, por: flujos piroclásticos, flujos de lavas, caídas de cenizas, flujos de lodo, caída de “bombas” de lava y lluvia ácida. Establecimiento de medidas preventivas o de ajuste y adaptación del diseño de la obra.

Lineamientos temáticos que se incluyen en el Estudio de Estructura y Amenazas/Riesgos Naturales a presentar ante la SETENA (según el Manual de instrumentos Técnicos para el proceso de EIA (Manual de EIA) parte II, Decreto N° 32712-MINAE).

Aspectos a considerar durante la elaboración de un EGAN

Las amenazas se pueden clasificar, de acuerdo con su origen, en: Amenazas Geológicas y Amenazas Hidrometeorológicas. Las amenazas geológicas son las causadas por procesos geológicos como: actividad sísmica, deslizamientos y actividad volcánica. Las amenazas hidrometeorológicas son causadas por procesos meteorológicos, fluviales y costeros. En el cuadro 2, se presenta una lista generalizada de las amenazas que, se recomienda, deben considerarse en un EGAN.

Amenaza sísmica

En una región específica, la amenaza sísmica asociada con la ocurrencia de eventos sísmicos puede ser el resultado de los movimientos superficiales de las fallas (rupturas superficiales) o, más probablemente, de la propagación y atenuación de las ondas sísmicas por el medio, cuyo efecto es conocido como sacudida sísmica. Dada la situación sismo-tectónica en nuestro país, caracterizada por una alta actividad y ocurrencia

periódica de terremotos, es importante que se le preste especial atención a este tema en particular.

Ruptura superficial

Los proyectos de infraestructura deben cumplir con el requerimiento de contar con una certificación, extendida por un geólogo, quien defina la distancia más corta entre el proyecto y la falla activa más cercana. Esta certificación es útil en la determinación de una zona de amortiguamiento para la ocurrencia de fisuras y rupturas causadas por los sismos.

Sacudida sísmica

Para el caso del diseño de edificaciones y obras afines, el Código Sísmico de Costa Rica 2002 (CFIA, 2003) establece valores de aceleración pico efectiva, como parámetro indicador de la sacudida sísmica. Para ello, utiliza información sobre el sitio de cimentación y la zona sísmica en donde se encuentra, lo anterior de acuerdo con la zonificación sísmica que el código propone y que consta de 3 zona sísmicas.

Cuadro 2

Amenazas Geológicas	Amenazas Hidrometeorológicas
Amenaza sísmica	Amenazas fluviales
Aceleración del terreno	Inundaciones
Ruptura superficial	Socavación del lecho
Licuefacción	Erosión y migración de corrientes
Asentamiento diferencial	Erosión en surcos
Deslizamientos	Carcavamiento
Reptación de fallas	Sedimentación
Desplazamientos laterales	
Tsunamies	Amenazas costeras
	Inundaciones
Movimientos en masa	Erosión costera
Deslizamientos	Acumulación costera
Caídas	Oleadas de tormenta
Basculamientos	Subsistencia costera/ascenso del nivel del mar
Deslizamientos rotacionales	Deslizamientos submarinos
Deslizamientos trasnacionales	
Desplazamientos laterales	Otros
Flujos	De origen eólico
Deslizamientos compuestos	De origen cósmico
Reptación	
Subsistencia	
Asentamientos	
Amenaza volcánica	
Flujos de lava	
Flujos de detritos	
Flujos piroclásticos	
Avalanchas de detritos	
Lahares	
Explosiones laterales y oleadas piroclásticas	
Bombas y proyectiles balísticos	
Caída de cenizas	
Tsunamies	
Inundaciones	
Gases volcánicos	
Temblores volcánicos	

Listado general de amenazas que se deben considerar en un EGAN.

Para efectos del diseño de obras especiales, que por su importancia o elevado costo ameriten análisis más sofisticados, se recomienda la realización de estudios de amenaza sísmica específicos para los sitios donde se localice el proyecto a desarrollar, tal es el caso de presas, proyectos hidroeléctricos, puentes, autopistas elevadas, aeropuertos, puertos, etc.

Los estudios de amenaza sísmica permiten cuantificar el efecto de la sismicidad y la tectónica de una región, bajo diferentes parámetros

sísmicos, los cuales indican la severidad de la posible sacudida sísmica a la cual estará expuesto un sitio en particular, siendo la aceleración pico uno de los más utilizados, pero no el único. Los resultados de los estudios de amenaza sísmica son utilizados generalmente para efectos de diseño sismo-resistente, así como para análisis de la seguridad de obras civiles.

La estimación de la amenaza sísmica se basa en dos metodologías principales: La probabilística y la determinística; la primera, considera

como elemento básico el análisis estadístico de la frecuencia de ocurrencia de eventos sísmicos y su relación con la tectónica y la definición de las fuentes sísmicas; la segunda, se basa en la determinación del peor escenario sísmico (crítico), generalmente postulado en términos de magnitud, profundidad de ocurrencia del evento y distancia entre la fuente sísmica y el sitio a evaluar. Dependiendo del país y la normativa aplicada, uno u otro método es recomendado para las estimaciones del caso; sin embargo, se considera que lo más conveniente es realizar ambas estimaciones, de tal forma que el ingeniero diseñador cuente, al final, con una mejor y más completa información para la selección de las cargas sísmicas de diseño.

En ambas metodologías, se utiliza una ecuación de atenuación de las ondas sísmicas para estimar los valores de la intensidad sísmica, como lo es la aceleración pico del terreno. En Costa Rica, se utilizan dos ecuaciones de atenuación: una propuesta por Climent, Taylor, Ciudad Real, Strauch, Villagran, Dahle y Bungum (1994) para toda la región centroamericana y la otra por Schmidt, Dahle y Bungum (1997) propiamente para Costa Rica y cuya expresión matemática, en ambos casos, es de la forma:

$$\ln A = C_1 + C_2M + C_3 \ln r + C_4 r + C_5 S + \ln \epsilon$$

Donde: A es el valor de aceleración pico, M Magnitud Momento, r distancia hipocentral, S factor de sitio y $\ln \epsilon$ es el termino relacionado con el error de estimación.

En Costa Rica, se han realizado diferentes estudios de amenaza sísmica a nivel nacional para caracterizar la sacudida sísmica, siendo el último de ellos el de Climent, Rojas, Alvarado y Benito (2008), el cual puede consultarse en la dirección electrónica <http://www.rsn.geologia.ucr.ac.cr/>

Licuefacción

Los métodos adoptados en los estudios preliminares son los de Seed, Idriss, y Arango (1983). Los proyectos que requieran más análisis deben emplear relaciones las cuales consideren esfuerzos cíclicos y cortantes, predicción de aceleraciones del terreno y las propiedades

geotécnicas de los materiales del subsuelo, determinadas a partir de ensayos en perforaciones. El procedimiento preferido es determinar el Esfuerzo Cortante Cíclico Promedio (T_{av}), a partir de los parámetros r_d (factor de reducción por perfil de suelo), γ_s (peso unitario total del suelo) y a_{max}/g (relación entre la aceleración máxima del terreno y la aceleración de la gravedad), utilizando la relación:

$$T_{av} = 0.65 * r_d * \gamma_s * h * \frac{a_{max}}{g}$$

y comparándola con la relación:

$$T_{cr} = \left(\frac{\sigma_{dc}}{2\sigma_{a50}} \right) * \sigma' * C_r * \frac{D_r}{50}$$

donde T_{cr} es el esfuerzo cortante crítico para la licuefacción, determinado a partir de los parámetros $\Phi_{dc}/2\Phi_{a50}$ (relación de esfuerzos), Φ' (esfuerzo efectivo) y C_r (factor de reducción como función de la densidad relativa D_r). La licuefacción se inicia cuando el sismo alcanza una magnitud capaz de producir un valor de a_{max}/g , que iguala el calculado con la comparación de T_{cr} y T_{av} .

Otros

A otros procesos, relacionados con eventos sísmicos, se les debe también dar importancia en la evaluación de amenazas de un proyecto, estos incluyen: separaciones laterales, reptación de fallas, deslizamientos y tsunamis.

Movimientos en masa

Los movimientos en masa son una causa común del daño de infraestructura en Costa Rica. Deslizamientos como el del Alto Loaiza en Orosí, ocurrido en el 2002, el cual quitó la vida a siete personas, y los deslizamientos disparados por el terremoto de Cinchona (2009) (Figura 1) han servido como una llamada de atención para los desarrolladores de proyectos habitacionales sobre la necesidad de realizar evaluaciones de amenazas geológicas antes del diseño de los proyectos.



Fig. 1. Deslizamientos disparados por el Terremoto de Cinchona (2009) afectando obras de infraestructura habitacional y vial.

Estabilidad de laderas

Una de las razones más frecuentes de la falla o ruptura de taludes artificiales y laderas naturales, en las obras de infraestructura vial de Costa Rica, es la evidente negligencia en la estabilización de los mismos. Se debe tener en cuenta que pendientes de más de un 18% pueden considerarse como susceptibles a deslizamiento y, en nuestro país, esta condición se presenta en la mayor parte de su territorio (Figura 2).

A escala de mayor detalle, se le debe dar énfasis a la determinación del factor de seguridad (Figura 3) en las áreas previamente destacadas como susceptibles a deslizamiento. El análisis debe incorporar la información geológica y geotécnica obtenida mediante la exploración del subsuelo y la realización de ensayos de campo y de laboratorio. Considerando la topografía abrupta de nuestro país y sobre todo a su situación geotectónica, el análisis de estabilidad de laderas y taludes no debe dejar de considerar las solicitaciones dinámicas a las cuales están sujetos.

Subsidencia y asentamiento

Subsidencia y asentamientos diferenciales son bastante comunes en Costa Rica, principalmente en sectores donde se han construido rellenos pobremente compactados, asociados con desarrollos habitacionales los cuales emplean prácticas de corte y relleno, con el objetivo de incrementar al área de lotes vendibles (Figura 4). Para determinar medidas correctivas efectivas de los problemas causados por estos movimientos verticales, la investigación geotécnica debe, al menos, caracterizar física y mecánicamente los materiales subsuperficiales. Un mayor detalle en el análisis geotécnico se requiere en el caso de infraestructura con excavaciones para fundaciones de más de 3.5 m de profundidad.

Amenaza volcánica

La clave en la gestión eficiente del riesgo por amenaza volcánica es la identificación oportuna de los sectores los cuales pueden ser

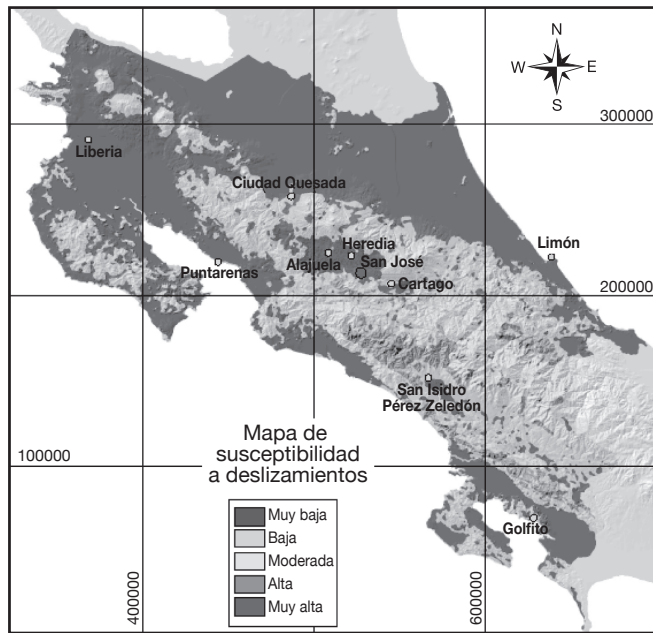


Fig. 2. Mapa de susceptibilidad a deslizamientos de Costa Rica (Mora Ch., 2009).

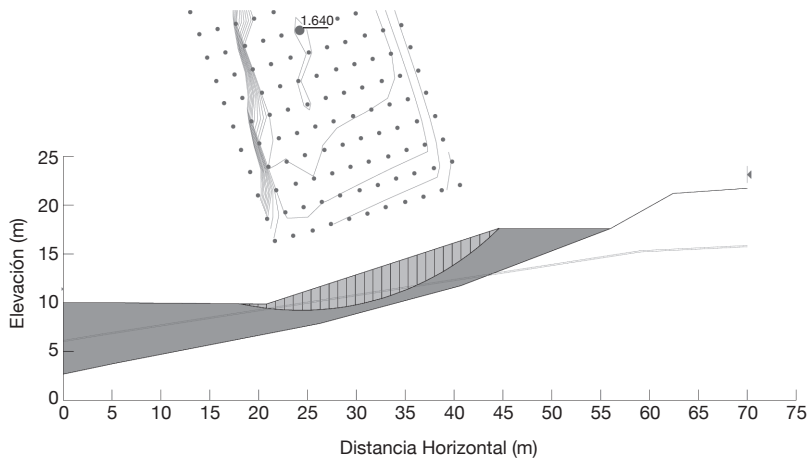


Fig. 3. Análisis de estabilidad mediante la determinación del factor de seguridad.

afectados por los diferentes procesos volcánicos. Este procedimiento es el que requiere un EGAN en el caso de proyectos identificados como afectables por actividad volcánica. Los sectores se zonifican de acuerdo con el grado de

amenaza volcánica a que se encuentran expuestas. Se le debe brindar atención a procesos volcánicos como: rutas de flujos de lava, lahares, flujos de detritos y flujos piroclásticos, explosiones laterales, oleadas piroclásticas, extensiones



Fig. 4. Incremento del área de lotes mediante la construcción de rellenos mal compactados y carentes de refuerzo, Moravia, Costa Rica.

afectables por bombas volcánicas, proyectiles balísticos, caída de cenizas y emisiones de gases. Se deben considerar también las amenazas hídras relacionadas con erupciones volcánicas como: tsunamies e inundaciones.

Amenazas hidrometeorológicas

La evaluación de este tipo de amenazas requiere de la incorporación de información meteorológica como: trayectorias de huracanes y tormentas tropicales, y datos de precipitaciones pluviales.

Amenazas fluviales

Estas son amenazas causadas por procesos de aguas superficiales en corrientes naturales (ríos y quebradas) o en sistemas de drenaje prediseñados (canales, sistemas de drenaje). Las amenazas fluviales incluyen: inundaciones, flujos, erosión del lecho, erosión de márgenes, migración de canales, erosión en surcos y cárcavamiento.

Amenazas costeras

Las amenazas inducidas por procesos en aguas superficiales en o cerca de la línea costera (aproximadamente de 200 m mar o tierra adentro) se consideran como costeras. Estas incluyen: inundaciones costeras, erosión, agradación, marejadas y deslizamientos submarinos.

Conclusiones

La comunidad científica, las universidades y las instituciones estatales deben ser capaces de influenciar a los políticos tomadores de decisiones sobre la necesidad de implementar el EGAN como un requerimiento adicional en cualquier proyecto de desarrollo. Un instrumento de este tipo proporcionaría una oportunidad para fortalecer el componente de evaluación de amenazas, en el proceso de evaluación del impacto ambiental de proyectos, el cual ha sido tradicionalmente subvalorado.

Probablemente, los sectores de la construcción y bienes raíces consideren este requerimiento como redundante y burocrático, en el proceso para adquirir permisos para el desarrollo de proyectos; sin embargo, se debe tener en mente la imperiosa necesidad de desarrollar un sistema de permisos más eficiente y sostenible en el caso del desarrollo de infraestructura.

Referencias Bibliográficas

- CFIA. (2003). *Código Sísmico de Costa Rica 2002. Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica*. 3a. ed. Cartago; Editorial Tecnológica de Costa Rica, 288 p.p.
- Climont, A., Taylor, W., Ciudad Real, M., Strauch, W., Villagran, M., Dahle, A. y Bungum, H. (1994). *Spectral strong motion attenuation in Central America*. NORSAR. Technical Report No. 2-17. 46 pp.
- Climont, A., Rojas, W., Alvarado, G. y Benito, B. (2008). *Estimación de la Amenaza Sísmica en Costa Rica*. Reporte Final del Proyecto RESIS II. 125 pp.
- Mora, Ch., R. (2009). *Mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos de Costa Rica* (en prensa).
- Schmidt, V., Dahle, A. and Bungum, H. (1997). *Costa Rican Spectral Strong Motion. Attenuation*. NORSAR, Technical Report. 45 pp.
- Seed, H.B., Idriss, I.M. and Arango, I. (1983). *Evaluation of Liquefaction potential using field performance data*. American Society of Civil Engineers, Journal of Geotechnical Engineering, v. 109, no. 3, p. 458-482.