

ESTUDIOS DE RIESGO EN CARACAS

MICHAEL SCHMITZ¹
JULIO J. HERNÁNDEZ²

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Caracas con sus 3,2 millones de habitantes (INE, 2002) está asentada en una cuenca tipo semi-graben medio que fue llenado de sedimentos (Singer, 1977) y que es bordeada por relieve montañoso escarpado. Esta singular localización de Caracas da cuenta de un conjunto de amenazas socio-naturales a la cual está expuesta, de las cuales destacan: una amenaza sísmica elevada, debido a su cercanía al límite entre las placas tectónicas Caribe y Suramérica, con los sistemas de fallas de La Tortuga, San Sebastián, Tacagua-El Ávila y La Victoria (de norte a sur; e.g. Audemard et al., 2000), la cual incluye una importante amenaza por deslizamientos en las laderas de variable inclinación alrededor del valle sedimentario (Hernández et al., 2008); y una amenaza hidrometeorológica que comprende tanto inundaciones en las cercanías del río Guaire y sus afluyentes, como deslaves y flujos de escombros provenientes de la Cordillera de la Costa (Cerro El Ávila) inmediatamente al norte de la ciudad (López et al., 2006).

Las manifestaciones de las diferentes amenazas en la ciudad son temporal y espacialmente muy variables. Mientras la amenaza sísmica afecta la ciudad principalmente a través de terremotos grandes, distanciados en el tiempo (los daños más fuertes se registraron en los años 1641, 1766, 1812, 1865, 1900 y 1967), la afectación por fenómenos hidrometeorológicos es más continua, con múltiples deslizamientos e inundaciones según la época y distribuidos en diferentes sectores de la ciudad. Adicionalmente se presentan eventos hidrometeorológicos más importantes (deslaves) con una frecuencia de unos 500 años (Singer et al., en prensa). Por la densa ocupación del valle de Caracas y las áreas circundantes (morfología acentuada con desarrollos urbanísticos planificados y no-planificados) con una muy variable vulnerabilidad, y sobre todo densidad de las

-
- 1 Diploma en Geología, Dr. rer. nat. (Geofísica), Freie Universität Berlin, Alemania (1987; 1993), Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas FUNVISIS, Jefe del Departamento de Geofísica, Prolongación Calle Mara, El Llanito, Caracas, correo-e: mschmitz@funvisis.gob.ve. Líneas de investigación: Sísmica profunda, geodinámica, microzonificación sísmica, efectos de sitio
 - 2 Ingeniero Civil mención Estructuras, MSc. en Ingeniería Sismorresistente (UCV, 1973, 1997). Consultor en Ingeniería Estructural e Ingeniería Sísmica, edf. Zeus, apto. 5A, calle 12, urb. La Urbina, Caracas, julher@cantv.net. Líneas de investigación: amenaza sísmica, efectos de sitio, deslizamientos de laderas, confiabilidad estructural, riesgo sísmico, normas sísmicas

edificaciones, debe considerarse Caracas una ciudad con un elevado riesgo ante estas amenazas (considerando: riesgo = amenaza * vulnerabilidad * exposición), a pesar de que no se cuenta en la actualidad con una evaluación completa del riesgo ante las diversas amenazas socio-naturales para Caracas.

La importancia de los estudios de riesgo para la toma de decisiones ha sido discutida largamente desde los años 60's con variables enfoques. El desarrollo de los modernos conceptos de la evaluación del riesgo ha sido expuesto por ejemplo en Carreño et al. (2006) con énfasis en un tratamiento holístico (multiamenaza) del tema (Figura 1). En el caso de Caracas suele hacerse énfasis en el riesgo sísmico, con una breve mención de otros riesgos. Un primer acercamiento moderno al tema fue realizado posterior al terremoto de Caracas de 1967, del cual se realizó una extensa evaluación de los daños (e.g. Briceño et al., 1978). Dentro de los estudios de amenaza post-sismo destaca el trabajo de Papageorgiou y Kim (1991), el cual va más allá de una zonificación regional de la amenaza, tal como la especifica el código sísmico en sus versiones constantemente mejoradas desde el año 1967 (e.g. COVENIN, 2001), como principal herramienta de mitigación del riesgo sísmico.

Sin embargo, un cambio fundamental en la percepción y el tratamiento del riesgo fue impulsado por el desastre de aludes torrenciales en el estado Vargas en el año 1999, evento hidrometeorológico que generó también daños y pérdidas de vidas humanas considerables en la vertiente sur del Ávila en Caracas (e.g. Courtel et al., en prensa). Como consecuencia de este evento, que atrajo la atención de un gran número de investigadores de diversos países, se impulsó el proyecto Ávila (IGVSB/MARNR, 2003) como un primer intento de evaluación conjunta de varias amenazas en una unidad geográfica. En el proyecto, coordinado por el Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar, interactuaron varias instituciones con el fin de recopilar la información existente relacionada a las amenazas hidrometeorológicas y sísmicas y elaborar un primer planteamiento para la estimación de la vulnerabilidad de la ciudad, sintetizado en Unidades de Vulnerabilidad Analizadas (UVA's), y del riesgo asociado en la vertiente sur del macizo El Ávila, es decir la parte de la ciudad que comprende la ladera sur del Ávila y el valle sedimentario al norte del río Guaire. Al mismo tiempo se iniciaron dos iniciativas internacionales, el taller de planificación urbana "Disaster Resistant Caracas" (Columbia University, 2001) y el "Estudio sobre el Plan Básico de Prevención de Desastres en el Distrito Metropolitano de Caracas" (JICA, 2005). También deben recordarse dos reuniones técnicas celebradas en el año 2000, centradas en el tema sísmico pero que incluyeron la problemática general del riesgo: el Seminario "Desastres Sísmicos. Escenarios, Seguridad y Prevención en Ciudades de Países en Desarrollo." (CESIS, 2000) y el Taller Internacional "Estudios de métodos y acciones para contrarrestar los efectos producidos por terremotos en Caracas (1999-2001)" (FUNVISIS, 2001).

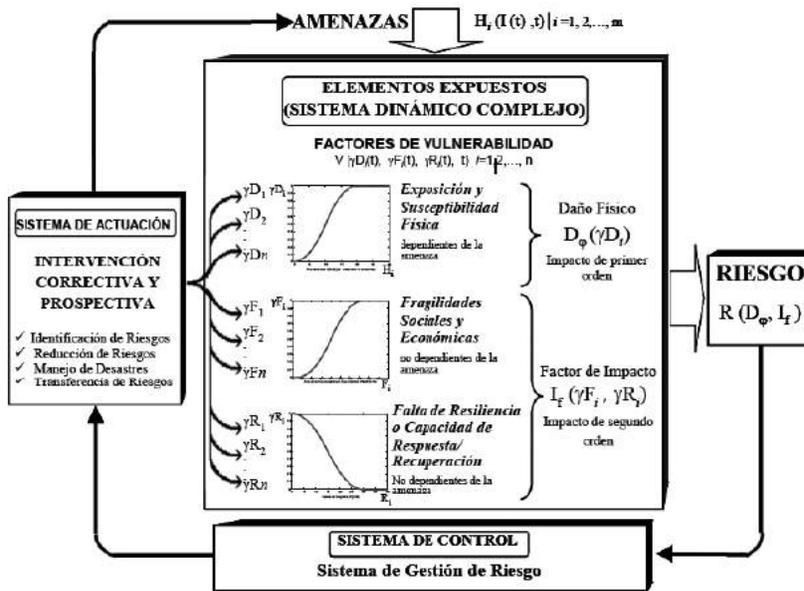


Figura 1 Marco teórico y modelo para el enfoque holístico de riesgo de desastres (Cardona y Barbat, 2000; Carreño et al., 2006).

Motivadas por las fuertes lluvias de febrero 2005 se instaló la “Comisión Nacional de Gestión de Riesgo”, institución inter-ministerial de alto rango que impulsó estudios de riesgos a nivel nacional y la cual consideró los estudios de microzonificación sísmica (MS) como la metodología de trabajo idónea, cuyos productos se utilizarán para trazar las estrategias que tomen en cuenta las condiciones regionales y locales en la reducción del riesgo sísmico (Malavé, 2005). Al mismo tiempo se impulsó la agenda de proyectos de riesgo en el Ministerio de Ciencia y Tecnología, mediante la cual fue financiado el proyecto de microzonificación sísmica de Caracas, ejecutado bajo la coordinación de FUNVISIS y con un desarrollo metodológico propio (Hernández et al., 2006), en los años 2005 – 2009 (Schmitz et al., 2010). Estas mismas iniciativas impulsadas en el seno de los diversos ministerios derivaron en la aprobación de la “Ley Orgánica de Riesgos Socio-Naturales y Tecnológicos” en el año 2009 (Gaceta Oficial, 2009) lo cual brinda una herramienta amplia para la incorporación de los aspectos de gestión del riesgo en todas las actuaciones institucionales y particulares. En el presente trabajo hacemos énfasis en los desarrollos recientes de los estudios de riesgo y microzonificación sísmica de Caracas que ponen la base para una actuación consistente de mitigación del riesgo.

Proyecto á vila

El “Proyecto Ávila”, cuyas actividades fueron coordinadas por el Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB) a solicitud del Ministerio del Ambiente y en el cual colaboraron varias instituciones nacionales, entre ellas el IGVSB, IMF-UCV, CENAMB-UCV, INGEOMIN y FUNVISIS, extranjeras como el COSUDE-PNUD y el Banco Mundial como parte del PNGA (Programa Nacional de Gerencia Ambiental; Convenio de Préstamo 4253-VE), más algunos consultores privados. Fueron realizadas en el marco del “Plan Nacional para la Reducción de Riesgos ante Amenazas de Origen Natural y Tecnológico” como una respuesta institucional al desastre ocurrido en el estado Vargas en diciembre 1999 que generó un cambio fundamental en la percepción y el tratamiento del riesgo en Venezuela. El objetivo principal del proyecto fue la elaboración de la base cartográfica necesaria para la evaluación de los riesgos ante amenazas de origen natural y tecnológico, con lo que se validó y oficializó la información básica por las instituciones participantes. El proyecto comprendió las vertientes norte y sur del Macizo El Ávila y los resultados tuvieron por finalidad apoyar la toma de decisiones referentes a la reducción de las condiciones de amenaza y de vulnerabilidad y con ello el riesgo de pérdida de vidas y bienes materiales, para evaluarlo con menos incertidumbre respecto a esas variables incidentes en la ocupación territorial y el desarrollo urbano (IGVSB/MARNR, 2003), ya que esta zona no contaba con instrumentos de orientación idóneos. A través del esfuerzo interinstitucional (nacional e internacional) y multidisciplinario se iniciaría la inclusión de la variable riesgo para la toma de decisiones con respecto a la ordenación del territorio.

Los trabajos se basaron en una cartografía base a escala 1:25.000, adecuada a un Sistema de Información Geográfico (ArcGis 8.1). Estas actividades permitieron iniciar los levantamientos de geología en la Cordillera de la Costa (Urbani y Rodríguez, 2004); así como la elaboración de mapas base del Macizo del Ávila de vegetación, hidrografía, geomorfología, uso de suelo, eventos históricos de aludes torrenciales y crecidas, estabilidad del terreno, entre otros, para un total de más de 60 capas de información con sus respectivas bases de datos para las 14 hojas a escala 1:25 000 de las vertientes norte y sur del Ávila, información contenida en un CD interactivo distribuido masivamente entre las instituciones públicas de la región (IGVSB/MARNR, 2003). Se generaron los grupos interdisciplinarios para la elaboración de los mapas de amenaza: inundaciones y deslaves: Instituto de Mecánica de Fluidos (IMF-UCV) (en interacción con el Cuerpo de Socorro Suizo en el marco del proyecto PREVENE que permitió una importante transferencia de conocimiento); FUNVISIS para la evaluación de la amenaza sísmica; INGEOMIN para la amenaza geotécnica, particularmente en el estado Vargas, y consultores privados para la amenaza tecnológica, todo ello con el apoyo cartográfico del IGVSB en la integración al Sistema de Información Geográfico. Los mapas de amenazas resultantes cuentan con información sobre aceleraciones esperadas en roca para 10% de probabilidad de excedencia en 50 años para el mapa de amenaza

sísmica, categorías de estabilidad de vertientes para el caso de los movimientos en masa, y áreas de influencia de aludes torrenciales para períodos de retorno de 10, 100 y 500 años (IGVSB/MARNR, 2003).

Se definió la necesidad de la construcción de un grupo de indicadores en términos de vulnerabilidad física, social, económica, ecológica, entre otros, para poder entender el peso de cada uno de estos aspectos en las complejas relaciones que generan una situación de riesgo. Como unidad física base para el análisis de la vulnerabilidad el grupo del CENAMB-UCV definió la Unidades de Vulnerabilidad Analizada (UVA), que corresponden a las diferentes cuencas en la vertiente sur del Ávila, como unidad base (Figura 2; Delgado y Ortiz, 2002). Un total de 17 indicadores fueron aplicados a estas UVA's con aspectos relacionados con población, líneas vitales e instalaciones críticas. Finalmente los mapas de identificación de riesgos se producen entonces a partir de los elementos expuestos ante cada tipo de amenaza (IGVSB/MARNR, 2003).

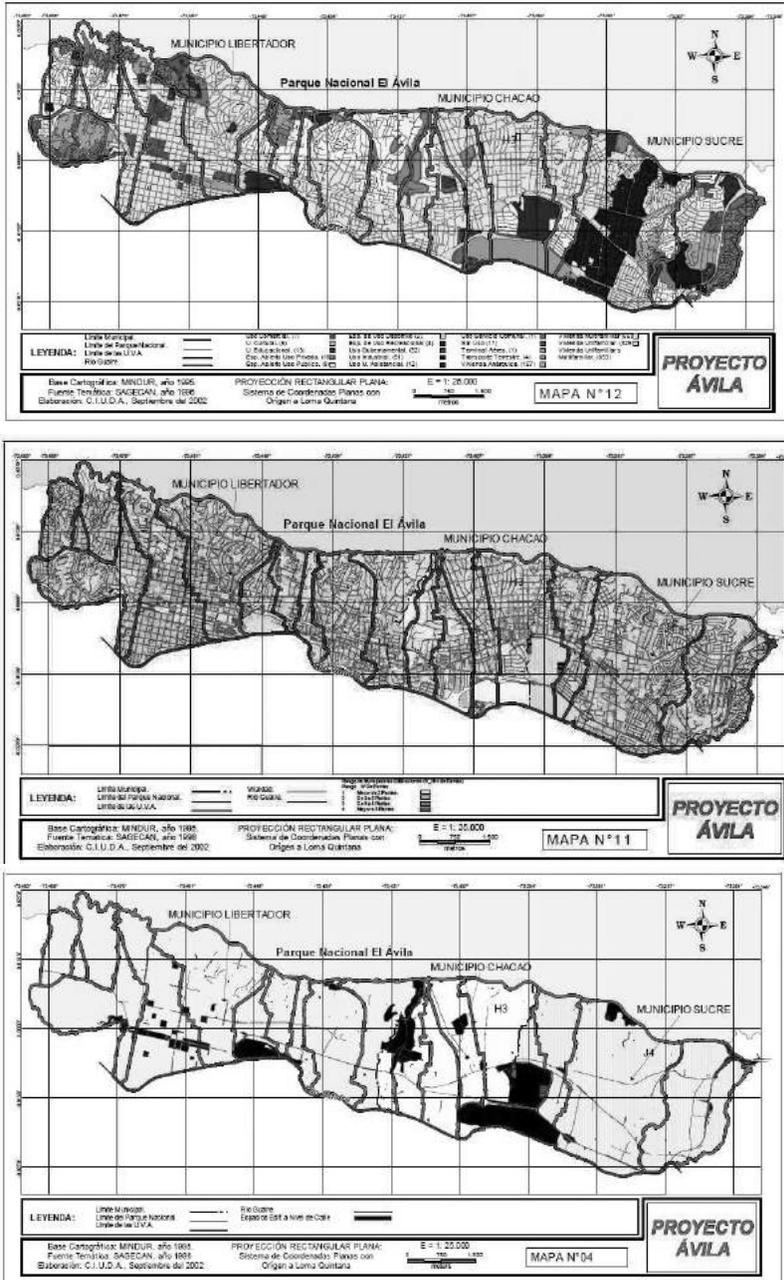


Figura 2 Unidades de Vulnerabilidad Analizada con el uso del terreno (arriba) altura estimada de edificaciones (centro) y espacios abiertos en las individuales UVA'S (Delgado y Ortiz, 2002).

Los más de 60 mapas poseen su metadata que incluye identificación de la información, calidad de los datos, organización de la data espacial, fecha de elaboración, data atributiva, persona o ente de contacto, entre otros aspectos. Los mapas producidos deben usarse como apoyo a la toma de decisiones a los fines de la ordenación del territorio. Al respecto, tanto el Plan de Ordenación del Territorio del Estado Vargas (POTEV), como el Plan de Manejo para la Ordenación y Restauración Ambiental del eje Arrecife-Los Caracas elaborado por la Autoridad Única de Área del Estado Vargas, toman en cuenta la información producida para la vertiente norte del Ávila y enuncian en los respectivos instrumentos normativos, medidas de prevención y mitigación de riesgos a los distintos niveles de gestión.

Los resultados del proyecto dejan una plataforma a partir de la cual los gobiernos locales pueden iniciar la labor de tomar este factor en consideración para impulsar estudios a mayor detalle, que permitan cristalizar las tareas de prevención y mitigación de riesgos a nivel local (IGVSB/MARNR, 2003). La concienciación del tema por parte de los entes públicos y privados que a lo largo del proyecto han estado en contacto con él y la interacción entre las instituciones han sido algunos de los beneficios adicionales más importantes del proyecto, lo que generó iniciativas nacionales, regionales y locales en el tema. En el taller de planificación urbana “Disaster Resistant Caracas” (Columbia University, 2001), planteado como ensayo de integración entre geo-científicos y planificadores urbanos de la Columbia University, las informaciones del Proyecto Ávila (IGVSB/MARNR, 2003) y evaluaciones de la conformación del subsuelo (Schmitz et al., 2002) fueron utilizados para la elaboración de escenarios de amenaza (Figura 3).

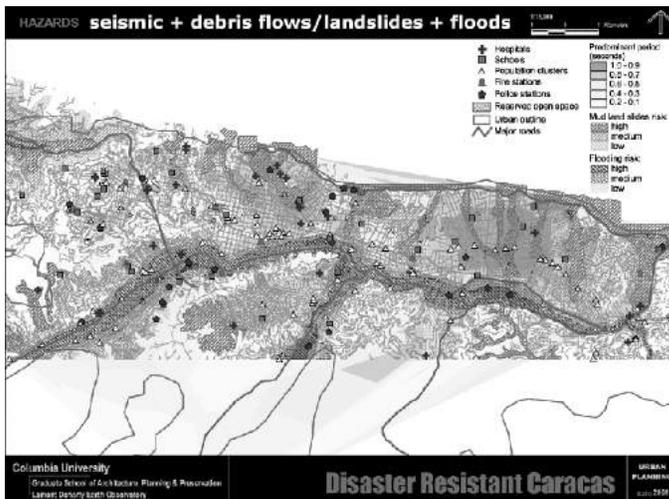


Figura 3 Instalaciones esenciales, sobrepuestas a las diversas amenazas para identificar potenciales riesgos altos (Columbia University, 2001).

Como resultado de este taller se desarrolló un prototipo de plan de mitigación de desastres naturales (especialmente los generados por terremotos y flujos de escombros) para Caracas que se basa en la información existente sobre amenazas, y desarrolla algunas propuestas básicas en el contextos del desarrollo urbano, tal como la generación de espacios abiertos para la atención de emergencias (Figura 4), planes de refuerzo para líneas vitales y edificaciones esenciales, planificación de desarrollos futuros con zonificación del riesgo, programas de entrenamiento a diferentes niveles y programas sociales, análisis costo-beneficio, educación y propuestas para estructuras gerenciales para mitigación y respuesta de desastres.

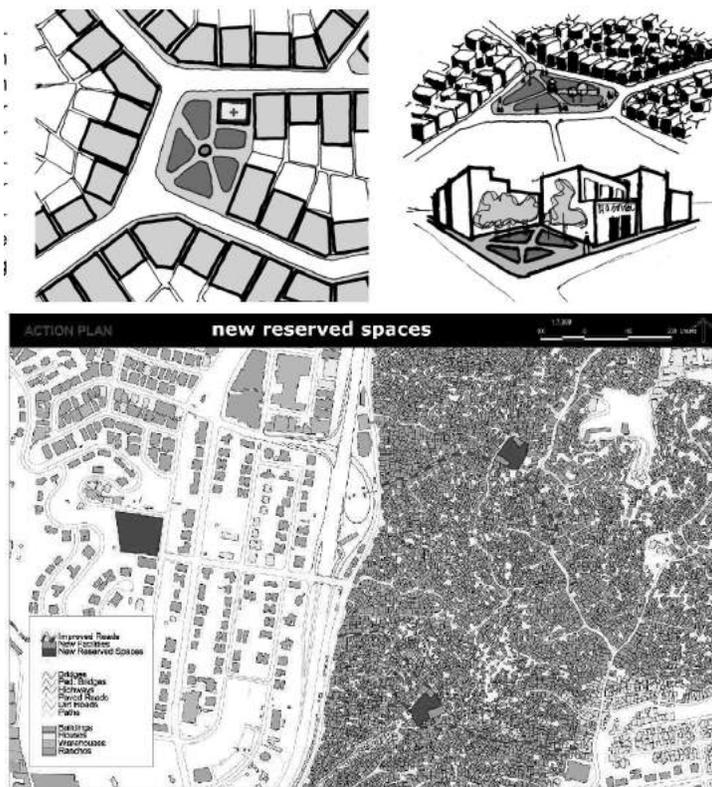


Figura 4. Representación esquemática para crear nuevos espacios (arriba) y propuestas pilotos para la zona de Petare – La Urbina (abajo) (Columbia University, 2001).

Proyecto jica

A solicitud de la Alcaldía Mayor del Distrito Metropolitano de Caracas, las consultoras Oyo Internacional Corporation y Pacific Consultant International elaboraron en el año 2000 una propuesta para un proyecto titulado “Estudio sobre el Plan Básico de Prevención de Desastres en el Distrito Metropolitano de Caracas”, que finalmente contó con el financiamiento de la Agencia de Cooperación Internacional de Japón JICA. Si bien el llamado inicial correspondía a las consecuencias del desastre de diciembre 1999 en Vargas y partes de Caracas, el equipo de trabajo, después de las primeras interacciones con las instituciones locales, tomó conciencia de la amenaza sísmica e incluyó su tratamiento como una de las prioridades del programa. Las metas del plan elaborado (JICA, 2005) destacan: Que aún con la intensidad del terremoto de 1967 o de 1812, se salven las vidas humanas; Que sean mínimas las casas dañadas; Que se preserve la función importante de la ciudad como vías terrestres principales, líneas vitales y funciones administrativas para la prevención de desastres; Que aún con la magnitud de un flujo de escombros como el que sufrió Caracas en 1999 debido a la lluvia de cien años de retorno, se salven edificios y vidas humanas que viven a lo largo de las quebradas de montaña; Que se salven vidas humanas de derrumbes de precipicio o deslizamiento en el área. Debido a su origen, atinente al problema de los flujos de escombros, el estudio fue limitado a los municipios que colindan con la vertiente sur del Ávila (Libertador, Chacao y Sucre).

El estudio sobre desastres de terremotos se realizó en estrecha cooperación con el equipo técnico de FUNVISIS. Debe decirse que la metodología planteada por el equipo de estudio de JICA fue de carácter simplificado, lo que condujo a la carencia de reproducción de los daños históricos conocidos y por tanto sus resultados deben verse cualitativamente, siendo necesaria su posterior revisión y actualización. Pero desarrollaron una útil base de datos para éstas e incluyeron estimaciones cuantitativas usando datos reales de edificaciones y de la población. Las evaluaciones se basaron en 4 escenarios sísmicos (Figura 5) que corresponden a los terremotos de 1812 (Falla San Sebastián), 1878 (Falla La Victoria), 1967 (entre las fallas San Sebastián y La Tortuga), y un evento sin precedente histórico en la Falla Tacagua – El Ávila, con una asignación aproximada de parámetros discutidos en conjunto con el equipo de FUNVISIS (Yamasaki et al., 2006).

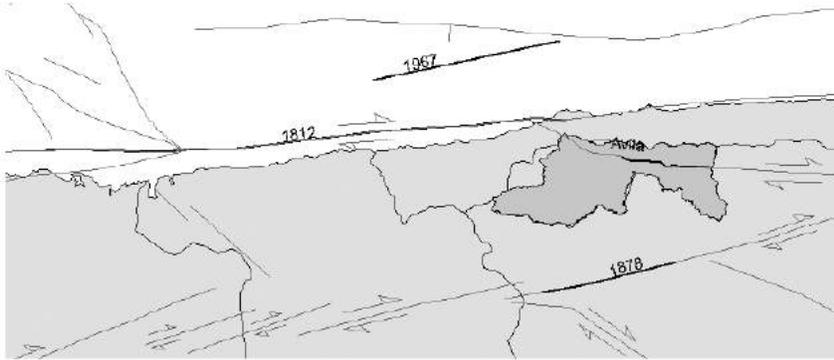


Figura 5 Ubicación de los terremotos de escenario utilizados para el estudio JICA (Yamasaki et al., 2006).

La evaluación de la repuesta del suelo en las diferentes partes de la ciudad se llevó a cabo en una malla de 500x500 m. Se utilizó una ley de atenuación empírica mundial (de movimiento del suelo contra parámetros de la fuente sísmica y distancia a ella) para estimar la aceleración pico en roca y a partir de ella se definió un acelerograma compatible (escalando uno de un ambiente tectónico similar), mediante el cual se efectuó un análisis uni-dimensional de la respuesta del subsuelo (con un modelo geotécnico basado en datos locales disponibles), el cual condujo a un acelerograma superficial en cada sitio. Las aceleraciones máximas obtenidas en superficie para los escenarios de 1812 y de 1967 se pueden ver en las figuras 6 y 7, respectivamente.

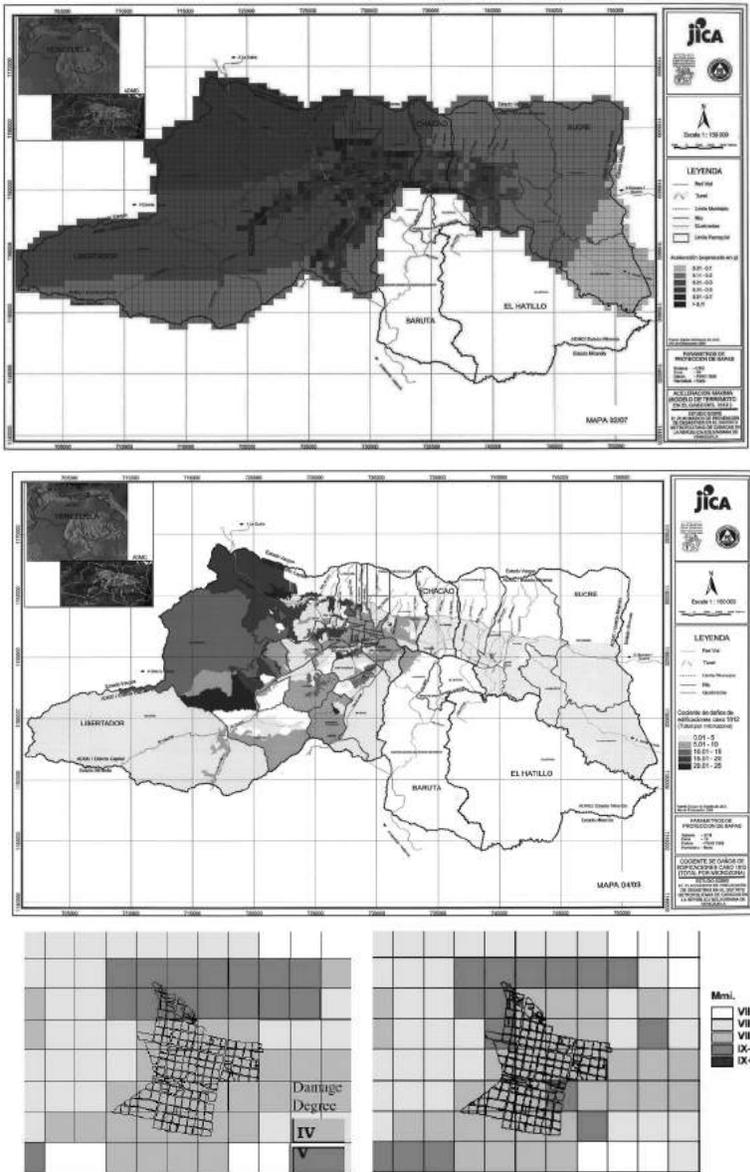


Figura 6 Aceleración pico (arriba) y coeficiente de daños (centro) para el escenario 1812 (JICA, 2005). Abajo (Yamasaki et al., 2006): Calibración de la respuesta calculada (derecha) con los daños basados en documentos históricos (Altez, 2004).

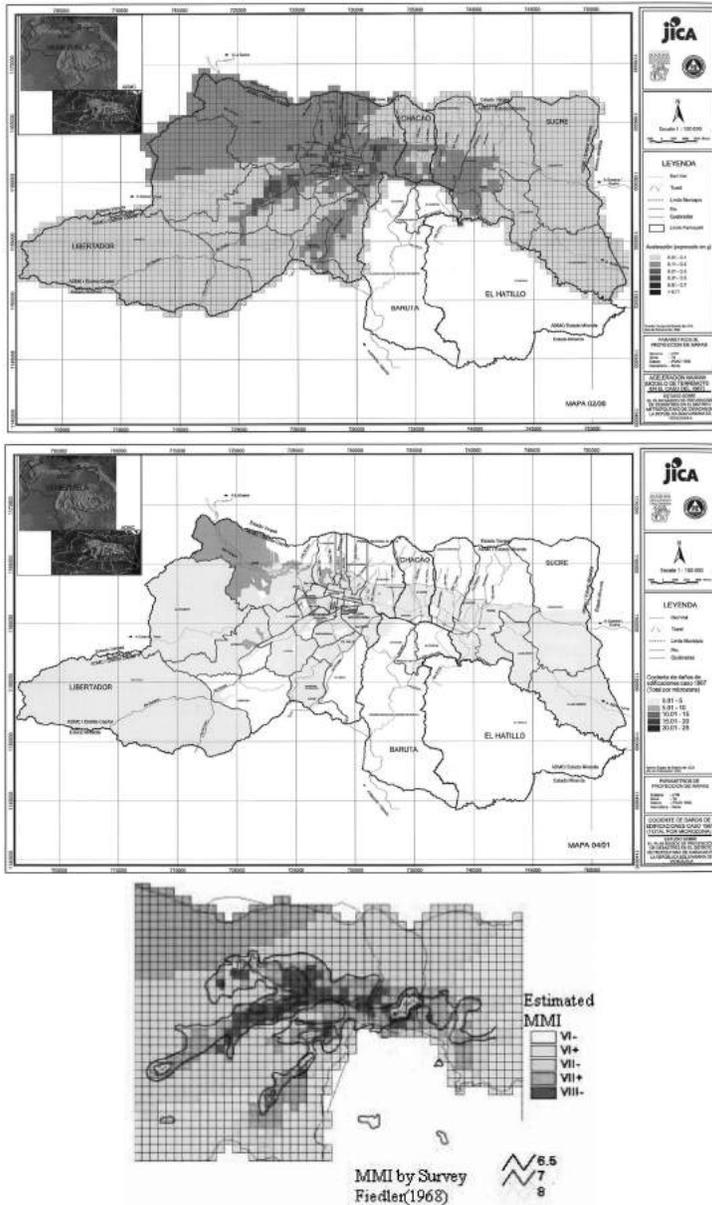


Figura 7 Aceleración pico (arriba) y coeficiente de daños (centro) para el escenario 1967 (JICA, 2005). Abajo (Yamasaki et al., 2006): Intensidades derivadas para el modelo comparadas con las intensidades determinadas por Fiedler (1968).

Para convertir los movimientos del suelo en intensidades macrosísmicas y con ellas estimar los daños, se empleó una relación entre intensidad macrosísmica e intensidad espectral (Housner, 1952) calculada para los acelerogramas en superficie obtenidos en cada sitio. Se desarrollaron curvas de fragilidad de daños severos contra intensidad macrosísmica para los tipos de edificaciones de Caracas, mediante una metodología de criterios de expertos liderada por FUNVISIS, utilizando combinaciones ponderadas de las clases de vulnerabilidad de la escala de intensidad macrosísmica EMS-98 (CSE, 2003), calibradas con los daños sufridos por las edificaciones en el terremoto de Caracas de 1967 (Briceño et al., 1978). Junto con una base de datos de edificaciones (en zonas formales y estimaciones para barrios, tomando en consideración las pendientes) desarrolladas para el estudio, se asignaron para cada escenario coeficientes de daños (Figuras 6 y 7).

Los daños resultantes fueron calibrados con información histórica para el escenario de 1812 (Figura 6), y comparados con las intensidades observadas en el terremoto de 1967 (Figura 7). En el caso del terremoto de 1967, la metodología simplificada aplicada en este estudio no fue capaz de simular adecuadamente los daños observados en la zona de Los Palos Grandes, lo que hace inferir que también para un escenario correspondiente al terremoto de 1812 se esperarían para esta zona mayores intensidades. Como producto de este estudio se conformó un extenso banco de datos, cuya información proviene de varias instituciones nacionales, el cual puede servir de base para estudios posteriores. En el área correspondiente al riesgo de terremotos se plantearon como medidas de mitigación refuerzos sísmicos de edificaciones y puentes a gran escala.

Los desastres históricos más significativos por flujo de escombros del Ávila ocurrieron el 17 de febrero de 1951 y el 15 de diciembre de 1999. Durante el desastre de 1951 hubo daños en las quebradas Anauco, Chacaíto, Sebucán y Tócome. Durante el desastre de 1999, el área urbana de Caracas fue afectada por flujos de escombros en las quebradas Catuche y Anauco. Los resultados de los extensos modelados de flujos de escombros para Caracas permitieron definir alturas probables de los flujos dentro de la ciudad, y con ello una clasificación de la amenaza (Figura 8).

Las medidas propuestas por el plan en caso de los flujos de escombros contienen entre otras la estabilización de las pendientes altas con un grupo de presas de consolidación, la construcción de presas Sabo para controlar y capturar el flujo de escombros, presas de sedimentación, paredes guía, obras de canalización y canales para descargar el agua de manera segura en el área urbana.

El conjunto de medidas estructurales y no-estructurales propuesto por el equipo de trabajo JICA está destinado a “Volver Caracas más segura” mediante un conjunto de refuerzos sísmicos y estructuras para el control de flujo de escombros. Estas medidas estructurales estarían acompañadas con medidas como reubicación de personas que viven en los canales de quebradas, instalación de sistemas de alerta temprana y evacuación, adiestramiento para “actuar efectivamente en caso de emergencia”, la creación de un

Centro de Comando de Emergencia y el “fortalecimiento de la coordinación entre el gobierno y los ciudadanos” y actividades comunitarias. El costo total de los proyectos propuestos ascendería a US\$ 2.800 millones (JICA, 2005). Aún si es difícil realizar la evaluación económica sobre el plan maestro de forma integral, el proyecto de refuerzo sísmico de edificaciones, que representa la mayor porción económica del plan, haría que su beneficio económico resulte mayor que el costo económico, que está alrededor de un 3 % del PIB nacional y unos 10% del presupuesto nacional. El efecto financiero es grande, al considerar la importancia del área. Es posible reducir el número de víctimas en forma significativa al aplicar los proyectos de “reforzamiento sísmico de edificaciones”, “Estructuras para el control de flujos de escombros”, “Reubicación de personas de áreas riesgosas”, y “Regulación de uso de tierra y desarrollo”, dando efecto alto al nivel social. Las presas Sabo de estructuras para controlar flujos de escombros se plantean en el interior del Parque Nacional del Ávila de tal manera que se respete el equilibrio ambiental.

Como limitación del estudio debe considerarse que el área de Estudio no cubre los cinco municipios que componen el Distrito Metropolitano, ya que el alcance del trabajo que fue firmado el 21 de Marzo de 2002 sin los municipios Baruta y El Hatillo, considerando que “En el futuro, las oficinas del Alcalde del Distrito Metropolitano de Caracas aplicarán los conocimientos y las metodologías obtenidos a través del una extensión de este estudio, con el fin de formular el plan de prevención de desastres con la incorporación de los dos municipios faltantes”.

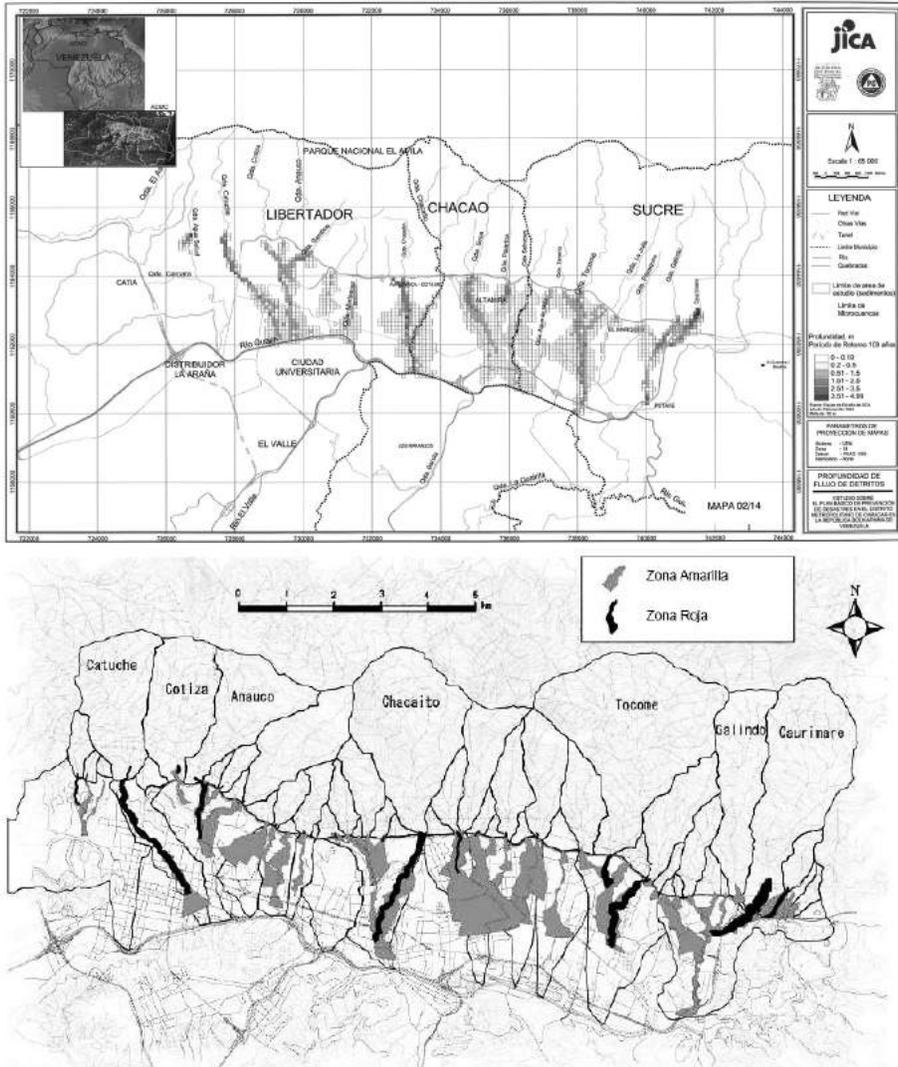


Figura 8 Amenaza por Flujo de Escombros con altura de los flujos (arriba) y clasificación de la amenaza (abajo) para un período de retorno de 100 años para la descarga del agua del Ávila (JICA, 2005).

microzonificación sísmica de c aracas

Las limitaciones metodológicas y de los tiempos disponibles en el estudio llevado a cabo por el grupo de JICA, sobre todo la limitación de la respuesta sísmica con modelos

1-D, hicieron más evidente la importancia de la realización del proyecto de Microzonificación Sísmica de Caracas coordinado por FUNVISIS entre los años 2005-2009 (Schmitz et al., 2009, Hernández y Schmitz, 2010), el cual venía siendo impulsado con anterioridad a través de estudios básicos (e.g. Schmitz et al., 2002) y la realización de coloquios sobre microzonificación sísmica en los años 1993 (CRID, 2005), 1995 y 2002 (FUNVISIS, 1995, 2002), los cuales continuaron en los años 2005 y 2009 (FUNVISIS, 2005, 2009). En el curso de estos coloquios se presentaron múltiples trabajos nacionales, desde planes, recopilación de datos y avances hasta resultados finales, con la participación de destacados expertos mundiales en la temática.

En el proyecto para Caracas se realizaron amplias investigaciones geológicas, geomorfológicas, geotécnicas y geofísicas para determinar la distribución de las diferentes unidades geológicas dentro del valle, incluyendo la perforación de pozos profundos, y posteriores desarrollos de ingeniería sísmica para la asignación de zonas de igual repuesta sísmica (Figura 9), y se consideraron efectos 2D-3D de la cuenca de Caracas, así como efectos topográficos para la definición de los espectros de repuestas asignados para cada microzona. Para las zonas de laderas, el peligro de deslizamientos fue estimado basándose en información geotécnica disponible y modernos métodos (deformaciones de Newmark con intensidades de Arias) calibrados experimentalmente (Hernández et al., 2008).

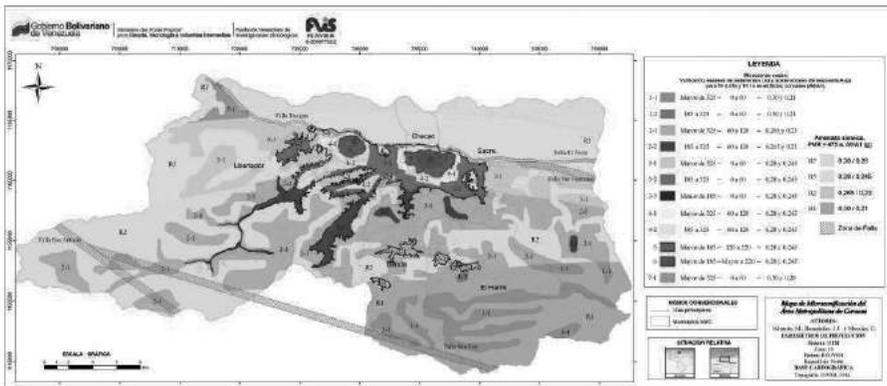


Figura 9 Zonificación de la amenaza sísmica en afloramientos de roca (macrozonas) y microzonas de comportamiento sísmico similar en el valle de Caracas. A cada microzona se le asigna un espectro de respuesta específico (Schmitz et al., 2009).

En comparación con el proyecto JICA, conviene resaltar la superación de resultados. Como ejemplo de las mejoras metodológicas, la respuesta de los sitios se estableció mediante una evaluación de amenaza sísmica con un modelo sismogénico

actualizado que toma en cuenta todos los sismos probables (en lugar de sólo cuatro escenarios), con tres leyes de atenuación (en lugar de una sola), definiendo espectros de amenaza uniforme asociados a seis acelerogramas (en lugar de uno sólo) y que se consideraron efectos 2D-3D (en lugar de sólo 1D). En consecuencia, se obtuvieron espectros diferenciados de la respuesta sísmica que sí representan las observaciones de daños del terremoto de 1967. Por consiguiente, puede decirse que los resultados de la microzonificación sísmica pueden utilizarse con mayor confiabilidad para evaluación de riesgos y toma de decisiones.

Para la definición de recomendaciones de políticas prioritarias de atención a las edificaciones más riesgosas en función de las microzonas en que están situadas, se realizó una evaluación aproximada de las edificaciones típicas de la ciudad de Caracas que puede servir de guía para establecer la conveniencia de algunas decisiones de intervención (Hernández, 2009). Para trece prácticas constructivas representativas de edificios aporticados de concreto armado (que son los más frecuentes), empleadas en el curso de siete décadas en función de las normas sísmicas y las normas de diseño, se estimaron los espectros inelásticos de diseño, los cuales se compararon con los respectivos espectros demandados en ocho microzonas de la cuenca sedimentaria del valle de Caracas. Se cubrieron edificaciones de 1 a 20 pisos, y se efectuaron evaluaciones detalladas de demandas estructurales para tres prácticas constructivas, como referencias de vulnerabilidad. Se obtuvieron curvas de fragilidad de distintos grados de daño, índices de confiabilidad estructural y estimados de pérdidas para cada práctica constructiva, dos rangos de espesores de depósitos y tres rangos de alturas de edificaciones (Figura 10). Estos resultados fueron calibrados contra los daños del terremoto de Caracas de 1967 (Briceño et al., 1978) y una escala macrosísmica mundial (CSE, 2003), para validación de su aplicabilidad.

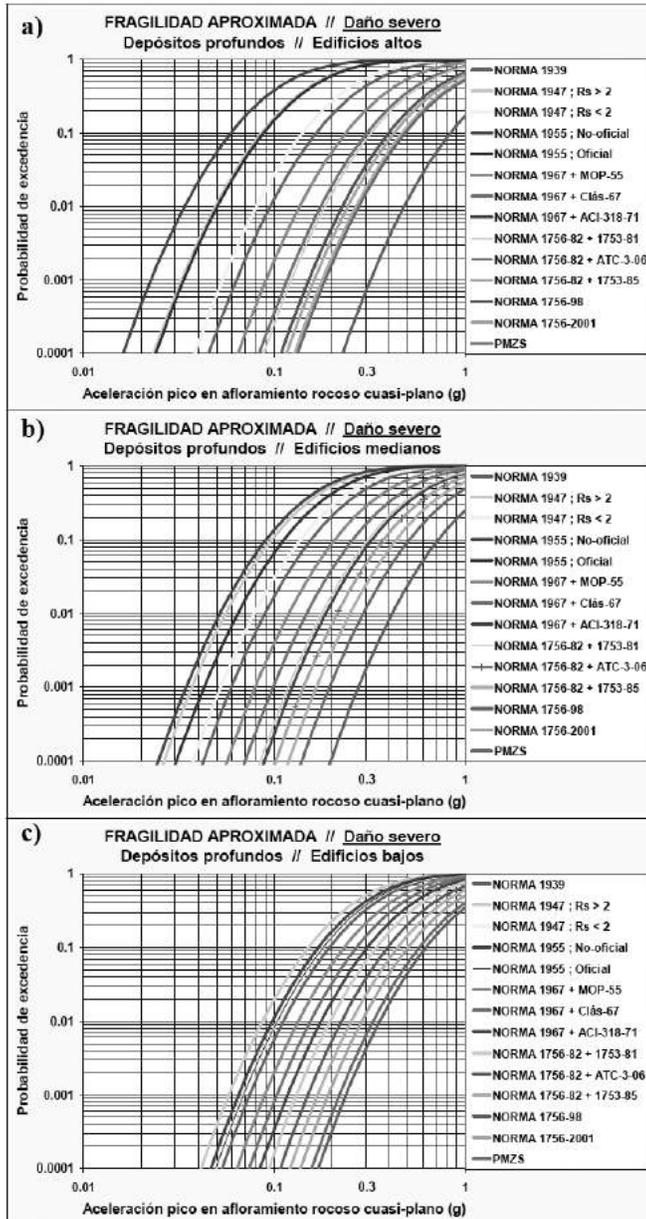


Figura 10. Curvas de fragilidad de daño severo en depósitos profundos: a) edificios altos; b) edificios medianos; c) edificios bajos (Hernández, 2009).

Para la valoración de las probabilidades de excedencia (P_{exc}) de daño severo se seleccionaron los siguientes rangos: Elevada: $P_{exc} > 30\%$; grande: $10\% < P_{exc} \leq 30\%$; alarmante: $2\% < P_{exc} \leq 10\%$; tolerable: $0.3\% < P_{exc} \leq 2\%$; poco importante: $P_{exc} \leq 0.3\%$. Los estudios permitieron emitir recomendaciones básicas, separadas entre edificios bajos, medianos y altos para las diversas prácticas constructivas y según espesores de depósitos profundos (> 120 m) o someros, como una primera aproximación, revisando tres escenarios sísmicos: similar al de 1967 ($A_0 = 0.1$ g), de diseño normativo actualizado ($A_0 = 0.28$ g) e intermedio ($A_0 = 0.167$ g).

Se observa que para todos los edificios diseñados con las normas post-1967 no se estiman daños importantes ante un evento de intensidad $A_0 = 0.1$ g (Tabla 1). Incluso para un evento superior en aceleración pico en 67%, todos estos edificios pueden considerarse que sobrellevarán pérdidas tolerables o menores, con excepción de los pocos con diseño de los miembros de concreto armado según la norma MOP-1955. Respecto a estas intensidades sísmicas, incluso la norma provisional MOP-1967 cumplió la función requerida. Sin embargo, ante un escenario sísmico sensiblemente mayor (Tabla 2), como es el del sismo de diseño socialmente aceptado, los edificios construidos con la norma sísmica MOP-1967 pueden sufrir daños entre alarmantes y grandes. La condición de suficiente seguridad general sólo se consigue con la norma COVENIN 1756-82 en adelante (junto con la norma de diseño COVENIN 1753-85 o la ATC 3-06 en algunos casos).

Tabla 1 Probabilidades de excedencia de daño severo para escenario con “A0 ~ 0.1 g” (arriba) y “A0 ~ 0.167 g” (abajo) #.

NORMA DISEÑO C/A	NORMA SÍSMICA	DEPÓSITOS SOMEROS			DEPÓSITOS PROFUNDOS			
		Edif. BAJOS	Edif. MEDIANOS	Edif. ALTOS	Edif. BAJOS	Edif. MEDIANOS	Edif. ALTOS	
MOP-39	MOP-39	0.64%	0.58%	0.28%	0.57%	1.7%	1.3%	
MOP-47	MOP-47	Rs > 2	2.1%	6.7%	7.8%	2.0%	11%	16%
		Rs ≤ 2	0.93%	1.2%	0.74%	0.83%	3.0%	2.8%
MOP-55	MOP-55	No ofic.	1.2%	8.9%	27%	1.1%	14%	39%
		Ofic.	0.91%	3.4%	7.1%	0.84%	6.7%	15%
MOP-67	MOP-67		0.25%	0.09%	0.03%	0.21%	0.40%	0.19%
			0.10%	0.02%	< 0.01%	0.08%	0.11%	0.04%
ACI 318-71 = COVENIN 1753-81	MOP-67		0.04%	< 0.01%	< 0.01%	0.04%	0.02%	< 0.01%
			0.02%	< 0.01%	< 0.01%	0.02%	0.03%	0.03%
ACI 318-08 = ATC 3-06	COVENIN 1756-82		< 0.01%	< 0.01%	< 0.01%	< 0.01%	< 0.01%	
COVENIN 1753-85	COVENIN 1756-98		< 0.01%	< 0.01%	< 0.01%	< 0.01%	< 0.01%	
			< 0.01%	< 0.01%	< 0.01%	< 0.01%	< 0.01%	
			< 0.01%	< 0.01%	< 0.01%	< 0.01%	< 0.01%	
COVENIN 1756-2001	COVENIN 1756-2001		< 0.01%	< 0.01%	< 0.01%	< 0.01%	< 0.01%	
			< 0.01%	< 0.01%	< 0.01%	< 0.01%	< 0.01%	
PMZS-CCS	PMZS-CCS		< 0.01%	< 0.01%	< 0.01%	< 0.01%	< 0.01%	

Violeta: elevada; Bajo: grande; Naranja: alarmante; Verde: tolerable; Azul: poco importante.

NORMA DISEÑO C/A	NORMA SÍSMICA	DEPÓSITOS SOMEROS			DEPÓSITOS PROFUNDOS			
		Edif. BAJOS	Edif. MEDIANOS	Edif. ALTOS	Edif. BAJOS	Edif. MEDIANOS	Edif. ALTOS	
MOP-39	MOP-39	6.4%	6.0%	3.6%	5.9%	13%	10%	
MOP-47	MOP-47	Rs > 2	14%	30%	32%	14%	40%	49%
		Rs ≤ 2	8.3%	9.9%	7.1%	7.7%	18%	17%
MOP-55	MOP-55	No ofic.	9.8%	35%	64%	9.5%	45%	75%
		Ofic.	8.2%	19%	31%	7.7%	30%	47%
MOP-67	MOP-67		3.2%	1.6%	0.6%	2.9%	4.6%	2.7%
			1.7%	0.49%	0.14%	1.5%	1.8%	0.80%
ACI 318-71 = COVENIN 1753-81	MOP-67		0.90%	0.12%	0.02%	0.77%	0.58%	0.19%
			0.49%	0.13%	0.22%	0.43%	0.75%	0.61%
ACI 318-08 = ATC 3-06	COVENIN 1756-82		0.23%	0.04%	0.06%	0.20%	0.27%	0.19%
COVENIN 1753-85	COVENIN 1756-98		0.11%	0.01%	0.02%	0.09%	0.10%	0.07%
			0.02%	< 0.01%	< 0.01%	< 0.01%	< 0.01%	< 0.01%
			0.05%	0.04%	0.03%	0.04%	0.27%	0.12%
PMZS-CCS	PMZS-CCS		0.02%	0.04%	0.05%	0.02%	0.04%	0.05%

Violeta: elevada; Rojo: grande; Naranja: alarmante; Verde: tolerable; Azul: poco importante.

Tabla 2 Probabilidades de excedencia de daño severo para escenario con $A0 \sim 0.28$ g.

NORMA DISEÑO C/A	NORMA SISMICA	DEPÓSITOS SOMEROS			DEPÓSITOS PROFUNDOS		
		Edif. BAJOS	Edif. MEDIANOS	Edif. ALTOS	Edif. BAJOS	Edif. MEDIANOS	Edif. ALTOS
MOP-39	MOP-39	29%	28%	20%	28%	43%	38%
	MOP-47	Rs > 2	46%	67%	70%	45%	76%
Rs ≤ 2		34%	37%	31%	32%	52%	51%
MOP-55	No ofic.	37%	72%	91%	37%	80%	95%
	Ofic.	33%	54%	68%	32%	67%	82%
MOP-67	MOP-67	19%	12%	6.3%	17%	24%	17%
		13%	5.3%	2.1%	11%	13%	7.5%
		8.1%	1.9%	0.56%	7.3%	6.0%	2.7%
ACI 318-71 = COVENIN 1753-81	COVENIN 1756-82	5.3%	2.1%	3.0%	4.9%	7.1%	6.2%
		3.1%	0.81%	1.1%	2.8%	3.5%	2.7%
ACI 318-80 = ATC 3-06	COVENIN 1756-98	1.8%	0.34%	0.47%	1.6%	1.7%	1.3%
		0.45%	0.050%	0.085%	0.27%	0.11%	0.043%
COVENIN 1753-85	COVENIN 1756:2001	0.98%	0.80%	0.76%	0.87%	3.5%	2.0%
	PMZS-CCS	0.43%	0.80%	1.1%	0.43%	0.80%	1.1%

¹ Violeta; elevada; Rojo; grande; Naranja; alarmante; Verde; tolerable; Azul; poco importante.

En la tabla 3 se resumen recomendaciones de intervención para edificaciones regulares de acuerdo con la siguiente calificación de prioridades: **P** (prioritaria); **O** (obligatoria); **C** (Conveniente); e **I** (innecesaria), mientras que las irregularidades operan como agravantes de las prioridades. La palabra intervención alude a la evaluación de la edificación y su eventual refuerzo (u otro tipo de adecuación) posterior; las decisiones finales deben ser fruto de un estudio detallado y asumidas por calificados profesionales.

Tabla 3 Recomendaciones de prioridades de intervención de edificios regulares + # *

Prioridades de intervención	NORMAS EMPLEADAS									
	1940-1950	1948-1959	1953-1967	1953-1967	1967-1982	1971-1982	1982-1985	1985-1998	1998-2001	2001-2009
	MOP-1939	MOP-1947	MOP-1955-offic.	MOP-1955-no-offic.	MOP-1967 + MOP-1967-CA-TC-67	MOP-1967 + ACI-318-71	1756-82 + ATC-3-06	1756-82 + 1753-85	1756-98 + 1753-85	1756-2001 + 1753-85
H > 120 m Edif. altos	O	P	P	P	C	C	C	I	I	C
H > 120 m Edif. bajos	O	O	O	O	C	C	C	I	I	I
H ≤ 120 m Edif. altos	O	P	P	P	C	I	I	I	I	I
H ≤ 120 m Edif. bajos	O	O	O	O	C	C	C	I	I	I

+ H = espesor del depósito de suelos hasta el basamento rocoso.

Intervención = P: prioritaria; O: obligatoria; C: conveniente; I: innecesaria.

* Las edificaciones irregulares deben calificar en el grupo de intervención inmediatamente más exigente que el de las regulares del mismo tipo.

Los resultados del estudio de microzonificación sísmica de Caracas deberían utilizarse para una actualización de los estudios del riesgo. Sin embargo, las recomendaciones generales del estudio de JICA, enfocadas en la realización de extensos proyectos de mitigación, entre ellos refuerzo sísmico de edificaciones y puentes, estructuras para el control de flujo de escombros, reubicación de personas que viven en canales de río, sistemas de alerta temprana y evacuación, un centro de comando de emergencia y fortalecimiento de actividades, con el debido planeamiento y asignación presupuestaria, mantienen validez como orientación para la realización de medidas estructurales y no estructurales de mitigación del riesgo sísmico en el AMC.

Conclusiones y Perspectivas

Tanto el estudio del Proyecto Ávila como el proyecto JICA tenían el propósito de extenderse al resto del Área Metropolitana de Caracas, aprovechando las sinergias y los conocimientos técnicos generados en las diversas instituciones. Sin embargo, no se tomaron las decisiones necesarias para asignar los fondos requeridos. Es más, en el caso del Proyecto Ávila se disolvió el grupo de trabajo creado en su momento en el IGVS. Estas experiencias demuestran la necesidad de construir una estrategia conjunta con los orientadores de políticas públicas tanto a nivel de gobierno como de otras instituciones, para atender de manera continua y coherente las necesidades en materia de gestión de riesgo. Para este fin, se han elaborado escenarios que permiten visualizar las amenazas y en consecuencia estimar el riesgo asociado. En el caso de los aludes torrenciales se definen estos eventos para períodos de retorno de 10, 100 y 500 años con sus respectivas manchas de afectación. En el caso de la amenaza sísmica, ésta comúnmente se expresa de manera probabilística con la definición de la aceleración pico en roca (A_0) para un periodo medio de retorno (PMR) de 475 años, tal como se expresa en la norma de “Edificaciones Sismorresistentes” (COVENIN, 2001).

Para evaluar los efectos de eventos sísmicos específicos podrían tomarse como referencia los ocurridos en el pasado, como se hizo en el proyecto JICA, pero es de interés estimar los eventos graves que podrían suceder próximamente. En tal sentido, para Caracas, Hernández y Schmitz (2010) presentan probabilidades de ocurrencia de terremotos de diferentes intensidades esperadas para el centro de Caracas, basadas en la evaluación de las intensidades ocurridas en esta zona históricamente. Con el objetivo de brindar una perspectiva razonable de prevención en el tiempo, se han considerado los eventos más probables que pueden esperarse en los próximos 30 años (hasta el año 2040), pensando que es un lapso prudencial para implementar un plan de mitigación del riesgo. Para esta fecha habrán transcurrido 228 años desde el terremoto de 1812, 140 años desde el terremoto de 1900 y 73 años desde del terremoto de 1967. El estudio de recurrencia de intensidades pronostica para estos 3 casos intensidades I_{EMS} en el centro de Caracas de 8.35 (período medio de retorno 228 años), 8.0 (140 años) y 7.5 (73 años), respectivamente, con mayores valores en las microzonas de depósitos profundos. El último caso es similar al terremoto de 1967, pero los otros dos, los cuales pueden esperarse en el lapso considerado hasta el año 2040, son mayores. Este conocimiento nos pone en la obligación de no desaprovechar este tiempo que potencialmente tendremos hasta que nuevamente ocurra un terremoto que afecte Caracas con daños considerables.

Una iniciativa importante, generada con el fin de la mitigación del riesgo sísmico, es el programa de reducción del riesgo sísmico en escuelas (López et al., 2004; 2007), el cual se inició después del colapso de una escuela y un liceo en el terremoto de Cariaco de 1997. Se demuestra que un gran porcentaje de los planteles educativos existentes en

el país tienen un elevado riesgo, debido a su construcción previa a la vigencia de normas sísmicas modernas y a algunas prácticas constructivas superadas por la experiencia mundial en terremotos. Se elaboraron propuestas de refuerzo aplicables a un gran número de escuelas, ya que corresponden a un mismo tipo (en muchos casos idéntico al de las escuelas colapsadas en Cariaco). Si aún no se ha iniciado un plan masivo de refuerzo de escuelas, es atribuible a la falta de conciencia en la colectividad respecto al tema en conexión con la priorización de los problemas a corto plazo, postergando aquellos de mediano y largo plazo. De que su ejecución es factible, lo demuestra el ejemplo de Bogotá: en los años 2004 a 2008 fueron reforzados en esa ciudad 170 planteles educativos (SED-Bogotá, 2010). En el proceso de refuerzo y de mejoramiento de la infraestructura, 90 edificaciones, que se encontraban en pésimas condiciones, tuvieron que ser demolidas, y en otros casos se optó por modificar cerca del 30% de los diseños originales. Esfuerzos recientes hechos en Venezuela para iniciar actividades de refuerzo deben acelerarse y masificarse, no sólo en Caracas sino en todo el país.

Es más, la situación de riesgo en la cual se encuentra no solamente Caracas, requiere de un “Plan Nacional de Reducción del Riesgo Sísmico”, que debería no solamente contemplar las escuelas, sino hospitales y edificaciones esenciales en general, puentes, viaductos y tuberías de agua y gas, sino también viviendas populares (en condición de terrenos estables) y viviendas en general. Actualmente se están realizando esfuerzos en FUNVISIS y otras instituciones (IMME-UCV) para la formulación de los lineamientos generales. Sin embargo, su eficiente ejecución requiere un consenso que conecte el nivel gubernamental nacional, con la incorporación de un gran conjunto de profesionales -en primera línea ingenieros civiles, de las universidades al igual que del sector privado- gobiernos regionales y locales, así como las comunidades directamente afectadas.

Para la adecuada planificación de este plan nacional es de vital importancia el desarrollo de estudios de riesgo, que permitan priorizar las intervenciones requeridas. Una contribución importante para esta tarea de priorización la pueden aportar los estudios de microzonificación sísmica, ya que el riesgo de las estructuras depende en gran medida de los efectos de sitio (calidad y espesor de los sedimentos) o inducidos (peligro de deslizamiento en las laderas). Para Caracas, se dispone de resultados técnicos de los proyectos Ávila (IGVSB/MARNR; 2003; JICA (2005) y sobre todo de microzonificación sísmica (Schmitz et al., 2009; Hernández, 2009; Hernández y Schmitz, 2010) que pueden facilitar el inicio de las actividades de prevención y mitigación. Campañas como “Ciudades listas” („Cities ready“), una iniciativa de las Naciones Unidas – Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (UN-ISDR, 2010), a la cual debería adherirse una capital como Caracas dados sus múltiples riesgos, pueden ayudar a crear conciencia en los diferentes niveles y motorizar las acciones necesarias para una ciudad menos vulnerable ante los desastres socio-naturales y tecnológicos.

r eferencias Bi bliográficas

- Altez, R., 2004. *Evaluación detallada del daño del terremoto de Caracas de 1812*. Informe para JICA.
- Audemard, F.A., Machette, M., Cox, J., Dart, R., Haller, K., 2000. Map and Database of Quaternary Faults in Venezuela and its Offshore Regions. *US Geological Survey Open-File Report 00-0018*. Include map at scale 1:2,000,000 and 78-page report.
- Briceño, F. et al, 1978. Segunda fase del estudio del sismo ocurrido en Caracas el 29 de julio de 1967. *Comisión Presidencial para el Estudio del Sismo, Ministerio de Obras Públicas, 2 volúmenes*, 1281 pp. [FUNVISIS, editor, Caracas].
- Cardona, O.D., Barbat, A.H., 2000. *El riesgo sísmico y su prevención*. Calidad Siderúrgica, Madrid, España.
- Carreño, M.L., Cardona, O.D., Marulanda, M.C., Barbat, A.H., 2006. Evaluación del riesgo sísmico: un enfoque holístico. *Revista internacional de Ingeniería de Estructuras*, 11 (1), 45-76; <http://idea.unalmztl.edu.co>.
- CESIS, 2000. Desastres Sísmicos. Escenarios, Seguridad y Prevención en Ciudades de Países en Desarrollo. *Trabajos del Seminario realizado en Caracas del 21 al 25 de febrero de 2000*. Centro de Ingeniería Sísmica, IMME, FI, UCV, Caracas.
- Columbia University, 2001.** *Disaster Resistant Caracas, Urban Planning Studio - spring 2001* (Professors: S. Grava, K. Jacob & A. Puzskin-Chevlin). Columbia University, Graduate School of Architecture, Planning and Preservation.
- Courtel, F., López, J.L., García, R.,** en prensa. Mapeo de amenazas por inundaciones y aludes torrenciales: aplicación en el estado Vargas y en el valle de Caracas. En: López, J.L. (Ed.): *Lecciones aprendidas de la tragedia de Vargas - Aportes Científico-Tecnológicos y Experiencias Nacionales en el Campo de la Prevención y Mitigación de Riesgos*. UCV-IMF, pp. 555-569.
- COVENIN, 2001. *Edificaciones sismorresistentes, COVENIN 1756:2001*. Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN), FONDONORMA, MCT, MINFRA, FUNVISIS, Caracas.
- CRID, 2005. *Coloquio Franco Latinoamericano sobre: "Microzonificación sísmica"*, noviembre, 1993, Punta Cardón, Venezuela. Embajada de Francia en Venezuela, FUNVISIS, MARAVEN, CERESIS, UNESCO, Centro de Investigación y Apoyo Tecnológico de la IPPCN (INTERVEP). Centro Regional de Información sobre Desastres (CRID), recopilador.
- CSE, 2003. *Escala macrosísmica europea 1998, EMS-98*. Comisión Sismológica Europea (CSE), Subcomisión de Ingeniería Sísmica, Luxemburgo.
- Delgado, J., Ortiz, S., 2002. Diagnóstico de la vulnerabilidad urbana. Franja urbanizada ubicada en la cuenca norte del río Guaire. *Informe ejecutivo, Proyecto Ávila*, 162 pp.

- Fiedler, G., 1968. Estudio Sismológico de la Región de Caracas con Relación al Terremoto del 29 de Julio de 1967 (Terremoto del Cuatricentenario), Reporte y Evaluaciones. *Boletín Técnico, Instituto de Materiales y Modelos Estructurales*, 23-24, 127-222.
- FUNVISIS, 1995. *II Coloquio sobre Microzonificación Sísmica y V Reunión de Cooperación Panamericana, Programa y Resúmenes*. Cumaná, 12 al 16 de junio de 1995. Gobernación del Estado Sucre, FUNPRIS, FUNVISIS, Embajada de Francia en Venezuela, PDVSA.
- FUNVISIS, 2001. Taller Internacional “Estudios de métodos y acciones para contrarrestar los efectos producidos por terremotos en Caracas” (1999-2001). Caracas, Venezuela, 24-25 agosto, 2000. *Serie Técnica No. 1-2001*.
- FUNVISIS, 2002. III Coloquio sobre Microzonificación Sísmica & III Jornadas de Sismología Histórica. Caracas, 15 al 20 de julio de 2002. *Serie Técnica No. 1-2002*.
- FUNVISIS, 2005. IV Coloquio sobre Microzonificación Sísmica. Barquisimeto, 13 al 16 de noviembre de 2005. UCLA, UPEL-IPB, FUNVISIS, FONACIT, Gobernación del Estado Lara. *Serie Técnica No. 1-2005*.
- FUNVISIS, 2009. *V Coloquio sobre Microzonificación Sísmica. Caracas, 19 al 24 de mayo de 2009 (paralelo al IX Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica)*. IMME-UCV, FUNVISIS, FONACIT, PDVSA, SIDETUR, Y&V. Memorias en CD.
- Gaceta Oficial, 2009. *Ley Orgánica de Riesgos Socio-Naturales y Tecnológicos*. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela No. 39.095, 9 de enero de 2009.
- Hernández, J.J., 2009. Confiabilidad sísmica-estructural de edificaciones existentes de Caracas. Proyecto Pensar en Venezuela, C.I.V., Jornadas 18 y 19 de septiembre de 2009. *Memorias*, 115 pp.
- Hernández, J.J., Schmitz, M., 2010 [en preparación]. *Amenaza sísmica en Caracas y escenarios probables. Calibración mediante la historia de intensidades*. Para revista nacional.
- Hernández, J.J., Schmitz, M., Audemard, F., Malavé, G., 2006. Marco conceptual del proyecto de microzonificación de Caracas y Barquisimeto. *VIII Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica, Valencia, Venezuela, CD*, 8 pp.
- Hernández, J.J., Valleé, M., Feliziani, P., Schmitz, M., Oropeza, J., Tagliaferro, M., Castillo, A., Cano, V., 2008. Peligro sísmico de deslizamientos en laderas de Caracas. *50 Aniversario de la Sociedad Venezolana de Geotecnia (SVDG)*, 6 al 9 de noviembre 2008, Caracas, Memorias.
- Housner, G.W., 1952. Spectrum Intensities of Strong Motion Earthquakes, *Proceedings of the Symposium on Earthquakes and Blast Effects on Structures, EERI, Los Angeles, California*, pp. 20-36.

- IGVSB/MARNR, 2003. *Proyecto Ávila, Mapa de Riesgos, escala 1:25.000*. Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar / Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, Caracas, Venezuela, CD.
- INE, 2002. *Así va el Censo 2001*. Población y Vivienda, Instituto Nacional de Estadística.
- JICA, 2005. Estudio sobre el plan básico de prevención de desastres en el Distrito Metropolitano de Caracas en la República Bolivariana de Venezuela. *Informe Final*. Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA).
- López J.L., Pérez D., García, R., Shucheng Z., 2006. Evaluación hidrogeomorfológica de los aludes torrenciales de diciembre de 1999 en Venezuela, *Memorias del Seminario Internacional "Los aludes torrenciales de diciembre 1999 en Venezuela"*, Caracas, pp. 41–57.
- López, O.A., Hernández, J.J., Del Re, G., Puig, J., 2004. Reducción del Riesgo Sísmico en Escuelas de Venezuela, *Boletín Técnico IMME 42*, 33–56, disponible en: <http://www.revele.com.ve/pdf/btimme/vol42-n3/pag33.pdf>
- López, O.A., Hernández, J.J., Del Re, G., Puig, J., Espinosa, L., 2007. Reducing Seismic Risk of School Buildings in Venezuela. *Earthquake Spectra*, 23 (4), 771–790.
- Malavé, G., 2005. Gestión del riesgo sísmico en Venezuela: estado actual y planes futuros. *IV Coloquio sobre Microzonificación Sísmica, Barquisimeto, Serie Técnica FUNVISIS No. 1- 2005*, 164-169.
- Papageorgiou A.S., Kim J., 1991. Study of the propagation and amplification of seismic waves in Caracas valley with reference to the 29 July 1967 earthquake: SH waves. *Bull. Seis. Soc. Am.*, 81, 2214-2233.
- Schmitz, M. et al. 2002. **Seismic microzoning study in Chacao district, Caracas, Venezuela**. *12th European Conference on Earthquake Engineering, London*, 9-13 September 2002, extended abstract, 10 pp.
- Schmitz, M. et al., 2009. Informe Técnico Final, Volumen 1 Caracas, *Proyecto de microzonificación sísmica en las ciudades Caracas y Barquisimeto (FONACIT 200400738)*, FUNVISIS FUN-035a, Inédito, 978 pp.
- Schmitz, M., Hernández, J.J., Morales, C., Domínguez, J., Rocabado, V., Valleé, M., Tagliaferro, M., Delavaud, É., Singer, A., Amarís, E., Molina, D., González, M., Leal, V. y el grupo de trabajo del proyecto de Microzonificación Sísmica de Caracas, 2010. Principales resultados y recomendaciones del proyecto de microzonificación sísmica en Caracas. *Revista de la Facultad de Ingeniería UCV*, sometido a arbitraje.
- SED-Bogotá, 2010. Secretaría de Educación Distrital, SED-Bogotá, *Boletín No. 60*. http://www.sedbogota.edu.co/index.php?option=com_content&task=view&id=400&Itemid=173; consultado el 25/11/2010.
- Singer, A., 1977. Tectónica reciente, morfogénesis sísmica y riesgo geológico en el graben de Caracas, Venezuela. *Memorias V Congreso Venezolano de Geología*, 4, pp. 123-170.

- Singer A., Rodríguez, L.M., Audemard, F., Ollarves, R., en prensa. Estimación del período de retorno de manifestaciones de aludes torrenciales en la Serranía del Litoral por medio de dataciones C14 obtenidas en trinchera al pie del Ávila y por vía arqueogeológica en las formaciones aluviales del valle de Caracas. En: López, J.L. (Ed.): *Lecciones aprendidas de la tragedia de Vargas - Aportes Científico-Tecnológicos y Experiencias Nacionales en el Campo de la Prevención y Mitigación de Riesgos*. UCV-IMF, 13 pp.
- UN-ISDR, 2010. Making cities resilient – My city is ready; World Disaster Reduction Campaign 2010-2011: <http://www.unisdr.org/english/campaigns/campaign2010-2011/>; consultado el 25/11/2010.
- Urbani, F., Rodríguez, J., 2004. *Atlas geológico de la cordillera de la costa de Venezuela*. Caracas, junio 2004. Ediciones Fundación GEOS, escalas 1:25000 p. 146.
- Yamazaki, Y., Tanaka, I., Kagawa, H., Audemard, F., Hernández, J., Orihuela, N., Safina, S., Schmitz, M., Altez, R., 2006. Evaluation of historical earthquakes in Caracas for disaster prevention. *8th National Conference of Earthquake Engineering*, April 18 - 22, 2006, San Francisco, Extended abstract, 11 pp.