

Terremotos, urbanización y riesgo sísmico en San Salvador

Julian Bommer*

San Salvador es la ciudad del continente americano que más veces ha sido destrozada por terremotos. De continuar las tendencias actuales, futuros terremotos (en los próximos años o décadas) podrían provocar costos humanos y económicos mucho más elevados que en el pasado, sobre todo por la creciente vulnerabilidad que ocasiona el acelerado y desordenado proceso de urbanización que se viene dando en la Región Metropolitana de San Salvador (RMSS).

* **Julian Bommer**, Doctor en Ingeniería Civil, se desempeña como profesor e investigador de Ingeniería Sísmica y Geotécnica en el Imperial College de la Universidad de Londres, Inglaterra. Además, colabora como profesor visitante con la Universidad de El Salvador y la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (UCA). Asimismo, elaboró el proyecto "Evaluación del riesgo sísmico en El Salvador" que patrocina la Comunidad Europea.

NOTA DEL EDITOR: El presente artículo corresponde a una versión editada de un trabajo elaborado para PRISMA por el autor. La edición fue dirigida por Herman Rosa, quien contó con el apoyo y comentarios de Nelson Cuéllar, Mario Lungo y Francisco Oporto. El autor corrigió y aprobó la versión final.

El riesgo sísmico: dimensiones naturales y humanas

Según Fournier d'Albe (1988), **riesgo sísmico** es la probabilidad de una pérdida (humana, económica, etc.) causada por un sismo durante un tiempo definido. Esa probabilidad de pérdida depende entonces de dos factores: la **peligrosidad** sísmica como factor natural y la **vulnerabilidad** que refleja más bien las características de la intervención humana.

La **peligrosidad** o probabilidad de que ocurran movimientos sísmicos en una zona determinada, refleja características de la naturaleza que no pueden ser modificadas. En cambio, la **vulnerabilidad** o capacidad de resistencia de las estructuras expuestas a estos movimientos, como factor que refleja la intervención humana, sí puede ser modificada.

Claramente entonces, si ocurre un sismo fuerte mar adentro o en una zona despoblada, a pesar de la alta peligrosidad el riesgo es nulo debido a la ausencia de personas e instalaciones expuestas a los efectos del sismo.

Dada la alta incidencia de la intervención humana, aunque los sismos son un fenómeno natural, los desastres resultantes, cuando ocurren, no pueden, ni deben considerarse "desastres naturales".

Por ejemplo, el terremoto en la república soviética de Armenia de diciembre de 1988 afectó una zona donde habían muchos edificios altos de baja resistencia sísmica y quedaron sin vida más de 25,000 personas (Bommer y Ambraseys, 1989). En contraste, en el siguiente año hubo un terremoto de mayor magnitud en California - donde se aplican normas exigentes para el diseño sismo-resistente - y murieron tan solo 70 personas (Elnashai y otros, 1989).

A nivel mundial, el número de muertos provocados por terremotos es creciente (Bertero, 1994). Esto no se debe al aumento de la actividad sísmica, para el cual no hay ninguna evidencia. Principalmente se debe al crecimiento de la población y la expansión urbana, especialmente en aquellos lugares donde son débiles la gestión urbana y los mecanismos de seguridad sísmica.

Estos patrones han producido escenarios inesperados cuando terremotos relativamente pequeños han coincidido con concentraciones de población. Un ejemplo destacado de elevados daños ocasionados por un terremoto pequeño es el sismo de San Salvador del 10 de octubre de 1986 (Bommer y Ledbetter, 1987).

En efecto, la creciente concentración de la población y de actividades económicas del país en el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS) y sus alrededores en un contexto institucional caracterizado por una enorme debilidad de la capacidad de gestión del desarrollo urbano (PRISMA, 1995), hace pensar que futuros sismos podrían generar cifras muy altas de víctimas mortales, así como una profunda crisis económica.

Sismicidad de San Salvador

San Salvador fue fundada en su lugar actual en 1545 y el año siguiente recibió el título de ciudad. Su primera ruina sísmica ocurrió el 23 de

mayo de 1575. Tan elevada ha sido la frecuencia de los sismos que han afectado a San Salvador desde entonces, que en los últimos tres siglos la ciudad ha sido gravemente dañada por lo menos 14 veces. De esos eventos de destrucción, nueve se han debido a sismos locales de la cadena volcánica sobre la que se ubica San Salvador, y cinco han sido ocasionados por sismos en la fosa de subducción del Océano Pacífico que corre paralela a unos 50 km. de las costas del Pacífico de Centro América.¹

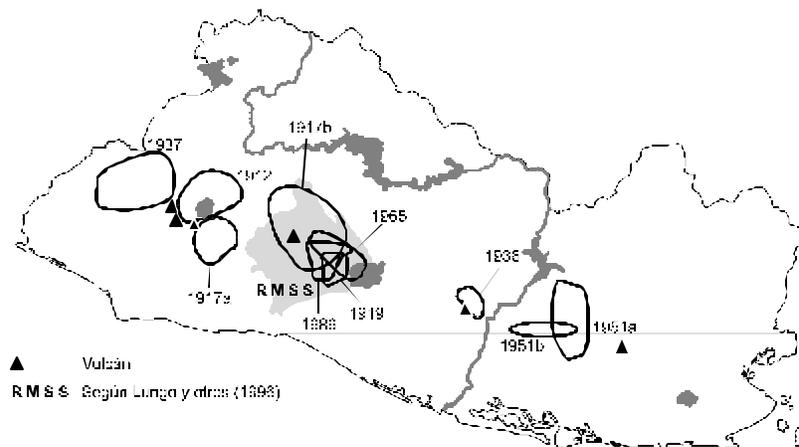
Los terremotos locales de la cadena volcánica no alcanzan magnitudes mayores de 6.5 (Ver recuadro 1) pero son la principal causa de destrucción en El Salvador debido a su coincidencia con las principales concentraciones urbanas. La figura 1 muestra las áreas donde los sismos locales han generado movimientos de intensidad igual o mayor a VII desde 1900. Es evidente que la envolvente de estas áreas cubre casi toda la Región Metropolitana de San Salvador (RMSS) a excepción de su extensión sur-occidental.

Los intervalos entre los sismos locales destructores de la cadena volcánica han variado entre los 2 y los 50 años, con un promedio de unos 30 años (Harlow y otros, 1993). Esto significa que es casi seguro que cada vivienda y edificio en San Salvador experimentará los efectos de un sismo fuerte durante su vida útil.²

¹ Los continentes y océanos de La Tierra descansan sobre alrededor de doce capas de roca llamadas placas tectónicas que en conjunto conforman la litósfera. Cuando una de las placas o bloque de litósfera se sumerge por debajo de otra se da el fenómeno de subducción. En la fosa de subducción del océano pacífico, la litósfera oceánica se sumerge por debajo de la litósfera continental.

² La vida útil de una estructura normal es de unos 50 años.

Figura 1:
El Salvador: Sismos superficiales de intensidad mayor que VII, desde 1900



Fuente: Harlow y otros, 1993.

Recuadro 1 Magnitud e intensidad de los terremotos

La **magnitud** es una medida de la fuerza de un terremoto o más exactamente de la energía sísmica liberada. Charles **Richter** inventó la primera escala. La magnitud se calcula con base en registros de las ondas sísmicas (sismogramas). La escala de magnitud es logarítmica, por lo que un incremento de una unidad de magnitud corresponde a un aumento de 30 veces en la energía liberada. Así, un sismo de magnitud 7 libera casi mil veces más energía de un sismo de magnitud 5. Los terremotos más grandes han alcanzado magnitudes del orden de 8.5.

La **intensidad** es una medida de la fuerza de la sacudida en un lugar y se evalúa en base a observaciones de los efectos sobre personas, edificios y el terreno. En la Escala Modificada de **Mercalli** de 12 grados, el grado I de intensidad corresponde a una sacudida percibida solamente en instrumentos sensibles. En cambio, la sacudida de grado V despierta a los que duermen, agita líquidos y desplaza objetos pequeños. Una sacudida de grado VII hace difícil mantenerse en pie, se siente hasta en carros en movimiento, aparecen grietas en algunas estructuras y se caen tejas y ladrillos sueltos. La Intensidad IX corresponde a daños importantes hasta en edificios bien construidos y el colapso de construcciones pobres. Los grados XI y XII casi nunca se alcanzan.

Comparados con los sismos locales de la cadena volcánica, los sismos generados en la fosa de subducción pueden alcanzar magnitudes de casi 8.0 en la escala Richter, aunque la fosa parece estar localmente menos activa frente a la costa de El Salvador, donde el sismo más grande que ha ocurrido en este siglo fue el del 19 de junio de 1982, con una magnitud de 7.3 (Ambraseys y Adams, 1996). Sin embargo, como los terremotos originados en la fosa de subducción sacuden un área muy amplia, no alcanzan niveles muy altos de intensidad en el territorio debido a la lejanía de la fuente de liberación de energía sísmica. Por ejemplo, el sismo de 1982 causó solamente 8 muertos y dañó 1,630 viviendas en todo el país (Alvarez, 1982), mientras el de 1986 causó 1,500 muertos y 100,000 damnificados.

No obstante, una amenaza asociada a los terremotos de la fosa de subducción son los maremotos que ocurren cuando la ruptura de una falla en el suelo oceánico llega a la superficie del lecho marino, desplazando súbitamente una gran cantidad de agua. En septiembre de 1992 un maremoto produjo daños graves en las costas de Nicaragua y existe la posibilidad de que zonas costeras de El Salvador puedan ser afectadas por un maremoto parecido.

Características de los suelos y peligrosidad sísmica en San Salvador

La peligrosidad sísmica puede evaluarse con base en información sobre la sismicidad de una zona y las características del movimiento sísmico.³ Sobre esa base se construyen mapas de peligrosidad que identifican las áreas de mayor peligro para fines de planificación y de diseño sísmico.⁴

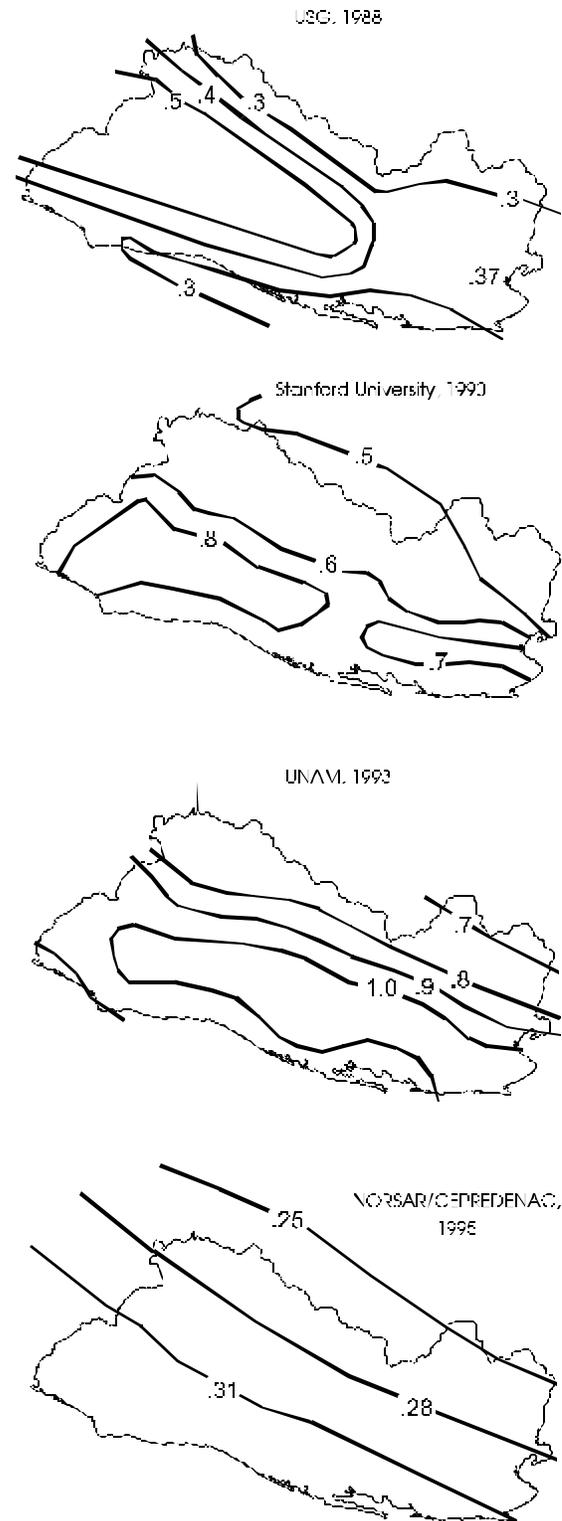
Existen cuatro estudios que han generado mapas de peligrosidad en El Salvador (Ver figura 2). Las diferencias entre los resultados de los cuatro estudios en cuanto a la distribución geográfica y al nivel de la peligrosidad, son grandes y se deben a las incertidumbres que conllevan los datos disponibles sobre la sismicidad en el país y sobre las características del movimiento fuerte en la región (Bommer y otros, 1996).

Por otra parte, en la elaboración de esos mapas, si bien se consideran los parámetros que representan la fuente sísmica y la trayectoria entre la fuente y el lugar de interés (distribución, magnitud y frecuencia de los sismos, así como la atenuación con la distancia de las aceleracio-

³ La peligrosidad es una función de la magnitud del sismo y la distancia del punto hasta la fuente sísmica. El movimiento sísmico se mide con la aceleración máxima del terreno y se evalúa la peligrosidad sísmica en términos probabilísticos: es una práctica común definir la peligrosidad sísmica como la aceleración del terreno con una probabilidad del 90% de no ser excedida durante un período de 50 años, que corresponde a la vida útil de una estructura normal. Estos valores fueron utilizados por primera vez para estudios en los Estados Unidos (Algermissen y Perkins, 1976) y han sido adoptados casi universalmente. Este nivel de peligrosidad corresponde al movimiento sísmico que tiene un período de retorno (un intervalo promedio entre eventos) de 475 años.

⁴ Un mapa de peligrosidad se construye evaluando la peligrosidad en una serie de puntos y trazando curvas de igual nivel de aceleración. Tales mapas además de identificar las áreas de mayor peligro para fines de planificación, establecen los niveles de aceleración que se deben considerar en el diseño sísmico.

Figura 2
Mapas de peligrosidad sísmica para El Salvador



Fuente: Bommer y otros, 1996.

nes generadas en el terreno) se han ignorado las características y efectos locales del sitio.

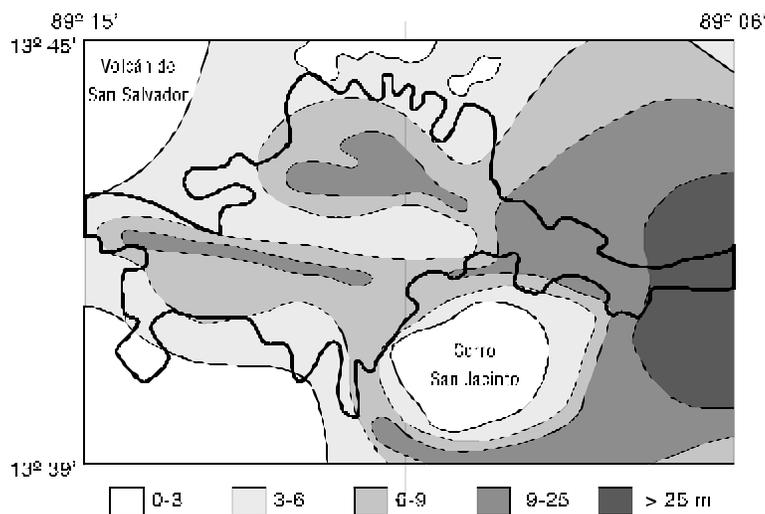
Esto último es un aspecto crucial, porque se ha observado en muchas partes del mundo que los depósitos de suelos blandos y los puntos de relieve topográfico pueden ampliar y prolongar el movimiento sísmico, haciendo así mucho más dañina la sacudida.

En el caso concreto de San Salvador se ha observado el efecto amplificador de la capa de ceniza volcánica que cubre casi toda la ciudad. El primer depósito es una ceniza conocida como "tobas color café" originado por erupciones del volcán de San Salvador y alcanza espesores de 25 metros. El segundo depósito, más joven y menos consolidado, es la "tierra blanca", que proviene del centro volcánico que ahora está sumergido en el lago de Ilopango (Schmidt-Thomé, 1975). Debido a su falta de compactación, la tierra blanca es la causa de mucha amplificación. El espesor de este depósito varía desde casi 50 metros en la orilla del lago hasta 2 ó 3 metros en las faldas del volcán de San Salvador (Figura 3).

En países de alta actividad sísmica es común preparar mapas no solamente de zonificación sísmica (peligrosidad sísmica), sino también de microzonificación para centros urbanos importantes. Estos mapas de microzonificación muestran la variación local de la peligrosidad debida a la presencia de fallas geológicas y de los depósitos de suelos.⁵ En el caso del AMSS, después del sismo de 1986, una misión italiana llevó a cabo un excelente estudio de microzonificación de la zona sur-occidental, pero por li-

⁵ Un estudio de microzonificación debe identificar zonas donde el suelo puede modificar el movimiento sísmico y cuantificar estas modificaciones con base en la propiedades dinámicas de las capas de suelo.

Figura 3:
AMSS: Espesor de tierra blanca



Fuente: Rymer, 1987.

mitaciones de tiempo y financiamiento no pudo cubrir toda el área metropolitana (Faccioli y otros, 1988).

Impacto de los sismos en San Salvador

Los terremotos más destructivos de los últimos años han sido los del 3 de mayo de 1965 y 10 de octubre de 1986. Un análisis de los efectos de estos sismos puede servir como base para un estudio de los patrones de daños y un pronóstico del riesgo sísmico en la ciudad.

El sismo del 3 de mayo de 1965, de magnitud 6.3, dejó un total de 110 personas muertas, 400 heridas y 30,000 sin vivienda (Lomnitz y Schulz, 1966). En cambio, el sismo del 10 de octubre de 1986, con magnitud de tan solo 5.4, dejó a un total de 1,500 muertos, 10,000 heridos y 100,000 damnificados (Bommer y Ledbetter, 1987; Harlow y otros, 1993).

En 1965, la principal causa de muertos fue el colapso de viviendas de adobe y bahareque.⁶ Algunos edificios grandes fueron afectados,

⁶ El adobe es un material pobre para la resistencia sísmica, debido al hecho que es muy pesado y ofrece poca re-

gunos edificios grandes fueron afectados, pero pocos colapsaron. En contraste, en 1986, si bien hubo muchas víctimas por el colapso de casas de adobe y bahareque, lo más característico fue el colapso de muchos edificios grandes.

Sólo en el Edificio Rubén Darío murieron unas 300 personas y en otros edificios también se perdieron varias vidas: en el Colegio Santa Catalina 30, en el Ministerio de Planificación 12 y en el Gran Hotel San Salvador otros 12 (Durkin, 1987). Algunos de estos edificios habían sido seriamente dañados en el sismo de 1965, especialmente el Darío y el Hotel San Salvador (Rosenblueth, 1965). Muchos edificios de la Universidad de El Salvador que sufrieron daños apreciables también habían sido debilitados por el sismo de 1965 y tal vez por el sismo de junio de 1982.

El tipo de movimiento producido por los sismos locales es de mucha importancia ya que la aceleración puede ser muy alta, pero de corta duración, y por tanto puede ocasionar graves daños en la estructura sin abrir grandes grietas ni llevarla al colapso.

Claramente muchos de los edificios dañados por los sismos de 1965 y 1982 no fueron reparados y reforzados adecuadamente y por ende no ofrecieron resistencia a la intensa sacudida de 1986 (Ver figura 4). Otros daños estructurales se debieron a mala calidad en la construcción, el uso de materiales inadecuados y errores de diseño como "columnas cortas" (Ver figura 5).

sistencia. El bahareque en sí tiene un buen comportamiento sísmico, aunque el uso de techados pesados aumenta su vulnerabilidad y debido a la deforestación se usa hoy en día maderas con calidad inferior. Ambos sistemas constructivos se deterioran rápidamente debido a efectos climáticos y a la acción de insectos, haciendo que la vulnerabilidad de viviendas construidas con estos sistemas sea una función de su edad y del tratamiento que se aplica a los elementos para hacerlos más duraderos.

Figura 4:
Colapso del edificio Rubén Darío



Figura 5:
Daños en columnas de Biblioteca Nacional



Otro fenómeno que empeoró el impacto del terremoto de 1986 fue el comportamiento del terreno. Como los depósitos sueltos se pueden asentar apreciablemente durante la sacudida de un sismo, esto puede causar daño en edificios cimentados en los mismo suelos, especialmente cuando el asentamiento no es uniforme como

en el caso de los rellenos. En San Salvador existen muchas barrancas rellenas con suelos que no han sido compactados y que son especialmente susceptibles al asentamiento. El Colegio Guadalupano, por ejemplo, sufrió daños severos en 1986 a raíz del asentamiento de rellenos.

Otro efecto geotécnico de los terremotos son los derrumbes y deslizamientos para los cuales la tierra blanca es muy propensa. Muchos terremotos en El Salvador han desencadenado deslizamientos y derrumbes, en algunos casos estos han causado mucha destrucción adicional a la generada por la misma sacudida (Rymer y White, 1989). El terremoto del 10 de octubre de 1986 generó centenares de deslizamientos y derrumbes dentro de un área de 200 km², incluyendo todo el AMSS. De resaltar fue el deslizamiento en Santa Marta, donde fueron soterradas 100 casas situadas cerca de una barranca con la pérdida de unas 200 vidas.

El número de muertos que los terremotos han causado en El Salvador no es muy elevado, sobre todo cuando se compara con las cifras de mortalidad debidas a la guerra, la delincuencia y los accidentes de tránsito. Sin embargo, el impacto sobre el país y su desarrollo puede ser determinante. El cuadro 1 presenta los daños económicos causados por los sismos más importantes en el mundo entre 1972 y 1990.

Evidentemente, la pérdida económica en El Salvador en 1986 fue relativamente pequeña en términos globales, sobre todo si se compara con pérdidas recientes como la estimación de

US\$150 billones en el terremoto de Kobe (Japón) en enero de 1995.

Sin embargo, lo importante es el impacto relativo a la economía del país y esto está representado por la última columna del Cuadro 1 en la que se muestra la pérdida económica como porcentaje del tamaño de la economía, representado por el Producto Nacional Bruto (PNB). Las cifras más elevadas corresponden a tres terremotos en Centro América y la segunda es el sismo de San Salvador.

Esto refleja la susceptibilidad de estas economías pequeñas de ser seriamente afectadas por este tipo de desastre debido a la fragilidad de la economía y su concentración en zonas propensas a semejantes cataclismos. Es importante señalar que las cifras en el cuadro 1, se refieren a las pérdidas directas ocasionadas por los terremotos y no toman en cuenta la pérdida de la producción, la interrupción del comercio y el desempleo generado por el terremoto.

Cuadro 1:
Pérdidas económicas directas
ocasionadas por terremotos, 1972-1990

Ciudad, país y año	Pérdida (Billones de US\$)	PNB* (Billones de US\$)	Pérdida/PNB (Porcentajes)
Managua (1972)	2.0	5.0	40.0
San Salvador (1986)	1.5	4.8	31.0
Guatemala 1976)	1.1	6.1	18.0
Montenegro, Yugoslavia 1979)	2.2	22.0	10.0
Manjil, Irán (1990)	7.2	100.0	7.2
Campania, Italia (1980)	45.0	661.8	6.8
Bucarest, Rumania (1977)	0.8	26.7	3.0
México, D.F, México (1985)	5.0	166.7	3.0
Armenia, Ex-URSS (1988)	17.0	566.7	3.0
Luzón, Filipinas (1990)	1.5	55.1	2.7
Kalamata, Grecia (1986)	0.8	40.0	2.0
Tangshang, China (1976)	6.0	400.0	1.5
Loma Prieta, EE. UU. (1989)	8.0	4,705.8	0.2

Producto Nacional Bruto correspondiente al año en que ocurrió el sismo.

Gestión urbana y reducción del riesgo sísmico en San Salvador

Los tres factores que tienen mayor peso en determinar el nivel de riesgo sísmico en San Salvador, a corto plazo, son la calidad de la vivienda informal, la ubicación de construcciones en terreno inestable y el estado actual de edificios existentes, especialmente los que han sido debilitados por sismos anteriores. La reducción del riesgo en estas tres áreas representa un gran desafío en el corto plazo debido a lo siguiente:

- la calidad de la vivienda informal y marginal es más bien un problema social que técnico y necesitaría una enorme inversión por parte del gobierno;
- la estabilización del terreno inestable es técnicamente complicada y muy costosa, además la identificación de ciertas zonas como inestables tiene consecuencias económicas;
- la evaluación de la vulnerabilidad de un edificio exige una inspección detallada que el propietario quizá no permitiría. Además, reforzar una estructura existente para lograr una resistencia sísmica adecuada es costoso y requiere de una ingeniería muy especializada.

A mediano y largo plazo la reducción del riesgo sísmico debe formar parte de la gestión urbana, bajo una concepción integral del desarrollo de la ciudad, donde la zonificación de la RMSS por amenazas naturales así como la regulación del uso del suelo y de la construcción han de ser instrumentos importantes.

Es necesario construir la institucionalidad para la gestión del desarrollo territorial y urbano (Lungo y otros, 1996). Al mismo tiempo, es urgente desarrollar y fortalecer la ingeniería sísmica y de riesgos en general, en las universidades y gremios profesionales, aunque es de

mencionar que éste es un proceso que ya ha sido iniciado.

Otro esfuerzo importante que se ha venido desarrollando tiene que ver con la formulación de códigos para el diseño sismo-resistente, aunque como se discute a continuación dicho proceso adolece de limitaciones importantes.

Los códigos para el diseño sismo-resistente y sus limitaciones

Dada la creciente importancia de los costos relacionados con el colapso de edificios durante los sismos, el diseño de edificios sismo-resistentes representa un elemento fundamental para la protección contra los efectos de los terremotos. Normalmente, esto se logra a través de códigos o reglamentos que imponen las normas mínimas que han de cumplir las estructuras en una zona sísmica para

Recuadro 2: Los códigos y reglamentos para el diseño sismo-resistente

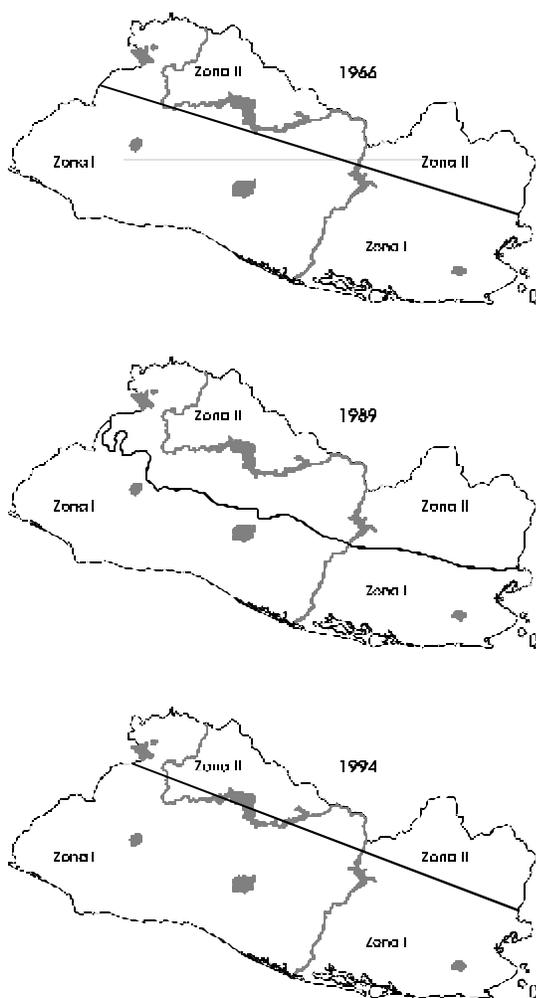
Estos códigos proporcionan al ingeniero información sobre las cargas que se deben tomar en cuenta para el diseño, en caso de un sismo, incluyendo un mapa de zonificación. Si bien muchos códigos se basan en modelos como los códigos de los Estados Unidos, la zonificación sísmica y la especificación de las cargas sísmicas no pueden ser importadas. El código también debe orientar al ingeniero en el análisis del comportamiento estructural frente a las acciones sísmicas y definir los criterios que la estructura debe cumplir.

El objetivo de un código es lograr que un edificio pueda resistir un sismo moderado con daños estructurales leves y daños no estructurales moderados, y evitar el colapso por efectos de sismos de gran intensidad, disminuyendo los daños a niveles económicamente admisibles. La inversión necesaria para lograr la resistencia sísmica en un edificio nuevo no es excesivo: se ha mostrado que la aplicación de las normas más exigentes para diseño sismo-resistente, como las de Nueva Zelanda o California, representan un aumento promedio del 5% (con un valor máximo del 10%) en el costo de un proyecto de ingeniería, (Dowrick, 1987).

turas en una zona sísmica para garantizar un nivel mínimo de seguridad (Ver recuadro 2).

El primer reglamento para diseño sismo-resistente en El Salvador se introdujo en 1966 como respuesta al sismo de 1965. El código fue básicamente una adaptación del reglamento de Acapulco, recomendado por el ingeniero mejicano Emilio Rosenblueth (1965). La zonificación sísmica del país fue una simple división en dos áreas (Ver figura 6) y las cargas sísmicas fueron prescritas sin referencia al tipo de suelo.

Figura 6
El Salvador: Zonificación sísmica
1966, 1989 y 1994



Fuente: Bommer y otros, 1996.

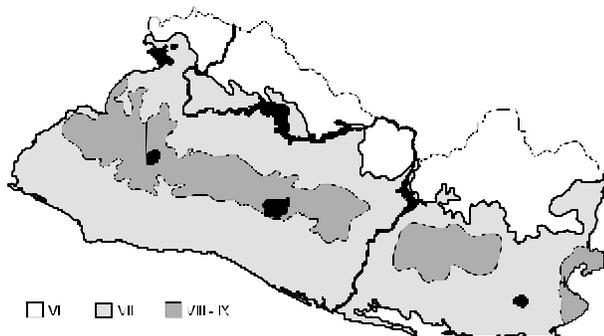
Después del terremoto de 1986, la Asociación Salvadoreña de Ingenieros y Arquitectos (ASIA) formó un Comité Técnico que elaboró el código de 1989, conocido como Reglamento de Emergencia del Diseño Sísmico (REDESSES). La zonificación fue ligeramente modificada y las cargas sísmicas aumentaron con base en registros del movimiento fuerte que se habían obtenido, pero la influencia del subsuelo aún no se tenía en cuenta.

En 1994 el Ministerio de Obras Públicas publicó un nuevo reglamento con el título de Norma Técnica para el Diseño Sísmico. Este nuevo reglamento tiene el mérito de no haber sido elaborado como reacción a un desastre. Además, por primera vez se ha incluido un estudio de la peligrosidad sísmica que fue llevado a cabo por la UNAM (Singh y otros, 1993). Sin embargo, la zonificación es casi igual a la de los previos códigos, pero en este caso la determinación de las cargas sísmicas depende no sólo de la zona y del tipo de estructura y su uso, sino también de las condiciones del subsuelo. El diseño original del nuevo reglamento pretendía una microzonificación de San Salvador, pero este aspecto no fue llevado a cabo.

En los tres códigos, la Zona I que incluye la costa y la cadena volcánica, es de mayor peligro que la Zona II. En los códigos de 1966 y 1989 las cargas sísmicas aplicables en la Zona II son iguales a las de la Zona I multiplicadas por un factor de 0.5, mientras que en el nuevo reglamento la razón ha sido incrementada al 0.75.

Tomando en cuenta las intensidades sísmicas que se han experimentado en el norte de El Salvador, estas cargas parecen ser innecesariamente elevadas. La figura 7 muestra que las intensidades más elevadas ocurren solamente en las zonas volcánicas mencionadas previamente. Considerando que una intensidad de grado VII en la escala de Mercalli es el umbral para el daño estructural importante, dicho mapa muestra que la zona norteña del país

Figura 7:
Mapa de máximas intensidades
sísmicas observadas



Fuente: Aguilar, 1986.

que la zona norteña del país es de peligrosidad relativamente baja. En cambio, el sur es obviamente una zona de alto peligro.

Un código de diseño debe ser puesto en práctica para lograr sus objetivos. Sin embargo, se ha identificado una falta de seguimiento adecuado por parte de entidades oficiales de la construcción en El Salvador (Lara, 1987). La eficacia de un código depende de la capacidad de aplicación, pero también de la comprensión de los ingenieros sobre los conceptos en que se basa el diseño sísmico y hasta la fecha la ingeniería sísmica aún no forma parte del curriculum en la carrera de ingeniería civil en ninguna de las universidades del país.

El nuevo reglamento para el diseño sísmico, a pesar de sus deficiencias, podría contribuir a una reducción importante del riesgo si este se promulga como ley y se hace cumplir. Sin embargo, aún no ha sido aprobado por la Asamblea Legislativa y no existe una entidad oficial encargada de inspeccionar su cumplimiento. Por el propio interés e integridad del gremio de la ingeniería civil, seguramente muchos ingenieros adoptarán y aplicarán el nuevo reglamento, pero una ley sin mecanismos para asegurar su cumplimiento, no será obedecida por todos.

Aún suponiendo que el nuevo reglamento fuese universal y correctamente aplicado a todo diseño estructural y hubiese control adecuado sobre la calidad de la construcción, es debatible cuanto reduciría la vulnerabilidad de la RMSS antes de que vuelva a temblar el Valle de las Hamacas.

Esta hipótesis se basa en el hecho de que hay muchas áreas de importancia que quedan fuera del reglamento. Primero, es importante reconocer que siempre habrá un sector de vivienda informal que no estará cubierto por las normas, en parte porque no hay intervención ingenieril en su construcción. En segundo lugar, y esto es un punto trascendental, el reglamento sólo se aplica a nuevas construcciones y no incide en el estado de las estructuras existentes.

Al igual que muchos otros reglamentos de diseño sísmico, el que se propone para El Salvador no conlleva ninguna información sobre la reparación y reforzamiento de estructuras dañadas, a pesar de que el diseño sísmico siempre implica que se acepta cierto nivel de daño en la estructura (por lo cual se permite la reducción de las cargas para el diseño). Seguramente hay varios edificios, incluyendo algunos muy grandes y de alta ocupación, en San Salvador que fueron dañados en el sismo de 1986 haciéndolos muy vulnerables.

Hay otro factor que está fuera del alcance del nuevo reglamento que tiene consecuencias muy importantes para el riesgo sísmico y se refiere al uso del terreno. Mientras siga creciendo la Región Metropolitana se ocuparán cada vez más zonas de relleno, se construirá más al borde de las barrancas y también en los taludes de los cerros y volcanes que son intrínsecamente inestables por sus altas pendientes.

Lo anterior refuerza la idea de que el riesgo sísmico debe ser incorporado en una gestión integral del desarrollo de la RMSS.

Reflexión final

Aunque puede parecer fatalista, la reducción del riesgo sísmico en la RMSS a corto plazo es improbable por las razones expuestas anteriormente y porque frente a tantos otros problemas sociales y económicos, la reducción del riesgo no es percibida por la población y los tomadores de decisión como una urgencia.

Sin embargo, esto no debería impedir que se tomen acciones conducentes a la solución de estos problemas inmediatamente, promoviendo a la vez la integración de la seguridad sísmica como elemento importante en la gestión urbana y la consolidación de la ingeniería sísmica. Entonces no será necesario esperar el próximo cataclismo sísmico como una oportunidad para iniciar la renovación urbana y la verdadera reducción del riesgo en la RMSS. ☞

Referencias bibliográficas

- Aguilar, C.E. (1986). *Geología. Geografía de El Salvador*. Dirección de Publicaciones, Ministerio de Cultura y Comunicaciones, San Salvador.
- Algermissen, S.T. y D.M. Perkins (1976). *A probabilistic estimate of maximum accelerations in rock in the contiguous United States*. US Geological Survey Open-File Report.
- Alvarez G., J. (1982). *Informe técnico sobre aspectos sísmológicos del terremoto en El Salvador, del 19 de junio de 1982*. Centro de Investigaciones Geotécnicas, Ministerio de Obras Públicas, San Salvador.
- Ambraseys, N.N. y R.D. Adams (1996). *Reappraisal of large Central American earthquakes 1898-1994*. ESEE Research Report No. 96-2, Imperial College, Londres.
- Bertero, V.V. (1994) Major issues and future directions in earthquake-resistant design. Proceedings, Tenth World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, vol.11, 6407-6444.
- Bommer, J.J. y N.N. Ambraseys (1989). *The Spitak (Armenia, USSR) earthquake of 7 December 1988: a summary engineering seismology report*. Earthquake Engineering and Structural Dynamics.
- Bommer, J.J., D.A. Hernández, J.A. Navarrete y W.M. Salazar (1996). *Seismic hazard assessments for El Salvador*. Geofísica Internacional.
- Bommer, J.J. y S.R. Ledbetter (1987). *The San Salvador earthquake of 10th October 1986*. Disasters.
- Coburn, A. y R. Spence (1992). *Earthquake protection*. Wiley.
- Dowrick, D.J. (1987). *Earthquake resistant design for engineers and architects*. Second edition, Wiley.
- Durkin, M.E. (1987). *The San Salvador earthquake of October 10, 1986 - casualties, search and rescue, and response of health care system*. Earthquake Spectra.
- Elnashai, A.S., J.J. Bommer y A.Y. Elghazouli (1989). *The Loma Prieta (Santa Cruz, California). Earthquake of 17 October 1989*. ESEE Research Report No. 89-11, Imperial College, Londres.
- Faccioli, E., C. Battistella, P. Alemani y A. Tibaldi (1988). *Seismic microzonning investigations in the Metropolitan Area of San Salvador, El Salvador, following the destructive earthquake of October 10, 1986*. Proceedings, International Seminar on Earthquake Engineering, Universität Innsbruck, Austria.
- Fournier d'Albe, E. (1988). *An approach to earthquake risk management*. Engineering Structures.
- Grases, J. (1994). *Terremotos destructores del Caribe 1502-1990*. UNESCO-RELACIS, Montevideo, Uruguay.
- Harlow, D.H., R.A. White, M.J. Rymer y A. Alvarez G. (1993). *The San Salvador earthquake of 10 October 1986 and its historical context*. Bulletin of the Seismological Society of America.
- Lara, M.A. (1987). *History of construction practices in El Salvador*. Earthquake Spectra.
- Lardé, J. (1960). *Historia sísmica y erupcio-volcánica de El Salvador: documentación histórica, crítica y conclusiones*. Obras Completas, Tomo I, Ministerio de Cultura, San Salvador.
- Lomnitz, C. y R. Schultz (1966). *The San Salvador earthquake of May 3, 1965*. Bulletin of the Seismological Society of America.
- Lungo, M., F. Oporto y R. Chinchilla (1996). *Proceso de urbanización y sostenibilidad en El Salvador*. PRISMA, 17.
- Martínez, M. (1980). *Cronología sísmica y eruptiva de la República de El Salvador a partir de 1520*. Centro de Investigaciones Geotécnicas, Ministerio de Obras Públicas, San Salvador.
- Montessus de Ballore, F. (1884). *Temblores y erupciones volcánicas en Centroamérica*. San Salvador.
- PRISMA (1995). *El Salvador: Dinámica de la degradación ambiental*. San Salvador.
- Ronseblueth, E. (1965). *The San Salvador earthquake of 3 May 1965*. Informe de Ingeniería Sísmica para UNESCO.
- Rymer, M.J. (1987). *The San Salvador earthquake of October 10, 1986 - geologic aspects*. Earthquake Spectra.
- Rymer, M.J. y R.A. White (1989). *Hazards in El Salvador from earthquake-induced landslides*. Brabb y Harrod eds., Landslides: extent and economic significance, Balkema, Rotterdam.
- Schmidt-Thomé, M. (1975). *The geology in the San Salvador area (El Salvador, Central America): a basis for city development and planning*. Geologisches Jahrbuch. Hannover, Alemania.
- Singh, S.K., C. Gutierrez, J. Arboleda y M. Ordaz (1993). *Peligro sísmico en El Salvador*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Publicaciones Especiales



Boletín PRISMA

9. Crisis de la Economía Rural y Medio Ambiente en El Salvador
10. Ajuste Estructural, Crecimiento Económico y Medio Ambiente en El Salvador
11. Población, territorio y medio ambiente en El Salvador
12. Problemas ambientales, gestión urbana y sustentabilidad del AMSS
13. Gobernabilidad y desarrollo: La visión del Banco Mundial y del BID
14. El Banco Mundial, el BID y la reforma económica en Centroamérica
15. Los retos del desarrollo sostenible y la reforma del Banco Mundial y del FMI
16. Restricciones para el desarrollo forestal y la revegetación en El Salvador
17. Proceso de urbanización y sostenibilidad en El Salvador

PRISMA

PROGRAMA SALVADOREÑO DE INVESTIGACIÓN
SOBRE DESARROLLO Y MEDIO AMBIENTE

Directora: Deborah Barry Editor: Herman Rosa

PRISMA opera como centro de investigación aplicada sobre temas de desarrollo y medio ambiente en El Salvador, con un enfoque que enfatiza los aspectos institucionales y sociales del proceso de desarrollo, así como las interrelaciones entre la dimensión local, nacional e internacional, en dicho proceso.

A partir de esa visión, PRISMA trabaja por una mejor comprensión de la relación intrínseca entre los problemas del desarrollo y del medio ambiente en nuestro país. Asimismo, promueve una mayor transparencia y participación social en la formulación de las políticas y proyectos de desarrollo impulsados por la cooperación inter-

3a. Calle Poniente No. 3760, Col. Escalón, San Salvador.
Dirección Postal: Apartado 01-440, San Salvador, El Salvador, C.A.
International Mailing Address: VIP No. 992, P.O. Box 52-5364, Miami FLA 33152, U.S.A.

E-Mail: prisma@es.com.sv
Tels./Fax: (503) 298-6852
298-6853 y 223-7209