

La planificación urbana en zonas sísmicas: La normativa de zonificación y la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones

L. TERESA GUEVARA P., PH.D.

PROYECTOS V&G. VENEZUELA

En las ciudades ubicadas en zonas sísmicas, los planificadores urbanos han considerado tradicionalmente que la reducción de los efectos de los sismos es responsabilidad de los ingenieros estructurales y que se restringe a la aplicación de normas para el diseño y construcción de edificaciones sismorresistentes, como unidades aisladas. Debido a ello, en la planificación y diseño urbanos no se han tomado en cuenta los aspectos que conciernen a la reducción del riesgo ante eventos sísmicos, y a las consecuencias que se pudieran derivar de los lineamientos establecidos en la normativa de zonificación.

En este sentido, se exponen en este artículo la combinación entre dos enfoques, uno relativo a las disposiciones relacionadas con la reducción de dicho riesgo en el diseño y la planificación urbanos y el otro con los aspectos de diseño arquitectónico que influyen en la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones.

LA CIUDAD IBEROAMERICANA Y EL RIESGO EN ZONAS SÍSMICAS

Las ciudades de Iberoamérica presentaron un notable crecimiento durante el siglo XX debido a la concentración de actividades administrativas y financieras en las áreas urbanas y al éxodo que se produjo hacia estas áreas de las poblaciones rurales que buscaban mejores oportunidades de trabajo y nuevas condiciones de vida.

Este crecimiento vertiginoso de las ciudades trajo como consecuencia, entre otros: (a) procesos

de urbanización de terrenos no urbanizables sin medir los efectos geotécnicos; (b) la aparición de grandes áreas de asentamientos habitacionales «espontáneos» o «de crecimiento descontrolado» ubicados generalmente en terrenos no aptos para ser urbanizados y con graves problemas geotécnicos; (c) la saturación de los servicios públicos; (d) la construcción de vías rápidas y la saturación vehicular; (f) la utilización de tecnologías modernas de construcción que fueron cambiando rápidamente debido a los avances constantes en el desarrollo de nuevos sistemas constructivos y el descubrimiento y producción industrial de nuevos materiales; y (e) la construcción de edificios de vivienda y de oficinas de mediana y gran altura para sacar el mayor provecho a las costosas tierras urbanas.

La tendencia que dominó en el crecimiento de las áreas urbanas «controladas» de estas ciudades de América Latina durante el siglo xx, respondió a modelos ideales importados que no correspondieron a los diferentes contextos donde se aplicaron. Se incorporaron las nuevas tendencias urbanas y arquitectónicas de la modernidad y el avance de la tecnología del hormigón armado, la transformación de los sistemas estructurales y el acelerado crecimiento en altura de las edificaciones. Tanto los planes urbanos como la normativa para su aplicación, desarrollados para estas ciudades en crecimiento, se centraron en el diseño y construcción de las edificaciones como elementos individuales y no en el diseño del espacio urbano correspondiente a la interacción entre estos elementos y su contexto natural.

La unión de estos factores convirtió a las ciudades en un conjunto de construcciones heterogéneas con una estructura urbana compleja, muy difícil de entender, que puso en evidencia la ineficiencia de los métodos tradicionales para gobernar y controlar un crecimiento urbano ordenado y acorde con las condiciones locales.

El riesgo en los planes urbanos

La mayor parte de las ciudades de los países de América Latina y del Caribe están ubicados en zona de media y alta actividad sísmica, con lo que este crecimiento acelerado y descontrolado trajo como consecuencia un aumento del riesgo. Es así como durante el siglo xx se produjeron muchos desastres en las ciudades de esta región debido a los sismos.

Se tiene la creencia que por tener normas para el diseño y construcción de edificaciones sismorresistentes es suficiente para reducir dicho riesgo. Las normas para edificaciones sismorresistentes también tuvieron un desarrollo muy acelerado durante el siglo xx y el estado del conocimiento en el que se basan dichas normas sufrió modificaciones significativas en períodos de tiempo muy corto. Es así como en una misma ciudad se pueden encontrar edificaciones que correspon-

den a normas desarrolladas en diferentes épocas que representan cada una de ellas una versión diferente del estado del conocimiento de la ingeniería sismorresistente. Por lo que edificaciones que en el momento de su construcción cumplieron con la normativa sismorresistente vigente, pudiera ser que no cumplieran con las normas actualizadas y, por tanto, con el estado del conocimiento más reciente. Es importante mencionar que las normas sismorresistentes son generalmente recomendaciones mínimas de competencia nacional en las que se aclara que la aplicación, adaptación y control del cumplimiento será competencia de las autoridades locales. También se cree que la responsabilidad de reducir dicho riesgo es exclusividad de los ingenieros estructurales, pero desde el Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales (DIRN) declarado por las Naciones Unidas de 1990 a 1999, se reconoció internacionalmente que es una responsabilidad multi e inter disciplinaria.

Hay que tener en cuenta que las edificaciones que conforman una ciudad, no sólo tienen diferentes edades sino que responden a una gran gama de usos, materiales y técnicas constructivas; desde las utilizadas en los tiempos antiguos, hasta las estructuras más modernas que utilizan técnicas recientemente desarrolladas. Por lo tanto, en zonas sísmicas, es difícil establecer un «receptario» que contenga todas las soluciones posibles para la reducción de la vulnerabilidad de las edificaciones y, por tanto, del riesgo en el sistema urbano.

Los sismos son inevitables y por ahora, impredecibles. Pero, de acuerdo con el estado del conocimiento actual en las ciencias y disciplinas vinculadas con los sismos lo que sí se puede evitar, o reducir notablemente, son los efectos producidos por estos eventos naturales en los elementos que conforman una ciudad. Es decir, conociendo la amenaza local, reduciendo la vulnerabilidad de las construcciones y desarrollando planes para la mitigación del riesgo se puede reducir el número de víctimas humanas, de damnificados, de pérdidas económicas, de da-

ños a los servicios públicos y tantas otras consecuencias que convierten a los sismos en desastres.

Existen algunos ejemplos de inclusión de consideraciones para reducir el riesgo en los planes urbanos, pero en general, pocas han sido las medidas de este tipo que se han tomado a escala municipal en la mayoría de las ciudades de América Latina. Por el contrario, la normativa de zonificación vigente en la mayoría de estas ciudades estimula la utilización de configuraciones arquitectónicas que contribuyen a aumentar la vulnerabilidad de las edificaciones ante las fuerzas producidas por los sismos.

La estructura del sistema urbano

Desde el punto de vista administrativo se consideró relevante tener en cuenta que la variedad y complejidad de la interacción entre los diferentes componentes de las ciudades modernas y la diversidad de escalas de intervención urbanística, han producido muy a menudo, dificultades y confusiones en la identificación de: los ámbitos de actuación de los actores involucrados y de las acciones que deben llevar a cabo; los alcances y contenidos de los planes urbanos; y la aplicación de los instrumentos de análisis, evaluación y control involucrados en la planificación, manejo y control del sistema urbano.

Indica la urbanista M. E. Gómez (1996):

«La naturaleza compleja y abierta del sistema urbano, le imprime un alto grado de interconexión a las acciones que sobre él inciden y dificulta enormemente el establecimiento de límites precisos entre las diferentes escalas de intervención. Evidentemente, todas las intervenciones en el espacio urbano comparten su misma naturaleza urbanística y, por lo tanto, el objetivo común de dar respuesta a los requerimientos de las actividades humanas en el ámbito de la ciudad, para mejorar la calidad de vida del hombre.»

A pesar de esta superposición de objetivos generales y la necesaria coincidencia de metodologías

de estudio y cursos generales de acción, se acepta la existencia de tres niveles de intervención urbanística; 1 Planificación Urbanística, actividad orientada a la planificación y diseño del espacio bidimensional de la ciudad; 2 el Diseño Urbano, actividad orientada a la planificación y el diseño del espacio tridimensional de la ciudad y sus sectores; y 3 la Arquitectura, actividad orientada a la planificación y el diseño de las edificaciones de la ciudad.»

La identificación de estas tres categorías de procesos de intervención urbanística, permitirían establecer los mecanismos y los agentes pertinentes para la aplicación en cada una de estas categorías de los instrumentos específicos de análisis, los ámbitos de actuación, las responsabilidades, los alcances y los contenidos de los planes para la mitigación del riesgo.

Así, a través de la planificación urbanística se podrían establecer, por ejemplo, las zonas pertinentes y las no recomendables o prohibidas para la ubicación de las edificaciones esenciales. A través del diseño urbano se podrían establecer, por ejemplo, las alturas de las edificaciones de acuerdo con las propiedades dinámicas de los suelos y las medidas para evitar que donde existan muros urbanos se golpeen las edificaciones unas con otras. El último nivel sería el utilizado para incorporar las recomendaciones y restricciones con referencia a la configuración de las edificaciones.

Uno de los instrumentos que permitiría la incorporación de las disposiciones para la reducción del riesgo y su correspondiente aplicación sería la "normativa de zonificación" que es el conjunto de instrumentos pasivos para la aplicación de los planes de ordenamiento urbano propuestos para la ciudad, mediante los cuales se establecen dentro de ésta, sectores clasificados por el tipo edificabilidad, mediante una distribución en orden y jerarquía, de usos y funciones. La normativa de zonificación contiene una serie de disposiciones para la organización y reglamentación de la ocupación, o uso, del suelo en una ciudad.

El ordenamiento jurídico de las ciudades, lo constituyen fundamentalmente la normativa primaria de zonificación, existiendo además un conjunto de instrumentos particulares referidos a ámbitos específicos de la ciudad; así como los planes de desarrollo aprobados para áreas urbanas específicas y numerosos acuerdos y decretos que reglamentan la forma de las edificaciones y los espacios públicos: calles, avenidas, plazas y otros elementos urbanos. Existen también instrumentos normativos que regulan terrenos determinados dispersos dentro del contexto urbano, como aquellos que se refieren específicamente a las condiciones naturales de estabilidad y resistencia del suelo.

MODELO CONCEPTUAL PARA EL DESARROLLO DE POLÍTICAS PARA LA MITIGACIÓN DEL RIESGO A TRAVÉS DE LA NORMATIVA URBANA

En el proceso de diseño de políticas, a diferencia de los comunes procesos que buscan remediar problemas a través de prácticas tales como la de prueba y error, no se actúa directamente sobre el objeto en cuestión (haciendo una prueba y viendo si lo realizado fue un logro o un error) sino que se trabaja a través de la elaboración de modelos que representan el objeto, en este caso la política urbana para la reducción de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones.

En el desarrollo de este modelo se ha considerado que el diseño y puesta en práctica de políticas para la mitigación del riesgo a través de la normativa urbana es un proceso di-

námico; es decir, que debido al alto grado de incertidumbre que existe, tanto en la predicción de la ocurrencia y de la dimensión de los sismos que pueden afectar la ciudad en cuestión, como en la información existente sobre la evolución de la normativa urbana y sobre las características de las edificaciones existentes, dichas políticas deben ser permanentemente evaluadas y revisadas de acuerdo a los avances del estado del conocimiento y de las experiencias obtenidas.

Este modelo y sus partes o sub-modelos ilustrarán los ítems que se deben tomar en cuenta y las interrelaciones entre ellos con respecto al caso particular de cada ciudad.

Como marco de referencia metodológico se ha tomado como base el modelo conceptual desarrollado por Guevara, L.T. (1998a) para el proyecto «Una concepción global sobre el diseño de políticas para la gestión y control de los riesgos ante eventos naturales GCREN en Valencia, Venezuela». De dicho modelo se tomaron para este artículo solamente aquellos conceptos relacionados con los sismos y con la elaboración de planes urbanos. Para mayores detalles de este modelo se puede consultar Guevara, L.T. (1999) «Una concepción global sobre el diseño de políticas para la gestión y control de los riesgos ante eventos naturales en una ciudad GCREN».

Antes de entrar a describir el modelo y la estructura de cada una de sus partes, se ha incluido la definición de varios conceptos relacionados con el riesgo de desastres en áreas urbanas ubicadas zonas sísmicas, utilizados en este proceso.

El riesgo

Se define como **riesgo** la probabilidad de que en un lugar y durante un período de tiempo particulares puedan producirse pérdidas humanas y materiales como consecuencia de un **sismo**. Estas pérdidas probables se pueden expresar en unidades monetarias, número de víctimas o cantidad de componentes físicos dañados.

Los estudios realizados en los últimos 35 años sobre los daños ocasionados por los sismos en diversas ciudades, identificaron una relación muy

estrecha entre la concentración y dimensión de los daños y las características del suelo en donde estaban ubicadas las estructuras dañadas. De allí que se haya determinado que los efectos de los sismos son una función de las aceleraciones que se producen en el suelo debido al sismo (amenaza sísmica) y de la capacidad que tienen las construcciones para resistir estas aceleraciones sin daño permanente (vulnerabilidad sísmica).

La evaluación del riesgo en una ciudad se hace teniendo en cuenta tanto las características de los sismos probables y el comportamiento del suelo local para cada uno de ellos durante un período de tiempo y un lugar en particular (grado de amenaza), como la capacidad de respuesta que el conjunto de componentes expuestos tiene para resistirlo y para recuperarse posteriormente (grado de vulnerabilidad). El **riesgo** es por lo tanto una función de la **amenaza** sísmica y de la **vulnerabilidad** de los componentes expuestos.

La amenaza sísmica

La amenaza sísmica forma parte de lo que se ha denominado una **amenaza natural** que se define como un peligro latente asociado a un evento natural de una cierta dimensión, con una alta probabilidad de manifestarse en un sitio específico y en un tiempo determinado, produciendo efectos adversos, entre otros, a las personas, a las estructuras, a los servicios y al ambiente natural.

No necesariamente un evento natural es una potencial amenaza para una ciudad. Por ejemplo, una lluvia con un determinado volumen de agua inusual, para una ciudad en pendiente podría no pasar de ser más que un servicio extra de limpieza de sus calles. Ese mismo volumen de agua para una ciudad plana sin buenos drenajes podría producir una inundación y por lo tanto una situación de desastre.

La **amenaza sísmica** se define entonces como evento sísmico de una cierta dimensión, con una alta probabilidad de manifestarse en un sitio específico y en un tiempo determinado, produciendo efectos adversos, entre otros, a

las personas, a las estructuras, a los servicios y al ambiente natural que están expuestos a éste.

La **amenaza sísmica** esta asociada con la actividad sísmica de la región y con sismos lejanos que por sus propias características y las del suelo local pudieran afectar esta región.

La macrozonificación sísmica

Uno de los factores más importantes para definir la amenaza sísmica es el pronóstico de las características y recurrencia de los sismos probables que pueden afectar la región en estudio. Este pronóstico se puede hacer por métodos **probabilistas** o **deterministas**, es decir, a través de análisis estadísticos o de investigaciones más precisas, generalmente logrados de estudios a largo plazo.

La información referente a la actividad sísmica regional se encuentra en los mapas de macrozonificación sísmica en los que se definen los diferentes grados de amenaza de zonas con características similares; estos mapas generalmente se encuentra en las normas para edificaciones sismorresistentes pues en ellos se incluye información que se tomará para el cálculo de la fuerza estimada que las estructuras resistirán en su base, llamada **fuerza basal**.

La microzonificación sísmica

Los efectos producidos en la superficie del suelo local por un sismo es otro factor que se toma en cuenta para determinar el comportamiento de una edificación como consecuencia de un sismo.

Los parámetros básicos que identifican las propiedades dinámicas de los diferentes suelos de una ciudad permiten dividir la ciudad en diferentes zonas. Cada zona agrupará suelos con comportamiento similar, produciéndose así una **microzonificación** que incluirá las características de cada uno de los tipos de suelo y el comportamiento de éstos ante un sismo probable. Es así como se generan mapas de la distribución geográfica de las intensidades sísmicas probables ante diversos escenarios.

La microzonificación sísmica se utiliza principalmente con el objetivo de brindar información para reducir el riesgo ante la ocurrencia de un sismo mediante el proceso de determinación de la amenaza sísmica local que permitirá diseñar y construir estructuras apropiadas para el tipo de suelo donde están ubicadas reduciendo así las probabilidades de daños que un sismo podría ocasionar.

La microzonificación sirve como instrumento para: (a) Establecer parámetros para el diseño de nuevas edificaciones; (b) Identificar las áreas apropiadas para la ubicación de nuevas edificaciones esenciales (edificaciones hospitalarias, escolares, de telecomunicaciones, cuarteles de bomberos, etc.) y líneas vitales (plantas de energía, acueductos, redes de servicios, agua, luz, gas, etc.); (c) evaluar las condiciones sismoresistentes de las edificaciones existentes en la zona para la estimación de los diferentes niveles de vulnerabilidad; (d) estudiar el potencial probable de daño para elaborar Planes de Contingencia para un eventual sismo, basados en datos tales como: el estudio de la distribución probable de daños y de víctimas en la zona, los grados de vulnerabilidad para determinar la posible disponibilidad de: las vías, los centros de salud y los centros alternativos para utilizar en caso de emergencia, tales como escuelas, parques y estadios, las vías de acceso, las instalaciones esenciales y otros.

La vulnerabilidad sísmica

Se define como la capacidad que tienen los componentes de la ciudad, tales como la población, las estructuras, la infraestructura urbana y otros, para resistir los efectos de un sismo probable al que están expuestos.

Las normas vigentes en el ámbito internacional para el diseño y construcción de edificaciones sismorresistentes, o **normas sísmicas**, contienen requerimientos y recomendaciones que permiten construir edificaciones más seguras y evaluar con mayor precisión las edificaciones existentes. Su objetivo por lo tanto es reducir la vulnerabilidad sísmica. Pero hay que tener

en cuenta que como el estado del conocimiento sobre el comportamiento de las estructuras ante los sismos se va modificando aceleradamente en la medida en que se tiene más información y herramientas más precisas y rápidas para analizarla, también las normas se van modificando. Por ello hay que estar al tanto de las modificaciones que se incorporan para aplicarlo en el diseño y construcción, tanto de nuevas edificaciones como en la remodelación y actualización de las existentes.

FORMULACIÓN Y DESARROLLO DEL MODELO

En el modelo propuesto se establece que todo proceso de diseño, no importa el tipo o magnitud del objeto considerado, está siempre caracterizado por la resolución de un problema, es decir, la búsqueda de los medios más adecuados para que una **situación existente** que se considera **insatisfactoria** logre ser subsanada en sus aspectos negativos o patológicos de manera de alcanzar una **situación deseada** (Rittel H. 1969 y 1973). Existe una contraposición entre dos estados o situaciones: **lo que es**, identificado como **situación existente o real** y que queremos modificar; **lo que debe ser**, identificado como **situación deseada o ideal**. La constatación de esta discrepancia evidencia la existencia del problema, lo que motiva a buscar cómo resolverlo y, por lo tanto, se procede a diseñar una solución que se acerque lo más posible a la situación deseada o ideal prefigurada.

Este proceso de diseño de políticas no es un proceso lineal sino que es un constante y dificultoso proceso de argumentación y contrargumentación y negociación, hasta «darse por satisfecho» con lo planteado o propuesto.

En este modelo el objeto de diseño es una política **para la mitigación del riesgo a través de la reducción de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones en la normativa urbana.**

Se presenta en la figura 1 el gráfico que ilustra el modelo conceptual global desarrollado para el proyecto «Una concepción global sobre el diseño de políticas para la gestión y control de los riesgos ante eventos naturales GCREN en Valencia, Venezuela», que se ha tomado como base teórica. Posteriormente se describirá brevemente cada uno de los elementos de dicho modelo, aplicado al tema que se está tratando en este artículo. Este esquema metodológico es una simplificación de un proceso que para cada caso, siempre e irremediablemente, será único, complicado (por el conflicto de intereses) y cargado de argumentaciones y resoluciones.

En este gráfico se han incluido tres bloques principales: (1) El sistema para la (re)olución de problemas, (2) la selección de la política de riesgo y (3) el Sistema de Información Geográfica (SIG) que dará apoyo instrumental a los dos grupos anteriores.

Sub-modelo: El sistema para la (re) formulación de problemas

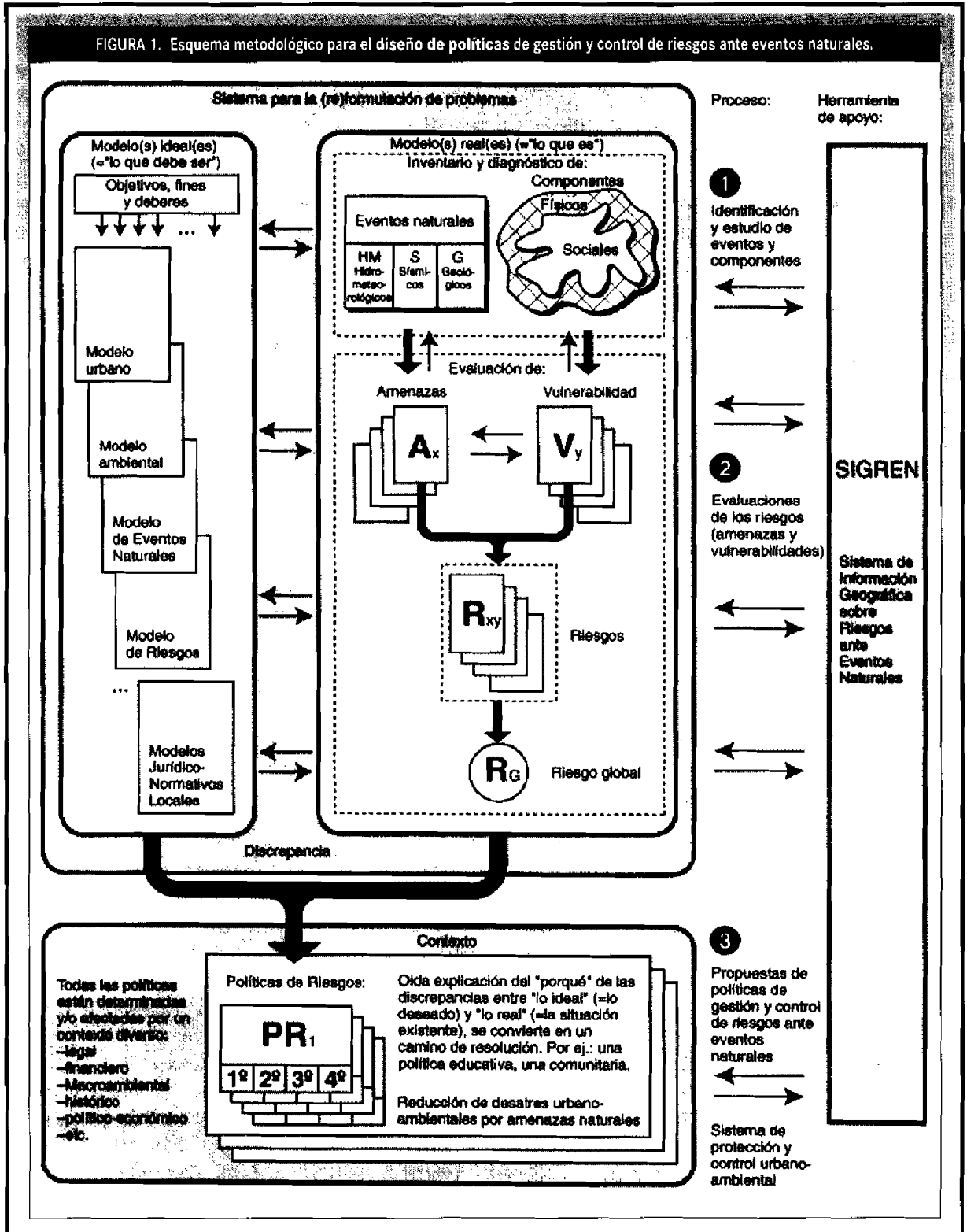
El bloque mayor del gráfico está a su vez dividido en dos: Por una parte los ítems que corresponden a la situación real o existente (lo que es) que contiene la secuencia para determinar el riesgo global de una ciudad a partir del conocimiento de las amenazas diversas (destacando la sísmica) y las vulnerabilidades diversas (destacando la sísmica de las edificaciones); por la otra los ítems que corresponden a la situación ideal o deseada (lo que debe ser) corresponden a la escogencia y aplicación de las teorías sustantivas para establecer los modelos ideales pertinentes al proyecto de mitigación del riesgo ante eventos naturales que en este caso se aplicará a **la reducción de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones a través de la normativa urbana**. Ellas surgen de la necesidad de satisfacer los objetivos y fines del proyecto de diseño.

Una lista preliminar nos aporta las siguientes actividades que habría que tomar en cuenta para la elaboración del sub-modelo:

- Formulación de los objetivos generales y particulares para el diseño de esta política.
- Con base en los objetivos formulados, selección o desarrollo de los modelos específicos para la mitigación del riesgo a través de la reducción de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones en la normativa urbana (teorías generales y particulares) sobre aspectos concretos, por ejemplo, los elementos de la normativa urbana relacionada con los aspectos ambientales, sismorresistentes, de zonificación, etc.
- Definición, priorización y selección de las zonas de estudio y diagnóstico de las edificaciones en las zonas seleccionadas.
- Establecimiento de los patrones para **evaluar** la posible recurrencia y **definir** las características de la **amenaza sísmica** para la ciudad en estudio.
- Establecimiento de los patrones, criterios, relevancias, etc., que deben ser incorporados en la normativa urbana para **evaluar** la posible **vulnerabilidad** de las edificaciones de la ciudad, ante la **amenaza sísmica** identificada en el paso anterior.
- Evaluaciones preliminares por una parte de la **amenaza sísmica** y, por la otra, de la **vulnerabilidad sísmica** de las edificaciones en las zonas de la ciudad seleccionadas.
- Establecimiento de los *patrones, criterios, relevancias*, etc., que deben ser incorporados en la normativa urbana para **evaluar** el riesgo ante la **amenaza sísmica** identificada anteriormente.
- Estimación del riesgo al que está expuesta la ciudad.

Las actividades incluidas en la lista preliminar se han organizado en los dos grandes grupos. El desarrollo de cada uno se realiza analizando la interacción entre ellos para luego establecer la discrepancia entre ambos y determinar la dimensión y características del problema a resolver. Este primer conjunto ordenado e identificado de ítems conforma **el Sistema para la (re)formulación de problemas de la ciudad**.

FIGURA 1. Esquema metodológico para el diseño de políticas de gestión y control de riesgos ante eventos naturales.



Los modelos ideales: «lo que debe ser»

En el desarrollo de todo proyecto para el diseño de políticas se debe comenzar estableciendo los **objetivos** que se desea alcanzar con dicho proyecto. El objetivo general del cual se derivan los objetivos particulares prefigura la situación que se desea alcanzar o «la situación ideal». Es decir, que se desea modificar una situación existente indeseable «lo que es» y lograr una situación deseable «lo que debe ser». Aplicándolo al caso en particular que se propone, la situación deseable sería que a través de la normativa urbana se logre establecer unas guías para el diseño y la planificación que permita reducir la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones y por ende el riesgo a que se produzca un desastre debido a sismos probables.

Los objetivos particulares se han agrupado, de acuerdo a sus respectivos propósitos, en dos grandes tipos: los «**finés**» y los «**deberes**».

Los **finés** se refieren a los criterios o parámetros que permitirán determinar si el plan y su puesta en práctica terminó siendo «valiosa» o no. Es decir: la efectividad de las políticas. Los fines pueden establecerse y alcanzarse en concordancia con la formulación y aplicación de «reglas». Ejemplos de estos tipos de objetivos-fines (y su derivación en reglas) se encuentran en las ordenanzas de zonificación y en las normas técnicas de construcción.

Los **deberes** se refieren a los principios, a criterios de importancia que fundamentalmente son de carácter ético. Se refieren a aspectos que son sólo «más o menos aplicables», que los agentes involucrados consideran apropiados a las circunstancias de una futura situación real. Están supeditados a interpretaciones diversas, y a veces hasta contradictorias. Un ejemplo de ello sería». Los próximos planes urbanos de la ciudad X deben tomar en cuenta la amenaza sísmica local para la definición y utilización de los diferentes tipos de edificaciones.

El *objetivo general* y los *objetivos particulares* deben formularse desde el inicio de un proceso

de diseño de políticas. Esto no es fácil. No lo es, en parte, porque en todo proceso de diseño al principio no se tiene todavía una idea clara y definitiva de qué es lo que se desea y cómo se la desea alcanzar. Es por ello que los objetivos preliminares irán afinándose a medida que se vaya desarrollando el plan definitivo.

Cada solución planteada es una respuesta (un subplan alterno) como un conjunto de explicaciones causales a la discrepancia específica que se esté considerando, siempre enmarcada en, o delimitada por, un contexto donde se aplicará la política. Es decir, actuará bajo un conjunto pertinente de limitaciones y determinantes.

El *contexto de la aplicación de la política* será un conjunto de determinantes y limitaciones que no necesariamente existen en el momento que se diseñe dicha política, sino que hay que predecirlas. El contexto sería aquel conjunto de variables cuyos valores afectarán al objeto pero que el diseñador no puede manipular ni controlar. Así, el *contexto* tiene que ser anticipado y detallado en la primera etapa del proceso, es decir, la del diseño de las políticas. Mientras más lejano en el tiempo se ubiquen el uso y su contexto, más difícil de predecir y detallar serán. La identificación temprana de este contexto permitirá que el prefigurado modelo ideal sea realista y factible.

Los modelos reales: «lo que es»

La definición del modelo real de «lo que es», es decir, la situación existente incluye una serie de aspectos que deben ser identificados, analizados, evaluados e interrelacionados para confrontarlos con los modelos ideales y poder establecer si existe la discrepancia. El modelo conceptual permite establecer las unidades básicas que definen el diagnóstico de la situación existente y, en ella, tanto los aspectos que se desean cambiar como aquellos otros que se quieren mantener.

Un aspecto clave de los modelos reales es el planteamiento de que el *Riesgo* ante un evento sísmico está directamente relacionado con la Amenaza sísmica del lugar y con la

Vulnerabilidad de los elementos expuestos a dicha amenaza sísmica.

A continuación se describen brevemente cada una de estas unidades.

La situación real

El gráfico que ilustra el modelo conceptual se inicia esta etapa con la transformación de los sismos en amenazas (As) y de los componentes de la ciudad (Cs) en elementos vulnerables ante los sismos que los amenazan.

Los sismos y los componentes de la ciudad

El primer paso consiste en realizar los inventarios para poder elaborar el diagnóstico. Se ha dividido la información en dos partes: los eventos naturales, de donde vamos a seleccionar solamente los sismos y los componentes de la ciudad que en este caso particular se referirá sólo a las edificaciones. Para los efectos de este artículo, sólo se desarrollarán los aspectos relacionados con los componentes físicos de la ciudad y dentro de ellos las edificaciones.

La identificación de los sismos probables que pudieran convertirse en una amenaza, así como los componentes de la ciudad, que pudieran ser afectados por estos eventos, constituyen la «materia prima» para una evaluación del riesgo.

Los **sismos** se definen como: fenómenos físicos que existen al margen de la voluntad humana y que no pueden ser evitados o modificados por la acción directa del hombre. Los sismos se originan por fallas activas en la región.

Un sismo por sí mismo no debería producir un desastre. En la medida que la vulnerabilidad de las estructuras es mayor, los sismos tienen probabilidades de ocasionar daños y se convierten en una *amenaza* para la zona potencialmente afectada.

Los **componentes de la ciudad**, están constituidos por:

- Los *componentes físicos*: representados por las estructuras artificiales, tales como las edificaciones, las obras civiles, las instalaciones

industriales, etc.; la infraestructura urbana, tal como las vías y los servicios públicos en general; y el ambiente natural, es decir, parques, ríos, bosques, lagos, suelos, etc.

- Los *componentes sociales*: representados por los elementos de los diferentes niveles socio-económicos de la población y sus organizaciones (entidades públicas y privadas, organizaciones no gubernamentales etc.), los cuales interactúan en diferentes momentos y a diferentes niveles, con los componentes físicos de la ciudad.

Los componentes de la ciudad por sí mismos no son vulnerables, sino que su **vulnerabilidad** depende, no sólo de sus características propias, sino del tipo de amenaza sísmica a la que está expuesto. Por ejemplo, un edificio flexible ubicado en un suelo blando que por un sismo pudiera producirse resonancia entre el suelo y la estructura y como consecuencia daños irreparables; ese mismo edificio en un suelo duro, tendría un comportamiento diferente.

Los inventarios

Para la realización de los inventarios, tanto de los sismos como de las edificaciones, es necesario saber qué información se va a buscar, dónde, por qué, para qué y cómo se va a utilizar. Es así como es necesario, para buscar la información que posteriormente va a ser útil para la propuesta del plan de política, establecer simultáneamente cuáles serían los parámetros que determinarían:

- Si un sismo puede producir daños a los componentes de la ciudad en estudio y, por lo tanto, convertirse en una **amenaza natural**.
- La capacidad que cada uno de los tipos de componentes tiene para resistir los efectos de un determinado EN y para recuperarse una vez pasado éste, es decir el grado de **vulnerabilidad** para una determinada amenaza.
- Los modelos ideales estarían preestablecidos en las leyes, normas técnicas, reglamentaciones, etc. los cuales se compararían con

ESTUDIO

los casos estudiados, para cada combinación de amenaza con vulnerabilidad. Por ejemplo, en el caso de las edificaciones en zonas sísmicas, habría que analizar, por una parte, qué normas técnicas corresponden al diseño de edificaciones en general (sanitarias, iluminación, bomberos, etc.) y por otra las que regulan el diseño de estructuras sismorresistentes. Estos modelos ideales establecen los patrones de comportamiento, con los que posteriormente se compararán los modelos reales para determinar si existen discrepancias entre ambos y así evaluar los niveles de riesgo.

- La forma en que se van recopilar, clasificar, almacenar y recuperar los datos obtenidos a través del SIG. Esta información permitirá realizar los **diagnósticos** preliminares como se esquematiza en la figura 2.

Ninguno de los dos tipos de situaciones, ideal o real, se formula al margen de la otra. Así el desarrollo progresivo de los modelos de lo ideal y lo real es en paralelo e interactivo.

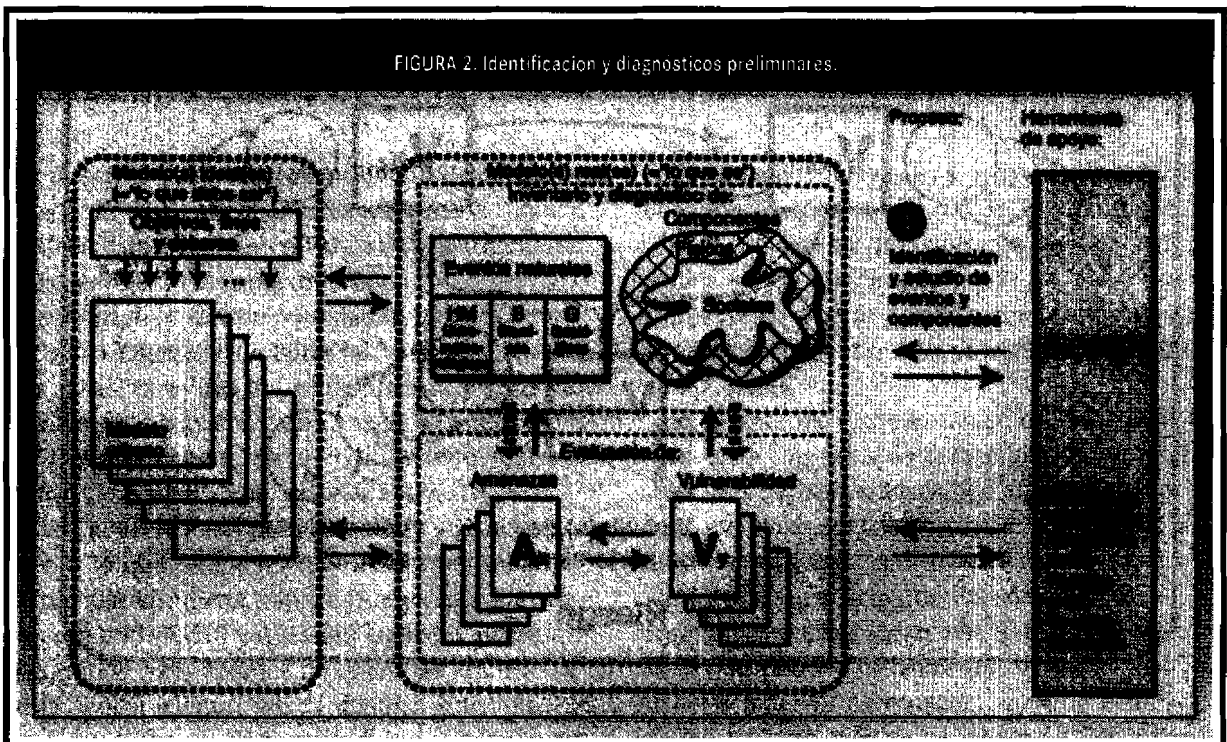
Evaluación del riesgo de desastre ante eventos naturales: Amenazas naturales y vulnerabilidad de los componentes de la ciudad

En esta sección se explican los conceptos relacionados con la evaluación del riesgo de **desastre ante sismos** en general y de la ciudad en particular. Se explica la transformación de los eventos naturales (EN) en amenazas naturales (AN) y de los componentes de la ciudad (CC) en elementos vulnerables (EV) ante los EN que los amenaza.

Teniendo como base el modelo de diseño propuesto por Horst Rittel (1969) los diferentes tipos de variables (de contexto, de diseño y de comportamiento) a ser tomadas en cuenta para la evaluación del diseño de un objeto, el riesgo, la amenaza y la vulnerabilidad pueden identificarse con cada uno de ellos, cuyo resultado es: (a) *Variables de comportamiento-Riesgo*; (b) *Variables de contexto-Amenaza*; y (c) *Variables de diseño-Vulnerabilidad*.

El *Contexto* sísmico ($V_{cont.}$) son aquellos factores que identifican la amenaza y son las que

FIGURA 2. Identificación y diagnósticos preliminares.



afectan o pueden afectar el objeto o conjunto de objetos a ser evaluados. Estos factores que conforman el contexto no están bajo el control de los diseñadores del objeto, es decir, no los podemos evitar pero hay que tomarlos en cuenta para diseñar un objeto apropiado para dicho contexto; ejemplo de estas variables sería: los sismos probables, el tipo de suelo, las características geofísicas y geomorfológicas del terreno, etc.

El **contexto sísmico** estará determinado por los sismos que probablemente pudieran ocurrir en la región amenazada, las características geodinámicas del suelo y la topografía del lugar. Si los componentes de la ciudad son vulnerables ante los sismos probables entonces éstos se definen como la amenaza o peligro sísmico.

Las **variables de diseño** (V_{dis}) estarían identificadas por los parámetros que identifican el grado de vulnerabilidad de los diferentes componentes de la ciudad. La vulnerabilidad se modifica manipulando las variables de diseño, es decir, el programa de espacios, los sistemas constructivos, la configuración, los materiales, etc. Sin embargo, no todos los espacios, materiales, configuraciones, etc. son manipulables o cambiables. En cada caso habrá que determinar, por ejemplo, cuáles espacios son «inalterables» (deviniendo *variable de contexto*) y cuáles espacios son «modificables» (se mantienen como *variable de diseño*).

La **vulnerabilidad sísmica de los componentes físicos** es generalmente más fácil de cuantificar en términos físicos y funcionales. Por ejemplo,

FIGURA 3. Modelo de la interacción entre Amenaza-Variables de contexto, Vulnerabilidad-Variables de diseño y Riesgo-Variables de comportamiento.

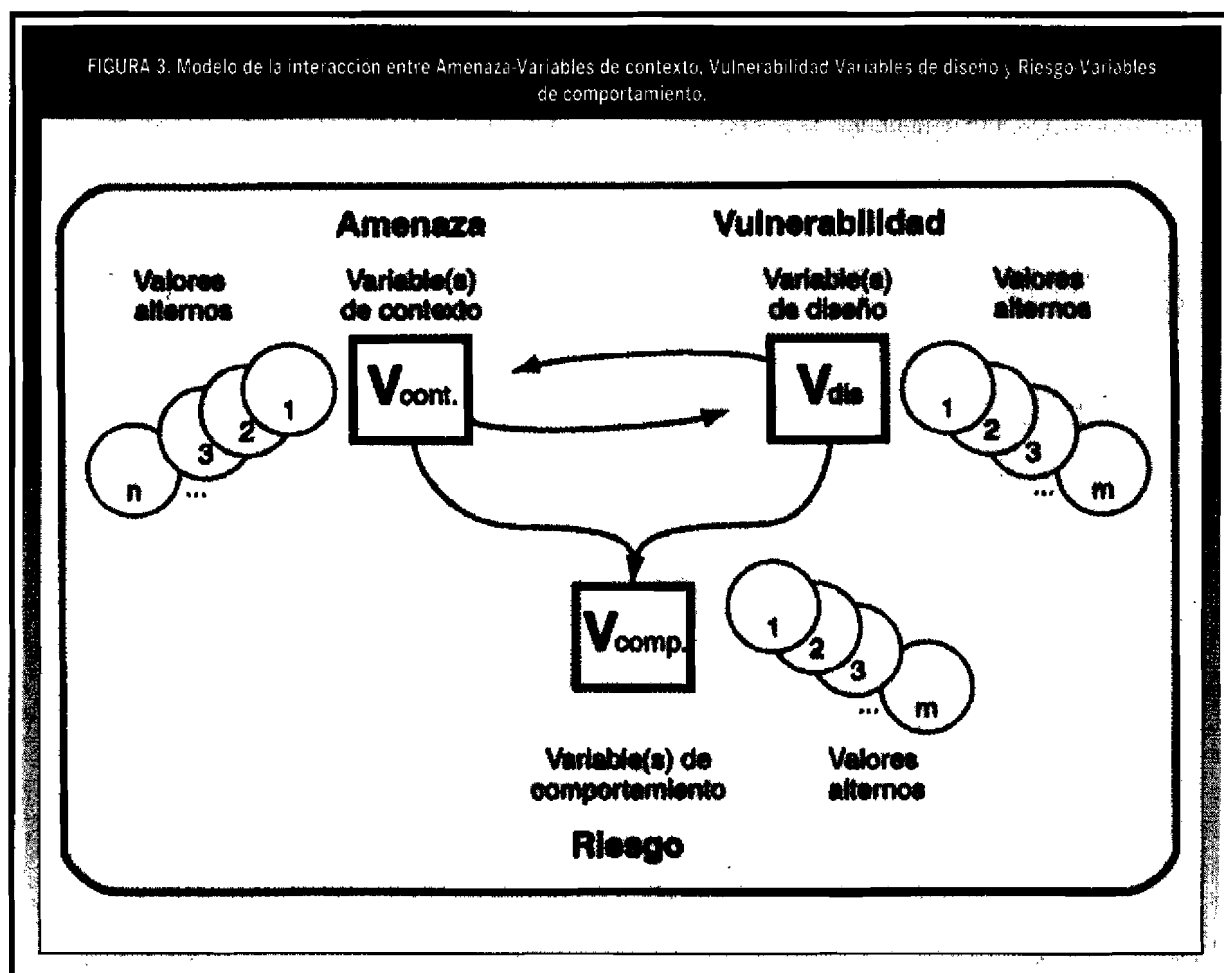
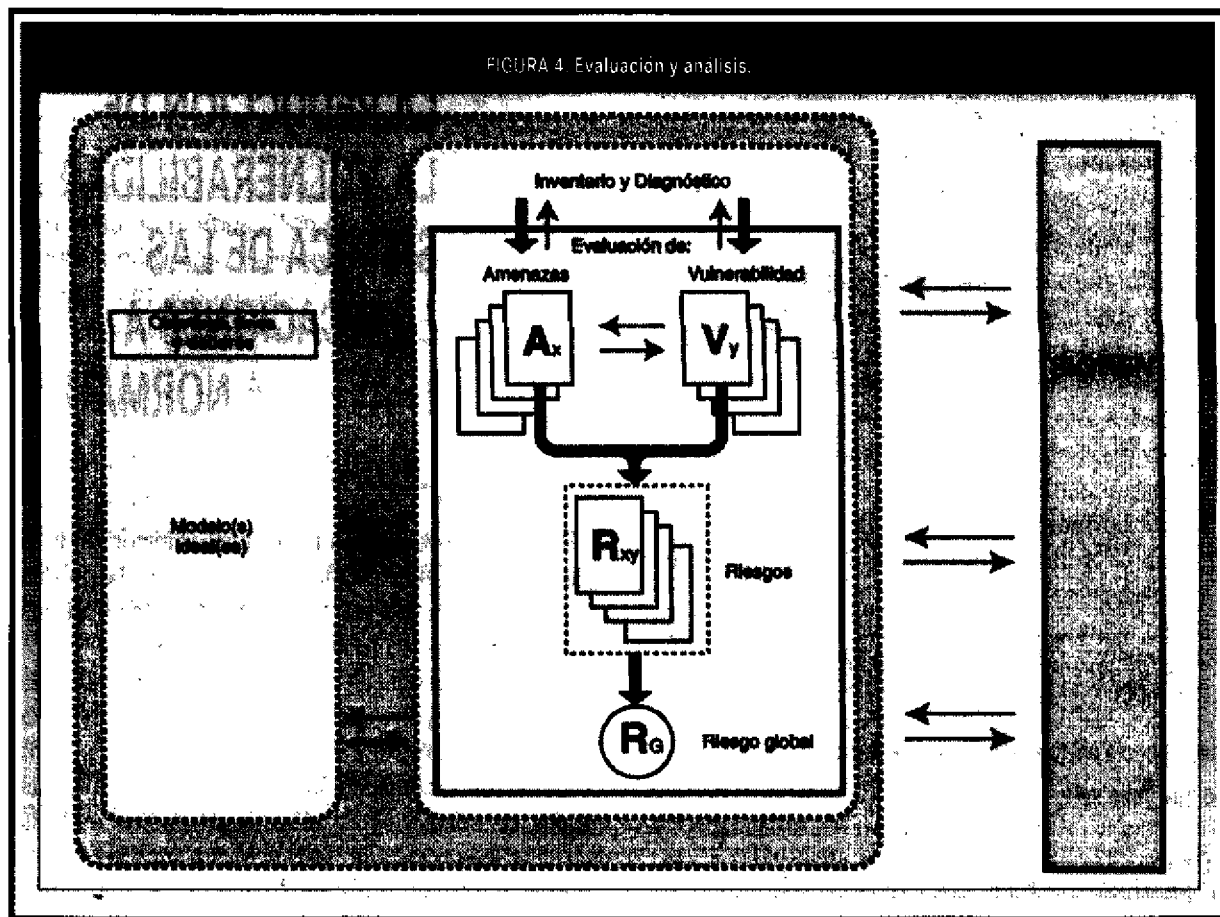


FIGURA 4. Evaluación y análisis.



con el estado del conocimiento actual en cuanto al diseño de estructuras sismorresistente, se puede predecir con bastante certeza el comportamiento de las edificaciones ante un sismo.

Las variables de comportamiento (V_{com}) representan la interrelación entre las variables anteriores. Estas variables se utilizan como los instrumentos de evaluación para medir la adecuación del comportamiento de las edificaciones para el contexto sísmico al que estarán expuestas.

Para la evaluación del riesgo hay que tener en cuenta lo que se mencionó anteriormente, ni un sismo por sí mismo implica que es una amenaza para una ciudad y que será causante de desastres, ni los componentes de la ciudad, en este caso las edificaciones, por sí mismos son vulnerables, sino que su vulnerabilidad depende, no

sólo de sus características propias, sino del tipo de amenaza sísmica a la que está expuesto.

Para cada sismo probable hay que determinar cuáles serían las características de cada tipo de componente que lo harían vulnerable y las propiedades del sismo que podrían dañar a dicho componente.

En el último ejemplo, cuando se hace el inventario con fines de determinar la vulnerabilidad de las edificaciones ante un sismo, habría que hacer énfasis en el sistema estructural, la altura, la esbeltez, la distribución de sus masas y rigideces, la ubicación de los componentes no estructurales y otros elementos que permitan determinar su período de vibración. Paralelamente, se debería tener la información sobre la estimación de las aceleraciones de los suelos locales ante sis-

mos probables. Posteriormente, cuando se vaya a hacer la estimación de riesgos de las edificaciones ante un sismo, esta información será fundamental.

Por lo tanto, para evaluar las posibilidades de un desastre, se debe analizar:

1. La evaluación de la amenaza sísmica en las diferentes zonas de la ciudad.
2. La evaluación de la vulnerabilidad de los componentes de la ciudad expuestos a dicha amenaza en las diferentes zonas de la ciudad.
3. La evaluación de la normativa de zonificación vigente
4. La definición de las áreas apropiadas para la ubicación y reubicación de edificaciones esenciales.
5. La evaluación de las líneas vitales que brindan servicios a las edificaciones esenciales.

Discrepancia entre «lo real o existente» y «lo que debe ser»

Si no hay discrepancia entre el ideal y lo real, entonces no hace falta invertir esfuerzos en diseñar ni buscar una nueva situación que se asemeje a la ideal, puesto que no hay necesidad de resolver ningún problema, porque éste no existe.

Una vez que se evidencia que sí existe el problema y suponiendo que todos los agentes involucrados en la resolución del problema o «proceso de diseño de las políticas» están de acuerdo con que realmente existe un problema y además que éste es lo suficientemente complejo como para invertir recursos y esfuerzos, entonces se pone en la «Agenda política». Es decir, existe un mínimo de consenso entre todos los agentes en cuanto a la formulación y descripción de cada situación, considerándose tales formulaciones y descripciones como adecuadas y suficientes (que no siempre es el caso). Se llega al acuerdo que hay que generar y analizar las diferentes posibilidades para resolver la discrepancia.

POLÍTICAS PARA LA REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LAS EDIFICACIONES A TRAVÉS LA NORMATIVA URBANA

El segundo bloque, en la parte inferior de la figura 1, es la generación y selección de la política para la mitigación de riesgo de desastre ante sismos probables en la ciudad en cuestión.

Las políticas, como un tipo particular de planes para la acción, son la materialización de fundamentos y desarrollos de la organización y conducción de las sociedades humanas o de secciones de ellas; cuya misión es la de canalizar la dirección que deben tomar las autoridades político-administrativas correspondientes, sobre los aspectos económicos, sociales, de infraestructura, etc., considerados en sus planes. Por lo general, son productos de la aplicación del conocimiento interdisciplinario (filosofía, economía, sociología, historia, derecho, ingeniería, urbanismo, arquitectura, antropología, medicina, etc.) interactuando con los agentes de los poderes social, económico, cultural, político, etc. del sector de la sociedad donde se formulan y aplican. Las políticas tienen que ver, entonces, con deberes y fines, sin dejar de lado la consideración de las instituciones de poder necesarias para ejecutar los planes propuestos. Así, las políticas, además de ser un medio para la consecución de unos fines (explícita e implícitamente formulados en el plan para la acción), son también un medio para la consecución o reafirmación de un poder determinado: favoreciendo unos intereses en detrimento de otros.

Pero, como todo problema de diseño, el de políticas puede tener muchas soluciones alternas. Entonces ¿cuál escoger y desarrollar? ¿Cómo saber cuál es la «mejor» opción? Estas preguntas, y la dificultad de responderlas con certidumbre, constituyen dos de los dilemas de todo proceso de diseño de políticas. Sin embargo, a pesar de la incertidumbre, hay que pronunciarse por una solución y siempre habrán dudas sobre «qué hubiera pasado si hubiésemos escogido otra de las soluciones posibles». La «solución» escogida será aquella que para un momento determinado bajo un conjunto de criterios, premisas e intereses específicos de unos agentes determinados, se considere y suponga que será la que se comportará mejor con unos recursos y bajo unas circunstancias. Es por estas inevitables incertidumbres que se habla de «resolución» más que de «solución» de diseño: como no hay una única solución, ni hay absoluta seguridad de que la «solución» escogida realmente resultará tal y cómo se espera y desea, la alternativa adoptada, desarrollada y ejecutada representa un «acuerdo», es decir, una **resolución** entre las partes involucradas, más que la «solución» clara y definitiva.

En esta etapa final del *proceso de diseño de las políticas*, consistente en **pronunciarse a favor de una política** que a través de la normativa urbana reduzca el *riesgo* (la **PR**) a que se produzca un desastre, a ser puesta en práctica, se requiere cumplir con:

- a) Disponer de suficientes «soluciones alternas», cada una enfatizando en ciertos aspectos e, inevitablemente, desfavoreciendo a otros (explicaciones causales de la discrepancia entre las dos situaciones, la real y la ideal).
- b) Evaluar, comparando las soluciones entre sí.
- c) Si es posible, evaluarlas detalladamente, para determinar cuál de ellas tiene el más alto valor global. Es decir, establecer cuál es la mejor, en qué y por qué.
- d) Adoptar esta solución como el «plan de resolución» cuyo contenido constituirá la PR.
- e) Desarrollar la solución.
- f) Ejecutar la solución.

El caso que nos concierne es el de establecer las disposiciones, o guías, de la envolvente urbana para reducir la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones mediante un conjunto de prescripciones (descripciones y recomendaciones) y de restricciones (prohibiciones).

EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Finalmente el tercer bloque es el **sistema de información geográfica** que brinda apoyo a las actividades descritas en el modelo. Se recurrirá a él cada vez que sea necesario.

Es una herramienta que, no sólo permite organizar, catalogar, almacenar, ponderar y referir datos como lo haría cualquier base de datos computarizada, sino que estos datos se pueden referir a mapas geográficos.

El desarrollo y uso del Sistema de Información Geográfica sobre Riesgos ante Eventos Naturales (SIGREN), tal como se expresa en el gráfico que ilustra el modelo general, será un proceso dinámico en donde el SIG brindará información y al mismo tiempo recibirá información para ser analizada, procesada y clasificada.

Es así como habrá dos formas de acceder: por un lado para requerir información y por el otro, para incorporar nueva información, sea del proyecto en cuestión o de otros proyectos, investigaciones, etc., en este caso específico, referente al contexto urbano, a las edificaciones de la ciudad y a la amenaza sísmica.

Debido a que la estimación de los daños probables que puede ocasionar un evento natural, en este caso particular un sismo, está basado en un tipo de información muy variada y, como ya se ha mencionado con un alto grado de incertidumbre, es recomendable que como punto de partida fundamental para el desarrollo del SIG se considere desde un principio el diseño e implementación de

una base de datos computarizada que incluya la información que se va obteniendo y procesando.

LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LAS EDIFICACIONES Y LA NORMATIVA DE ZONIFICACIÓN

La mayoría de las víctimas producidas por los sismos en el ámbito mundial se debe a fallas en las construcciones, exceptuando las víctimas producidas por efectos secundarios de un sismo, tales como: los deslizamientos, los derrumbes, las fracturas del suelo, los desbordamientos de ríos y los «tsunamis» (ola marina causada por un sismo).

Los sismos no se pueden evitar, así que hasta ahora la única manera de reducir el riesgo de daño a los componentes de la ciudad ante un sismo, es reduciendo la vulnerabilidad de ellos.

En su mayoría, la normativa de zonificación que controla el desarrollo urbano de las ciudades de América Latina, tradicionalmente ha contenido disposiciones que conducen a, y en algunos casos establecen como obligatorios, la incorporación de aspectos de diseño arquitectónico en las edificaciones sin tomar en consideración la amenaza sísmica a la que están expuestas. Muchas de esas disposiciones contribuyen a aumentar el grado de vulnerabilidad sísmica. Tal es el caso de los controles referidos a la altura máxima permitida, la planta baja libre, edificaciones con dos o más cuerpos de diferentes proporciones, construcciones continuas, sin retiros laterales, entre otros;

Podríamos afirmar casi con certeza, que estas disposiciones han sido establecidas sin el conocimiento adecuado de la influencia que estas configuraciones pueden tener en el comportamiento de las edificaciones ante las acciones de

un sismo si no se toman en cuenta los factores que determinan la amenaza sísmica local.

En los próximos párrafos se presenta un breve resumen de algunos de estos aspectos de diseño urbano y arquitectónico que afectan el comportamiento sismorresistente de las edificaciones y, por lo tanto, su grado de vulnerabilidad sísmica. Se describen algunas de las consecuencias que se han producido debido a la incorporación de dichas configuraciones en la normativa de zonificación en zonas sísmicas sin establecer los mecanismos apropiados para evitar los efectos negativos de los sismos. Se presentan primero los aspectos generales relacionados con decisiones urbanas y por último aspectos puntuales de la edificación. Descripciones más detalladas se pueden consultar en las referencias incluidas en la bibliografía que se incluye al final de este artículo.

Edificaciones adyacentes o colindante sin retiros

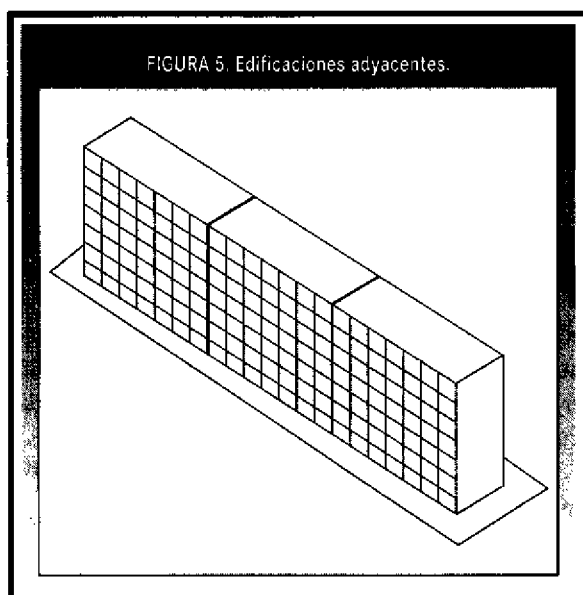
Se refiere a la proximidad entre edificios continuos o anexos. Esta disposición es muy común en los centros urbanos muy densos y en los corredores viales, lo cual responde generalmente a las exigencias de la normativa de zonificación, vigentes en el momento de la construcción. La situación de colindancia o adyacencia se puede encontrar también entre volúmenes diferentes de un mismo edificio.

Originado durante el siglo XIX en Europa, este arreglo garantizaba la creación de volúmenes urbanos altos y continuos, o lo que se ha llamado «el muro urbano» para dar orden a los centros de la ciudad. Esta disposición se incorporó en su momento en áreas o bien de crecimiento o de renovación urbana, donde se construyó en grandes áreas vacías y así se logró una homogeneidad en las edificaciones tanto en cuanto a la altura total como a las configuraciones arquitectónicas y estructurales, a las alturas de los entresijos y a los materiales.

Sin embargo, a la trama existente en las ciudades de América Latina que tuvieron un notable crecimiento durante el siglo XX, se les incorporó

en un corto período de tiempo el avance de la tecnología del hormigón armado, la transformación de los sistemas estructurales y el acelerado crecimiento en altura de las edificaciones. La normativa urbana sufrió cambios significativos en períodos de tiempo cortos, y en los centros urbanos transformó lo que era un conjunto armonioso de edificaciones en un conjunto heterogéneo conformado por edificaciones de alturas y configuraciones arquitectónicas y estructurales muy diferentes unidas unas a otras sin tomar en cuenta las consecuencias negativas que pueden producirse entre ellas debido a las fuerzas generadas por los sismos. Figura 5.

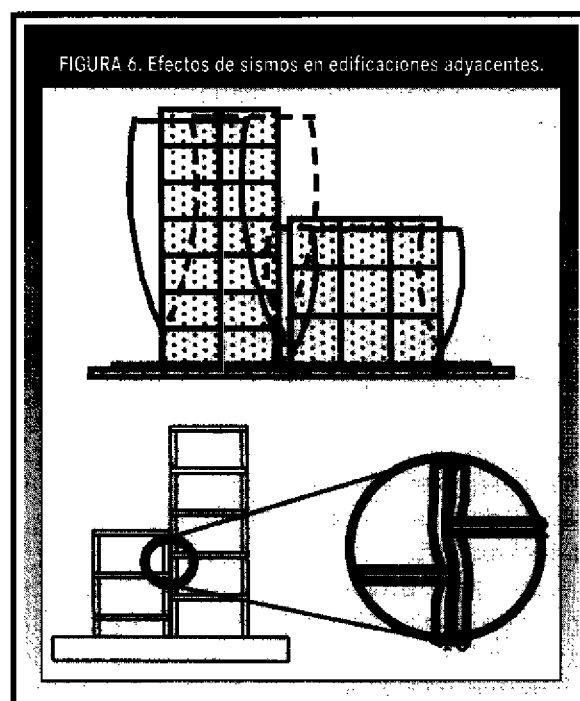
Cuando un sismo ocurre, los edificios, o las diferentes partes de un mismo edificio, que han sido diseñados para estar pegados uno a otro, vibran y se deforman cada uno de acuerdo a sus características dinámicas. Si esta situación no ha sido considerada en el diseño de la estructura de cada uno de estos diferentes volúmenes adyacentes y no se han provisto con las juntas sísmicas adecuadas, se pueden producir choques entre ellos, causando graves daños estructurales y no estructurales y, en algunos casos hasta el colapso de las estructuras. Este efecto se conoce como «golpeteo».

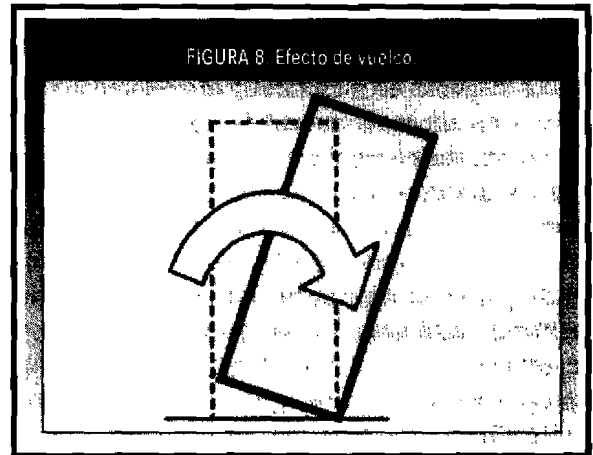
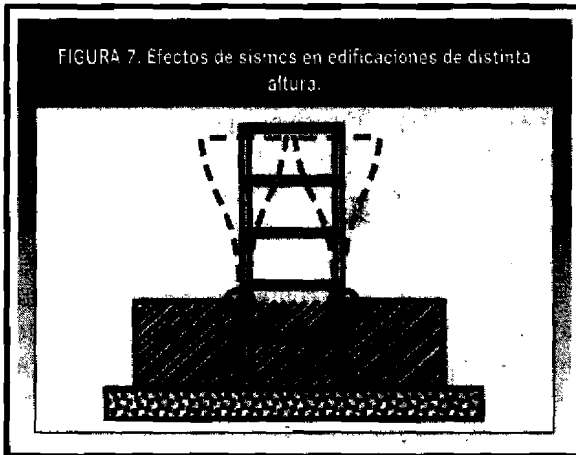


Uno de los casos más comunes de daño por colindancia, se produce en edificaciones adyacentes en las que la altura de sus entrepisos no coincide. Al vibrar dichas edificaciones por los efectos de un sismo, las losas de una edificación golpean los componentes estructurales verticales de la edificación adyacente, pudiendo producirse daños graves. Figura 6.

Otra situación se produce muy comúnmente en los centros de las ciudades que a principios del siglo xx tenían un predominio de edificaciones bajas y fueron aumentando sus densidades a lo largo del siglo xx. Muy a menudo se construye un edificio alto y flexible que queda ubicado entre dos edificaciones bajas adyacentes a cada lado.

En este caso los primeros pisos quedan confinados impidiéndoseles el movimiento y produciéndose así un efecto de empotramiento en la parte baja confinada y dejando libres los pisos superiores. Se pueden producir así daños graves en los puntos de concentración de esfuerzos, es decir, en los puntos en donde deja de producirse el confinamiento. Figura 7.





En sismos ocurridos en los últimos veinte años en ciudades de alta densidad, se han podido observar grandes daños en edificaciones adyacentes que, de haber estado aisladas, se hubieran comportado adecuadamente y no hubieran sufrido mayores daños.

Geometría en altura

La geometría de las edificaciones en su altura, está definida por la forma perimetral de la elevación, determinadas por las siguientes propiedades: la simetría, las proporciones y los escalonamientos. Dentro de las configuraciones estimuladas o promovidas por la normativa de zonificación, que influyen en el grado de vulnerabilidad de las edificaciones encontramos: los escalonamientos y las edificaciones esbeltas.

La esbeltez de las edificaciones

Una condición que, debido a la configuración geométrica en altura, puede hacer más vulnerable a una edificación ante un sismo consiste en la esbeltez. Este aspecto se presenta cuando en la relación de las dimensiones generales de la edificación, domina la altura con relación al ancho y a la profundidad.

Durante el siglo xx, debido a las nuevas opciones que proporciona el hormigón armado se generaliza la utilización de edificaciones altas y esbeltas en los centros urbanos modernos, en los que el valor de la

tierra aumenta y se hace necesario sacar el mayor provecho del metro cuadrado de cada terreno.

La esbeltez puede, si no se toman las previsiones apropiadas, producir en la edificación momentos de vuelco durante un sismo, los cuales son difíciles de predecir en el análisis de una estructura. Los mayores esfuerzos se producirán en las columnas exteriores del primer piso, sobre todo por los grandes esfuerzos que se pueden generar debido al momento de volcamiento.

Si en las edificaciones muy esbeltas no se toman las precauciones necesarias para garantizar una rigidez apropiada en las dos direcciones ortogonales horizontales principales también se pueden generar estructuras muy flexibles, las cuales no son recomendables para suelos blandos, es decir, suelos de períodos largos porque se puede producir resonancia entre el movimiento del suelo y el de la estructura, generando mayores desplazamientos de la parte superior de la estructura.

A sí encontramos en los planes urbanos y en las disposiciones de la normativa de zonificación, sectores en los que la altura de las edificaciones depende únicamente de las secciones de las calles sobre las que tributan y de los criterios del proyectista, sin considerar las características dinámicas del suelo local.

Los escalonamientos o retrocesos

La variación de la configuración geométrica de las edificaciones en su altura, ha sido considerada

como uno de los factores más comunes que, basados en criterios arquitectónicos, pueden conducir a un comportamiento inadecuado de las edificaciones cuando ocurre un sismo. El retroceso consiste en un desplazamiento en horizontal de algún(os) piso(s) con relación al plano vertical exterior vertical de la edificación, generando una variación brusca en las de las dimensiones de las plantas de pisos contiguos en una edificación. Generalmente se adoptan las formas escalonadas, por disposición de la normativa de zonificación, por exigencias del programa arquitectónico o simplemente por moda arquitectónica o de diseño urbano.

A menudo la normativa de zonificación impone en los centros urbanos de alta densidad y en los corredores viales y en zonas de usos mixto (residencial y comercial), el desplazamiento de la torre principal residencial con relación a la plataforma generada por los primeros pisos, la cual generalmente alberga los comercios. Esta disposición obliga a la incorporación de escalonamientos en la fachada de la edificación y se originan volúmenes con características dinámicas diferentes entre ellos, lo que genera concentraciones de esfuerzos en las zonas en que se producen los cambios de sección o uniones entre los volúmenes.

Los **retrocesos** y las **asimetrías**, conducen también a la discontinuidad e irregularidad en la distribución de los elementos resistentes, lo que puede producir cambios bruscos en la resistencia y rigidez de las diferentes partes de la edificación y, por lo tanto a un comportamiento inadecuado ante un sismo. Figura 9.

Irregularidades en planta

Las irregularidades en planta se pueden identificar, bien sea por su forma geométrica o por la distribución de rigideces.

Forma geométrica de la planta

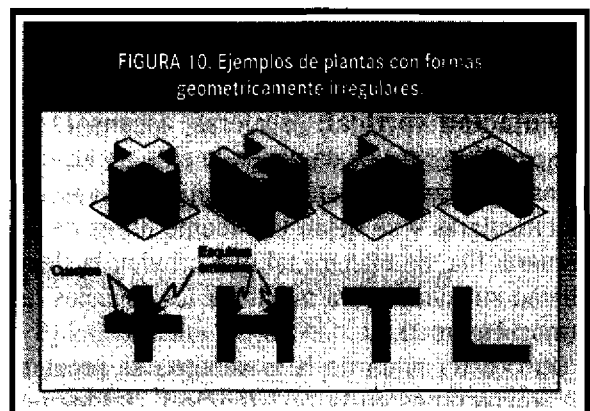
La forma geométrica de la planta ha sido considerada de gran importancia en el comportamiento sismorresistente de las edificaciones. Las plan-



tas de formas irregulares generalmente sufren más daño ante las acciones de un sismo que aquellas de formas regulares. Una de las características más importantes para definir la «irregularidad» geométrica de una planta es la presencia de esquinas entrantes o retrocesos en las esquinas, que se generan en los puntos de unión cuando varios volúmenes, o cuerpos, que tienen direcciones diferentes se unen. Ejemplo de plantas irregulares son aquellas en forma de «+», «H», «T», «[]», o «L». Figura 10.

Debido a que cuando vibra el suelo cada uno de los cuerpos se mueve en sentido y de manera diferentes con relación unos a los otros y como no pueden hacerlo independientemente se producen zonas de concentración de esfuerzos en los ángulos en donde se unen dichos cuerpos. Estos efectos son difíciles de determinar para lograr el análisis apropiado.

Estas formas de planta se utilizan principalmente para edificaciones de vivienda, escuelas,



hoteles y muy frecuentemente en hospitales, debido a la necesidad de aumentar las áreas de fachadas para ventilación e iluminación naturales.

Distribución irregular de las rigideces en planta

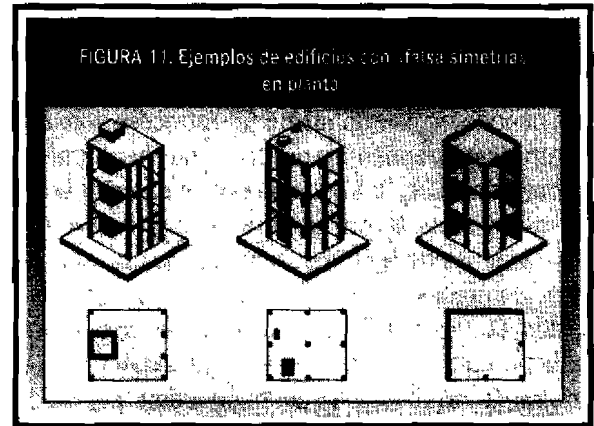
En zonas sísmicamente activas, el diseño estructural y arquitectónico debe garantizar que los componentes estructurales que no forman parte del sistema de resistencia sísmica y los no estructurales, mantendrán su capacidad para cumplir las funciones para las que fueron diseñados controlando los efectos que dichos componentes puedan tener en el comportamiento sísmico de la edificación. Por ello la ubicación en planta de componentes de la edificación que sean rígidos debe ser cuidadosamente estudiada, pues aunque la forma geométrica determina la configuración general de la edificación, en el diseño de edificaciones sismorresistente lo que es realmente importante es la regularidad de las rigideces de la edificación, la cual se determina por la distribución de su masa, las dimensiones y las propiedades dinámicas de los componentes estructurales y no estructurales y por la distribución de estos componentes en la planta.

Influyen en esta regularidad: la ubicación de los núcleos de circulación vertical, la concentración de los elementos resistentes, las variaciones perimetrales de rigidez y resistencia y las discontinuidades en el flujo de fuerzas.

Se da el caso de plantas geométricamente regulares con una distribución asimétrica de las rigideces, lo cual se identifica como **falsa simetría**.

Uno de los casos más representativos en la falsa simetría es la **ubicación de los núcleos de circulación vertical**: escaleras, ascensores y rampas. Este caso se da generalmente en los edificios de oficina, en donde las plantas típicas son rectangulares y se dejan totalmente libres de tabiquería fija, de manera tal que brinden la flexibilidad suficiente para modificar los espacios internos. Figura 11.

Otro caso común de falsa simetría se produce por **variaciones en la resistencia y rigidez pe-**

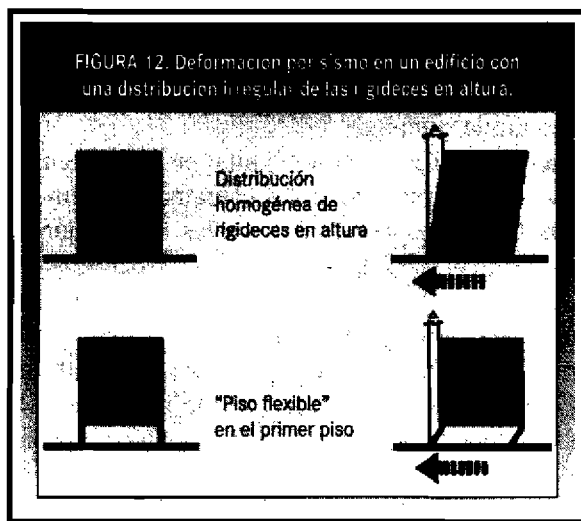


rimetrales en la planta, por la distribución asimétrica de los componentes rígidos, estructurales o «no intencionalmente estructurales», de la edificación en el perímetro de la edificación, muy común en las edificaciones en las esquinas de zonas de alta densidad, en las que las edificaciones son continuas y están adosadas unas a otras. En éstas se disponen dos fachadas «ciegas» más rígidas, que son las que van adosadas a las edificaciones adyacentes y dos fachadas flexibles con ventanas que permiten la iluminación y ventilación naturales. Comúnmente esta situación se genera por los componentes «no intencionalmente estructurales», pero pudiera darse el caso también de que se utilice una mezcla de sistemas estructurales, por ejemplo, pórticos en las fachadas que dan hacia las calles y pantallas en las fachadas ciegas.

Piso blando o piso flexible

Las fuerzas inducidas por un sismo tienden a distribuirse en las edificaciones mediante un patrón uniforme y continuo en vertical. Si la estructura presenta una porción más flexible debajo de una porción más rígida, la mayoría de la energía será absorbida por la porción inferior más flexible y muy poco será absorbido por la superior más rígida; estas fuerzas inducidas por el sismo, tenderán a concentrarse en el piso más flexible, produciéndose mayores deformaciones, lo cual si no es analizado cuidadosamente puede ocasionar daños en éste. Figura 12.

FIGURA 12. Deformación por sismo en un edificio con una distribución irregular de las rigideces en altura.



Uno de los ejemplos más significativos de daños en edificaciones debidos a esta condición es «la planta baja libre» o «primer piso blando o flexible», la cual está presente, invariablemente, en edificaciones dañadas en los sismos que han afectado a áreas urbanas modernas.

La necesidad y las zonas sociales en el nivel de acceso de la calle, los cuales requieren espacios más amplios, libres, total o parcialmente de tabiquería interior, es una de las causas principales para utilizar esta configuración.

Los apartamentos residenciales se distribuyen en los pisos superiores, generando así una masa más rígida y pesada sobre un nivel muy flexible. La masa rígida se genera por el adosamiento a los componentes estructurales flexibles de paredes no estructurales rígidas, generalmente construidas con bloques de arcilla.

Las disposiciones incluidas en la normativa de zonificación vigente en numerosas ciudades estimulan, y en algunos casos obligan, a incorporar el «piso blando» o «piso flexible» en los pisos inferiores de las edificaciones.

El estímulo en la utilización de esta condición de piso blando, generalmente se presenta en los siguientes casos:

1. «Plantas bajas libres», es decir, ausencia de cerramientos en el primer piso de la edificación. Para

aquellos edificios destinados a vivienda multifamiliar, se exoneran estas áreas para los efectos del cálculo del área máxima permitida de construcción.

2. Se exonera también de ser incluido en dicho cómputo, una planta libre que no tenga cerramientos, para ser utilizada para actividades comunales, tales como salas de juegos para niños, salones de fiesta, etc., ubicada sobre el nivel inmediato superior de los comercios, los cuales a su vez deben estar ubicados en el nivel más bajo del edificio.

3. En edificaciones de usos mixtos (comercios y residencias) ubicadas en corredores viales importantes, la normativa obliga a incorporar en los niveles inferiores, entrepisos con alturas mayores que las de los pisos superiores, sin particiones internas, para permitir así la ubicación de locales comerciales en los pisos bajos de la edificación y la construcción posterior de mezanines, las cuales son generalmente utilizadas como áreas de depósitos de los comercios. Se generan de esta manera, pisos blandos en los pisos inferiores. Esta disposición, si no se establecen controles descriptivos y restrictivos en cuanto a la construcción de mezanines, puede inducir a la formación de columnas cortas.

La utilización de elementos no estructurales muy rígidos, como es el caso de las paredes de albañilería, puede modificar el comportamiento de los componentes estructurales. Esta discontinuidad suele presentarse en edificaciones con sistemas estructurales de pórticos, en las que el primer piso es significativamente más flexible que el resto de los pisos debido a la distribución irregular de las paredes no estructurales en la altura del edificio.

Cabe destacar, que la disposición referente a la consideración de la planta baja libre como regala al constructor, proyectista o desarrollista, aparece en casi todas la normativa de zonificación vigentes en las ciudades de América Latina.

El efecto de columna corta o columna cautiva

Prácticamente no ha habido sismo que haya afectado áreas urbanas importantes en el contexto mundial, donde no se haya presentado una fa-

lla debida al efecto de columna corta o «*columna cautiva*».

El efecto de *columna corta* se produce por una modificación accidental en la configuración estructural original de una columna. Se presenta cuando en una estructura sometida a fuerzas o sollicitaciones horizontales la luz libre de la columna —distancia libre vertical entre vigas o losas que son soportadas por la columna— se ve disminuida por un elemento, generalmente no estructural, que limita la capacidad de la columna de deformarse libremente en el sentido lateral. Esta reducción en la luz libre de la columna, generalmente se produce por decisiones arquitectónicas, bien sea en el diseño original de la edificación, o debido a modificaciones arquitectónicas o constructivas posteriores, en las cuales no se consulta a un ingeniero estructural. Figura 13.

Las causas generadas por decisiones arquitectónicas más comunes son:

1. *Confinamiento lateral parcial en la altura de la columna por elementos rígidos, tales como: muros divisorios internos, muros de fachada, muros de contención, etc.* Generalmente se produce por la necesidad de dejar aberturas para iluminación y ventilación naturales en espacios donde se requiere una restricción en las visuales de un espacio a otro. Parte de las columnas quedan confinadas en su parte inferior por las paredes rígidas, y libres en la parte superior; con una longitud generalmente muy pequeña, correspondiente a la altura de la abertura. Los muros y la parte de la columna confinada trabajan conjuntamente como un muro rígido y la pequeña parte que queda li-

bre para la ubicación de las aberturas, trabaja como una pequeña columna la cual recibirá la mayoría de la deformación para la cual fue calculada la columna completa.

Esta modificación accidental en la configuración estructural de las columnas, igualmente puede presentarse en las edificaciones con semisótanos. En estos casos, los muros de contención suben desde la fundación unidos a las columnas, pero al sobrepasar el nivel del suelo en el exterior, son interrumpidos para la ubicación de aberturas que permiten la iluminación y la ventilación naturales. El muro produce un confinamiento tan efectivo que en general falla primero la columna que este elemento «no intencionalmente estructural», aparentemente más frágil.

2. *Acoplamiento de elementos estructurales horizontales en niveles intermedios, tales como: losas y vigas.* La interacción de elementos estructurales horizontales, tales como, las vigas o las losas de los descansos de las escaleras y rampas, que entran en contacto con la columna en lugares intermedios de su altura total, puede producir modificaciones en el comportamiento de la columna.

3. *Ubicación del edificio en terrenos inclinados.* Una losa de piso construida sobre un terreno inclinado, generalmente ocasiona que la altura de las columnas que sostienen dicha losa, vaya aumentando de longitud a medida que el suelo base se vaya separando del nivel de la losa de piso, produciéndose en algunos casos, columnas muy cortas.

Esta condición se puede presentar en algunas zonas de la ciudad, en las que las disposiciones incluidas en la normativa de zonificación obligan a la inclusión de semisótanos en los edificios residenciales, permitiendo de esta manera que: (a) el acceso a la edificación se realice a una media altura sobre el nivel de la calle; y (b) que los semisótanos, generalmente usados como estacionamiento de autos, tengan iluminación y ventilación naturales, a través de aberturas que se ubican en la media altura que les queda libre entre el nivel de calle y la parte inferior de la losa de techo, que sería, al mismo tiempo, la losa del piso del nivel de entrada al edificio.

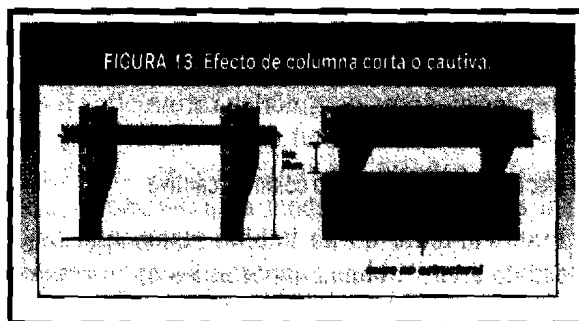
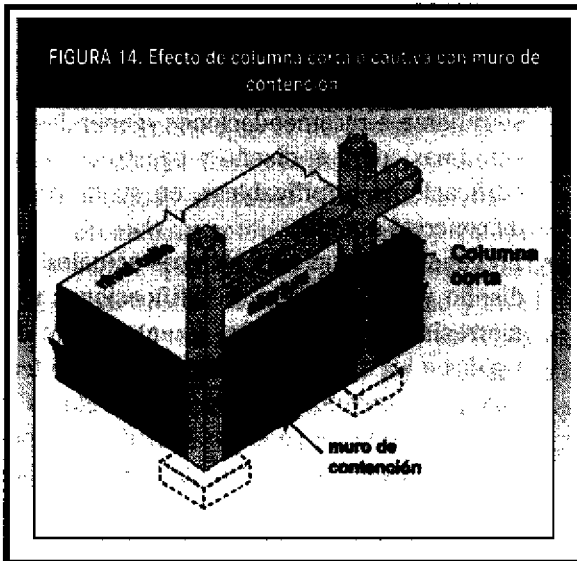


FIGURA 14. Efecto de columna corta y cautiva con muro de contención



Estas disposiciones si no vienen acompañadas de controles restrictivos y descriptivos en cuanto al adosamiento parcial a las columnas de elementos rígidos puede crear «el efecto de columna corta» o «columna cautiva».

CONCLUSIONES

De las evidencias anteriormente expuestas se han desprendido las conclusiones que se presenta a continuación:

- El riesgo es una función de la amenaza o peligro sísmico local y de la vulnerabilidad de los elementos expuestos a dicha amenaza. Por lo tanto, en los planes la reducción del riesgo de una ciudad, hay que conocer la amenaza sísmica y los grados de vulnerabilidad de las edificaciones.
- Cada ciudad tiene sus características propias. Por lo tanto, el riesgo sólo podrá ser cuantificado y reducido, teniendo en cuenta las características propias de la amenaza local y de la vulnerabilidad de los componentes de cada ciudad expuestos a esa amenaza en particular.

- La identificación, evaluación y manejo de las variables que conforman el riesgo en áreas urbanas, involucra a diversos profesionales en las diferentes dimensiones y rangos de acción del sistema urbano. La mitigación del riesgo en áreas urbanas no es responsabilidad exclusiva de los ingenieros estructurales, sino de los diversos profesionales y tomadores de decisiones que intervienen en las diferentes escalas de dicho sistema.
- Hasta el presente no existen, ni teorías ni métodos de diseño y planificación urbanos que, de manera comprensiva, definan y relacionen las variables del riesgo en las diferentes escalas del sistema urbano y los modos de afrontarlo interprofesionalmente.
- La falta de identificación y establecimiento de límites precisos entre las diferentes escalas de intervención en el sistema urbano, dificulta la incorporación de las variables necesarias en el desarrollo y puesta en práctica de los planes de mitigación del riesgo.
- Tradicionalmente en ciudades ubicadas en zonas sísmicas, tanto los diversos agentes involucrados en la planificación urbana, como los especialistas en la mitigación del riesgo, han realizado sus respectivas actividades profesionales cada uno por su lado, sin una interrelación, sino con una visión parcelada de los dos campos de acción.
- Aunque ya en varias ciudades de América Latina se han comenzado a tomar medidas con respecto a la incorporación de prescripciones en la normativa urbana para el diseño y construcción de edificaciones sismo-resistente, todavía existe un gran desconocimiento por parte de las autoridades urbanas y personas que toman decisiones en los planes urbanos, en cuanto a los efectos devastadores que las características del suelo local pueden producir al ocurrir un sismo, en estructuras que no han sido apropiadamente diseñadas, calculadas y construidas para resistir los esfuerzos a los que están expuestas.

- Tradicionalmente se ha considerado que la reducción de los efectos de los sismos se restringe a la aplicación de normas para el diseño y construcción de edificaciones sismorresistentes, como unidades aisladas, sin tomar en cuenta los aspectos que conciernen al diseño y planificación urbanos y a las consecuencias que se pueden derivar de los lineamientos establecidos en la normativa de zonificación. Tanto los diversos agentes involucrados en la planificación urbana, como los especialistas en la mitigación del riesgo, han realizado sus respectivas actividades profesionales cada uno por su lado, sin una interrelación, sino con una visión parcelada de los dos campos de acción.
- Los agentes que toman decisiones en cuanto al diseño y planificación urbanos, han supuesto que las consideraciones sobre los efectos producidos por los sismos son atribución exclusiva de los ingenieros estructurales, quienes deberían, por lo tanto, garantizar el cumplimiento de las normas técnicas y las recomendaciones para el diseño de edificaciones sismorresistentes.
- La competencia o atribución de las normas sismorresistentes es generalmente de orden nacional. Las especificidades de cada ciudad, no pueden estar contenidas en las normas técnicas nacionales, sino en los instrumentos normativos locales, como acuerdos municipales, normas, resoluciones, decretos o reglamentos de zonificación y otros que se consideren convenientes.
- La microzonificación, que permite la determinación, identificación y clasificación de los diferentes tipos de suelo de una ciudad o región y su correspondiente comportamiento ante sismos probables, ha sido reconocida por la comunidad de investigadores que estudian los efectos producidos por los sismos, como uno de los instrumentos más efectivos para la reducción de riesgos en áreas urbanas.
- Se tiene la creencia que la aplicación de las normas técnicas para el diseño de edificaciones

sismorresistentes, garantizan la reducción de daños por los efectos de los sismos, sin tener en cuenta que las normas técnicas se refieren a recomendaciones «generales» y «mínimas» para el diseño y construcción de edificaciones «tipificables», en su mayoría, de concreto armado.

- En general, las normas técnicas actuales del diseño y construcción de edificaciones sismorresistentes están fundamentalmente dirigidas a las estructuras construidas con tecnología desarrolladas durante el siglo xx y en su mayoría de concreto armado. Son pocas las normativas existentes que consideren parámetros para el refuerzo de sistemas estructurales y materiales tradicionales, como: madera, ladrillos, adobe, bahareque, etc.
- El inventario de edificaciones de las ciudades incluye un número considerable de edificaciones y otras estructuras que fueron diseñadas y construidas antes de que se tuviera el estado del conocimiento que se tiene hoy en día en cuanto a las disposiciones sismorresistentes.
- Existen configuraciones urbanas, tales como los edificios continuos o adyacentes, las edificaciones en esquina en bloques de edificaciones continuas, edificaciones altas y esbeltas y otras, así como configuraciones arquitectónicas, tales como pisos blandos, escalonamientos en fachada, espacios en semisótanos y otras, que han sido reconocidas mundialmente como disposiciones que pueden influir considerablemente la capacidad de las edificaciones para resistir los efectos producidos por los sismos. Es decir, influyen en su comportamiento sismorresistente porque pueden aumentar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones.
- En la normativa de zonificación urbana, inconsciente y, probablemente, por ignorancia, se incluyen artículos que promueven, y hasta obligan en algunos casos la utilización de las antes mencionadas configuraciones urbanas y arquitectónicas.

RECOMENDACIONES

- Se propone que el desarrollo de los planes de mitigación del riesgo en áreas urbanas ubicadas en zonas sísmicas se realice con un enfoque multidisciplinario y multidimensional, que abarque las diferentes escalas de intervención del sistema urbano y en el que se establezcan claramente las acciones para el desarrollo y puesta en práctica de dichos planes y las responsabilidades y atribuciones de los profesionales y autoridades que las deben llevar a cabo en cada una de las escalas de intervención.
- La planificación y el diseño urbanos en poblaciones ubicadas en zonas sísmicas, deben considerar como factor preponderante la determinación e identificación de la amenaza sísmica. Es indispensable que tanto los organismos nacionales y locales, como los profesionales y los inversionistas, tomen en cuenta este factor en el diseño y localización de edificaciones y de otros tipos de estructuras que conforman la ciudad, para así reducir el riesgo. Por lo tanto la microzonificación sísmica debe ser incorporada como un instrumento indispensable para los planes urbanos de ciudades en zonas sísmicas.
- Se deben establecer mecanismos para la elaboración y puesta en marcha de normas urbanas que incluyan elementos descriptivos (recomendaciones y prescripciones) y restrictivos (prohibiciones) en cuanto a las características de las edificaciones que permitan la reducción del riesgo.
- Se deben incluir en la normativa urbana de zonificación disposiciones para la mitigación del riesgo pues son los instrumentos ideales para la incorporación de variables que permitan (a) brindar la información referente a la amenaza sísmica local requerida para diseñar y construir edificaciones de acuerdo a las condiciones locales; (b) controlar que se cumplan las recomendaciones y prohibicio-

nes para reducir la vulnerabilidad de las nuevas edificaciones y (c) establecer los mecanismos para la determinación y reducción de la vulnerabilidad de las edificaciones existentes.

- Si debido a razones de diseño urbano, es indispensable incluir en la normativa de zonificación, las disposiciones que conducen a, o que establecen como obligatorios, los parámetros de diseño arquitectónico que han sido identificados como factores que aumentan la vulnerabilidad de las edificaciones, entonces se deben incluir prescripciones, recomendaciones y controles para reducir dicha vulnerabilidad.
- Es indispensable que la ubicación de edificaciones esenciales (hospitales, estaciones de bomberos, estaciones de policía, bancos de sangre, centros de telecomunicaciones etc.) sea estudiada cuidadosamente. Estas edificaciones tienen que tener un riesgo mínimo de dañarse debido a los efectos de un sismo, por lo que debe tenerse en cuenta que tanto la infraestructura como la supraestructura de cada una de ellas y la infraestructura urbana que les da servicios, deben ser diseñadas apropiadamente para el tipo de amenaza existente en el contexto donde están ubicadas.

REFERENCIAS

- Gómez, M. E. (1996). «Tres visiones en prospectiva: Un diseño urbano deseable y posible». *Revista Urbana*, V.1 N.º 18, enero-julio 1996. Instituto de Urbanismo, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Guevara, L. T. y García, L. E. (2001). «La columna corta o columna cautiva». *Revista Tecnología y construcción*, N.º 17 - 1, 2001, enero-abril 2001. Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción, Universidad Central de Venezuela e Instituto de Investigaciones de la Fac.

- de Arquitectura de la Universidad del Zulia. Caracas.
- Guevara, L. T. (2000). «Diseño sismorresistente en hospitales». *Memorias del Taller internacional Study on Countermeasures for Earthquake Disaster in Caracas*, celebrada en Caracas el 24 y 25 de agosto de 2000. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas - FUNVISIS, Caracas.
- Guevara, L. T. *et al* (2000). «Functionality of the architectural program in the remodeling of existing hospitals in seismic zones of Venezuela». Paper 0275 in Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering. International Association for Earthquake Engineering. Febrero, 2000. Auckland, Nueva Zelanda.
- Guevara, L. T. (2000). «Planificación urbana y riesgo sísmico». *Memorias del Seminario Internacional de Riesgo Sísmico*. Sociedad de Ingenieros del Quindío y Universidad del Quindío. Armenia, Colombia.
- Guevara, L. T. (1999). «Una concepción global sobre el diseño de políticas para la gestión y control de los riesgos ante eventos naturales en una ciudad» Memorias del XXII Congreso de la Regional de Arquitectos del Grupo Andino (RAGA'99), celebrada en Chiclayo, Perú, del 4 al 6 de febrero de 1999. RAGA- Colegio de Arquitectos del Perú. Lima.
- Guevara, L. T. (1998a). «Una concepción global sobre el diseño de políticas para la gestión y control de los riesgos ante eventos naturales en Valencia» en Plan para la gestión y control de los riesgos ante eventos naturales en Valencia. Plan Valencia 2020. Valencia, Venezuela.
- Guevara, L. T. (1998b). «Recomendaciones para crear diseños arquitectónicos sismorresistentes a la luz de la nueva norma colombiana NSR-98. En CD de las *Memorias de la Reunión del Concreto 1998*, celebrada en Cartagena de Indias del 15 al 19 de septiembre de 1998. Asociación Colombiana de Productores de Concreto ASOCRETO. Bogotá.
- Guevara, L. T. (1996). «La microzonificación sísmica como base para el ordenamiento urbanístico de Caracas». *Revista Urbana*, V.1 N.º 18, enero-julio 1996. Instituto de Urbanismo, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Rittel, H. (1973). Some Principles for the Design of an Educational System for Design. *Design Methods Group-Design Research Society DMG-DRS Journal*, vol. 7, N.º 2, Apr-Jun. 1973. San Luis Obispo, California.
- Rittel, H. (1969). Some Principles for the Design of an Educational System of Design. En *PASSONEA U, J. (ed.) Education for Architectural Technology*. St. Louis: Washington University & AIA, pp. 103-151.
- Rittel, H. y Webber, M. (1969). Dilemmas in a General Theory of Planning. Berkeley: *Institute of Urban and Regional Planning Reprint N.º 86, CED-UCB*. Divulgado masivamente en el ámbito de la planificación mundial en *Policy Science 4 (1973) pp. 155-169, Elsevier Scientific Pub. Co.*