

## **1. EL PROBLEMA.**

### **1.1. INTRODUCCIÓN.**

La determinación del riesgo sísmico en una ciudad o región es una herramienta muy útil para la planificación urbana. Fundamentalmente, el riesgo es el resultado de la combinación de dos características de un conjunto urbano, la amenaza o probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o antrópico y la vulnerabilidad de los elementos expuestos a ese fenómeno, susceptibles de sufrir daños y generar pérdidas económicas y de vidas humanas.

Todos los componentes de un complejo urbano son potencialmente vulnerables, incluyendo la infraestructura y edificaciones existentes, construidas a la par con el desarrollo y crecimiento de las ciudades para intentar satisfacer los servicios y necesidades que demanda la población, y dentro de las cuales sobresalen por su importancia las edificaciones públicas.

En Colombia, la mayoría de las edificaciones se construyeron antes del desarrollo de la primera Norma Sismorresistente (García et al., 1984) implementada en 1984 tras las desastrosas consecuencias del sismo de Popayán en 1983, donde se evidenció la falta de técnicas constructivas que garantizaran la seguridad de los ocupantes y el buen comportamiento de las edificaciones ante la ocurrencia de un sismo.

Mediante la Ley 400 de 1997 entró en vigencia el nuevo Código Sismo Resistente, NSR-98, el cual plantea nuevas exigencias en el diseño y la construcción de

edificaciones y en la evaluación de la vulnerabilidad e intervención de las edificaciones indispensables existentes (hospitales, centros de salud, etc.), en un plazo determinado. Sin embargo, mientras esta Norma no sea implementada no será posible atenuar o mitigar los efectos que se han evidenciado en las edificaciones ante eventos sísmicos. Un ejemplo claro de esta situación se produjo con la ocurrencia del terremoto del 25 de enero de 1999 en el Eje Cafetero, donde los efectos en términos de vidas humanas y de pérdidas económicas fueron desastrosos en todo tipo de edificaciones, incluidos los establecimientos educativos. A pesar que las escuelas oficiales no están incluidas en el grupo de las edificaciones indispensables, en la actual Norma sismorresistente se han clasificado como edificaciones especiales y de su comportamiento frente a un sismo depende la vida de muchas personas.

En general, las prácticas constructivas inadecuadas y el incumplimiento de las normas establecidas por la ley para diseño y construcción, ha ocasionado que las edificaciones se constituyan en elementos altamente vulnerables dentro de un complejo urbano determinado, consolidando un escenario de vulnerabilidad dentro del cual se encuentran los establecimientos educativos oficiales.

Al realizar, en este trabajo, la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de una muestra de escuelas públicas de Cali, se aporta a la identificación de un problema que es relevante para la ciudad y afecta a gran parte de la comunidad.

## **1.2. DESCRIPCIÓN.**

El Departamento del Valle del Cauca se encuentra ubicado en una de las zonas de mayor actividad sísmica del país (OSSO, 1995b), con diversidad de formaciones geológicas, problemas de inestabilidad de suelos y condiciones geológicas,

topográficas, climatológicas e hidrológicas que generan escenarios de amenaza de gran complejidad (OSSO, 2002; Velásquez y Meyer, 1994).

Por otro lado, Cali se ha ido desarrollando desde los terrenos relativamente firmes del Cono de Cali, hacia depósitos más recientes en la antigua llanura de inundación del río Cali y hacia zonas de ladera con potencial de inestabilidad. En otras palabras, la urbanización y las edificaciones objeto de este proyecto se emplazan sobre diversidad de formaciones geológicas superficiales que deben tener comportamientos diferentes (Efecto de Sitio) ante vibraciones sísmicas. Aunque la ciudad aún no cuenta con su estudio de microzonificación sísmica, la diversidad de terrenos, estudios preliminares y estudios puntuales si muestran posibles correlaciones entre los diversos sitios y daños asociados o no con terremotos.

En este estudio se consideran trabajos previos como Ofertas y Amenazas Ambientales en Cali (Velásquez y Meyer, 1994), el estudio de amenazas para la Red Urbana de Gas Natural (OSSO, 1997), Estudio de Niveles Potenciométricos de Cali (López y Vöckler, 1999) y el Comportamiento de los Suelos de Cañaveralejo (Rosales, 2001).

Así mismo, la evaluación de rupturas de redes de acueducto sugiere que existe una relación entre el número de ellas y su edad y emplazamiento: las redes más recientes, sobre terrenos geológicamente más jóvenes presentan mayor número de daños (Municipio de Cali, 1996).

En relación con la situación de las escuelas públicas de Cali, gracias a las manifestaciones de las directivas de algunos establecimientos educativos del sector público a la Secretaría de Educación, ya se han dado a conocer las condiciones deplorables de algunas edificaciones escolares oficiales y el grave riesgo al que se encuentran expuestas las personas que estudian y laboran en ellas (EL PAÍS, 2001a, b). Actualmente, La Secretaría de Educación se encuentra

gestionando recursos para dar inicio a la intervención de las 33 escuelas públicas que presentan un mayor estado de deterioro y, en algunos casos, peligro de colapso.

### **1.3. ANTECEDENTES.**

#### **1.3.1. Antecedentes de estudios de vulnerabilidad sísmica en el mundo.**

Recientemente, en tesis relacionadas con este tópico se han hecho varias recopilaciones, muy completas, de antecedentes estudios de vulnerabilidad en el mundo y los avances que se han logrado en esta materia hasta nuestros días (Chavarría y Gómez, 2001; Peralta, 2002). Por esta razón este aparte se limitará a hacer una breve reseña histórica de la evolución de la ingeniería en este campo.

Los estudios de vulnerabilidad surgen a principios del siglo XX, como una necesidad ante las consecuencias de sismos que habían ocurrido en distintos lugares del mundo (por ejemplo San Francisco, CA. USA, 1906; Mesina, Italia en 1908 y Tokio, Japón en 1923). A través de la experiencia, los ingenieros fueron encargados de evaluar los efectos de los sismos en las viviendas y en las edificaciones y de proponer medidas que minimizaran dichos efectos en el futuro. Es así como se fueron proponiendo los primeros conceptos de diseño sismorresistente y se iniciaron investigaciones en el área de la ingeniería sísmica en Japón y en Estados Unidos (AIJ, 1998; Sarria M., 1995).

Durante las décadas de los años 1960 y 1970, surgen las primeras técnicas de evaluación de la vulnerabilidad sísmica en edificaciones existentes denominadas Técnicas de Screening, las cuales se constituyeron en la base para métodos desarrollados posteriormente, entre los cuales se encuentran: Whitman (1972),

Okada y Bresler (1976), ATC-14 (1987), Grases (1985), Iglesias (1985), ATC-21 (1988), entre otros (Campos, 1992). Para la década de los años 1980 El Organismo de las Naciones Unidas encargado de la Atención de Desastres, UNDRO y la UNESCO definieron los términos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, de tal manera que permitieran comprender y reconocer con más claridad los problemas asociados a fenómenos naturales o antrópicos (UNDRO, 1979).

En Colombia, la experiencia vivida en sismos posteriores al de Popayán en 1983, como los del Atrato Medio (1992), Páez (1994), Tauramena (1995) y Pereira (1995), demostraron la necesidad de actualizar la Norma de Diseño Sismorresistente de 1984, adoptando nuevos esquemas de seguridad que permitan desarrollar técnicas constructivas más confiables. Es así como aparece la actual Norma de Diseño Sismo Resistente conocida también como la Ley 400 de 1997, en la cual se dedicó un capítulo para definir los criterios necesarios y un método para analizar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones construidas antes del año de 1998. Adicionalmente, en Diciembre del año 2000 se le anexó a esta Norma una sección de Análisis de Vulnerabilidad y otra de Metodologías Alternas.

Existen varios estudios de vulnerabilidad sísmica a gran escala desarrollados por grupos de investigación de algunas universidades de Colombia. En la Universidad EAFIT se diseñaron programas de computador que permiten calcular y graficar las pérdidas ocasionadas por la ocurrencia de un sismo en la ciudad de Medellín (Jaramillo, 1997, 2001).

En el año 1992 culminó, dentro del Programa de Mitigación de Desastres en Colombia, la primera fase de la Mitigación del Riesgo Sísmico en Cali (Campos, 1992), donde se hace una estimación de las posibles pérdidas de vidas y bienes ante la ocurrencia de sismos con aceleración pico efectiva de 0.25g y 0.17g, empleando el procedimiento propuesto por Cardona y Hurtado.

### 1.3.2. Antecedentes de estudios de vulnerabilidad de edificaciones escolares.

A nivel mundial, desde principios de la década de los años 1980 se gestó un interés en reconocer la importancia de las edificaciones escolares, que se tradujo en investigaciones realizadas por algunas organizaciones internacionales.

Vickery (1983), en un estudio para la UNESCO publicó un documento técnico en el cual analiza los principales problemas que entrañan el proyecto y la construcción de edificios escolares, resistentes a los desastres asociados a fenómenos naturales. Hacia 1987, se llevó a cabo un estudio de caso sobre México y la zona centroamericana (Gómez, 1987). Este documento fue realizado para la sección de infraestructuras y espacios educativos de la División de Política y Planificación del Sector de la Educación de la UNESCO. En este estudio se analiza el papel que juega el edificio escolar en casos de desastre, con el objetivo de proponer las acciones y la organización comunitaria que sean requeridas para prevenir y atender una emergencia; presenta de una manera clara y directa la aplicación de las principales condiciones del diseño y de la construcción de escuelas en zonas donde existe amenaza por uno o más fenómenos naturales.

En 1992, la Unidad de desarrollo sostenible y medio ambiente UDSMA de la OEA, promovió en América Latina el Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales (DIRDN), e inició un programa de reducción de la vulnerabilidad del sector educativo a los peligros naturales, el cual ha promovido la preparación y ejecución de políticas, planes, proyectos y preparativos para la reducción de desastres naturales, enfocando sus actividades en la infraestructura física del sector. El año 1993 fue declarado el Año de Reducción de la Vulnerabilidad en Escuelas y Hospitales ante las Amenazas Naturales por el DIRDN. Como parte de este Programa, la UDSMA y el ex-Departamento de Asuntos Educativos (DAE) de la OEA, ofrecieron en 1992 y 1993 talleres sobre

reducción de la vulnerabilidad a los peligros naturales, en los cuales participaron profesionales vinculados a los programas de planificación física y planes de emergencia escolar de los respectivos Ministerios de Educación de cada país (UDSMA, 2002).

Argudo et al. (1992) publicó un documento con el objetivo principal de proponer una metodología para la reducción de la vulnerabilidad sísmica de escuelas y bibliotecas de Guayaquil, Ecuador. En este estudio se plantea la importancia de ejecutar investigaciones preliminares tendientes a caracterizar el peligro o amenaza sísmica, su ubicación, severidad y recurrencia dentro de un período de tiempo en relación con un área vulnerable y estimar la vulnerabilidad de dichas edificaciones, en función de pérdidas o daños que sismos probables pueden ocasionar sobre las personas y la infraestructura física, incluyendo la evaluación del impacto ocasionado en el normal funcionamiento de la comunidad.

A fines de 1994, el Programa OEA-ECHO, con el apoyo financiero de la Oficina Humanitaria de la Comunidad Europea (ECHO), inició actividades piloto en El Salvador y Nicaragua. En 1995, el Programa de Reducción de la Vulnerabilidad del Sector Educativo a los Peligros Naturales se expandió para incluir, en una segunda etapa, a Belice, Costa Rica, Guatemala, Honduras y Panamá. El Programa capacita a personal técnico de los Ministerios de Educación, de los organismos oficiales para la ejecución de las obras públicas y de las organizaciones no gubernamentales (ONG), para preparar perfiles de vulnerabilidad de escuelas. El Programa OEA-ECHO también asiste a los Ministerios en la coordinación de programas nacionales de infraestructura educativa, el fomento de la participación comunitaria para reducir la vulnerabilidad a peligros naturales y la obtención de apoyo para financiar medidas de mitigación (UDSMA, 2002).

En 1997 se planteó la necesidad de realizar un estudio que permitiera evaluar distintos centros educativos de la República de Panamá, para así poder estimar el

grado de vulnerabilidad y los daños que podrían sufrir ante la ocurrencia de sismos, maremotos, inundaciones, entre otros (Wong et al., 1997). El objetivo fundamental de este proyecto fue definir o estimar un grado de vulnerabilidad y daños, con base en las características del lugar, como son las áreas de riesgo, el material de la estructura o la cantidad de personas que se encuentren involucradas con la edificación escolar.

En Colombia, los primeros intentos de incorporar la prevención de desastres en el sector educativo se concretaron en enero de 1992 cuando el Ministerio de Educación Nacional expidió la Directiva Ministerial No. 13, en la cual se asignaron responsabilidades al sistema educativo como integrante del Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres. La contribución del sistema educativo al Programa escolar de prevención de desastres, se orientó en dos propuestas específicas, una de ellas era la creación de planes de prevención de desastres en cada plantel educativo y la otra, consistía en promover el análisis de los peligros y el mejoramiento de las condiciones de seguridad y saneamiento ambiental de las edificaciones educativas (Ministerio de Educación Nacional, 1992).

#### 1.4.1 JUSTIFICACION

Posteriormente, el Decreto No. 93 de 1998 adopta el Plan Nacional de Prevención y Atención de Desastres, cuya elaboración había sido establecida en el artículo 3° del Decreto-Ley 919 de 1989. Dentro de la estrategia de socialización de la prevención y la mitigación de desastres se contemplaron, entre otros, los programas de Información pública para la prevención y reacción adecuada de la comunidad en caso de desastre y de incorporación de los conceptos de prevención de desastres y protección ambiental en la educación formal.

El desarrollo de dichos programas se planteó mediante subprogramas, entre los cuales se destacan la Ampliación de la cobertura del programa escolar en los planteles educativos, el Impulso de programas preventivos en edificaciones públicas y el Desarrollo de programas docentes de formación sobre el tema para

los educadores. En este Plan se adjudicó la responsabilidad de la ejecución de los programas al Ministerio de Educación, Ministerio del Medio Ambiente, la Dirección Nacional de Atención y Prevención de Desastres y las Entidades Territoriales (Ministerio del Interior, 1998).

Finalmente, el Código de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98 (Ley 400 de 1997, Decreto 33 de 1998) define en el capítulo A.2.5.1, cuatro grupos de uso para las edificaciones, tres de ellas tienen una función de carácter público. Las del grupo IV son las Indispensables (Hospitales, Clínicas, Centros de Salud, etc.), las del grupo III son las de Atención a la Comunidad (Bomberos, Defensa Civil, Policía, Cruz Roja, etc.) y las del grupo II son las Estructuras y Edificaciones Especiales, dentro de las cuales figuran escuelas, colegios, universidades, estadios, coliseos, etc., reconociendo la importancia de las edificaciones escolares en relación con la necesidad de que su funcionamiento no se vea interrumpido después de un evento sísmico (AIS, 1997).

## **1.4. JUSTIFICACIÓN.**

### **1.4.1. Importancia de los estudios de vulnerabilidad sísmica.**

Para la planificación de una ciudad como Cali, ubicada en una de las zonas de mayor amenaza sísmica del país y con un escenario tan complejo de amenazas naturales y antrópicas, es necesario realizar estudios en los cuales se implementen procedimientos de evaluación de la vulnerabilidad estructural y funcional de las edificaciones, con el objetivo de establecer las bases para el desarrollo de planes de prevención y mitigación de desastres.

Los estudios de vulnerabilidad adquieren una importancia especial cuando las edificaciones objeto de estudio han sido construidas antes del desarrollo de los códigos sismo resistentes o, como se verá posteriormente, su construcción ha nacido de la gestión de una comunidad que no tiene capacidad económica ni técnica para hacerlo adecuadamente y que tampoco recibe la atención del Estado para satisfacer este tipo de necesidades.

#### **1.4.2. Importancia de las edificaciones de las escuelas públicas.**

Las edificaciones escolares por su función representan una prioridad dentro de las necesidades de la comunidad, y de su comportamiento frente a un sismo o cualquier otro fenómeno natural depende la vida y seguridad de muchas personas, entre ellas niñas, niños y adolescentes, de cuya formación depende el desarrollo y crecimiento del país. Adicionalmente, es una práctica común que, una vez se presenta una emergencia, los establecimientos educativos son convertidos en albergues provisionales para damnificados y personal de apoyo.

#### **1.4.3. Algunas evidencias de la gravedad del problema.**

- **Sismo del Eje Cafetero del 25 de enero de 1999.**

En Marzo de 1999 se realizó la Evaluación técnica de infraestructura para el Departamento del Valle de Cauca, que tenía como objetivo dar a conocer un inventario de los daños ocasionados por el sismo del 25 de enero de 1999. De acuerdo con esta evaluación, en la zona rural y urbana de los municipios del norte del Valle, se encontraron 61 establecimientos educativos averiados y tres totalmente destruidos. Resultados como estos pueden dar un indicio de las condiciones en que se encuentran las edificaciones escolares y llevan a

considerarlas como un componente altamente vulnerable de la región (DNPAD, 1999).

- **Las escuelas de Cali... sin que haya ocurrido un sismo fuerte.**

En la ciudad de Cali el problema de vulnerabilidad de las edificaciones de escuelas oficiales es de tal magnitud, que en Septiembre del 2001 la Secretaría de Educación Municipal dio a conocer que 33 escuelas públicas se encuentran en un estado deplorable y que requieren una intervención inmediata, debido a que presentan hundimientos, grietas y fallas estructurales graves, que ponen en riesgo la vida de aproximadamente 80 000 niños y niñas, sin mencionar a los maestros y empleados que laboran en dichas instituciones (EL PAÍS, 2001a).

#### **1.4.4. Conclusión.**

Este análisis llevó a concluir que existe una necesidad apremiante de desarrollar un trabajo que permita determinar, el grado de vulnerabilidad de una muestra representativa de las edificaciones donde operan las escuelas oficiales de Santiago de Cali, evaluando si, por ejemplo, en términos de época de construcción, tipologías y localización con respecto a los diversos terrenos, mediante un procedimiento de evaluación unificado, se encuentran patrones de deterioro o daños, estimando el potencial de pérdidas ante la ocurrencia de un evento sísmico.

#### **1.5. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

¿Cuál es el grado de vulnerabilidad sísmica de una muestra representativa de escuelas públicas de la ciudad de Cali y cuál sería un procedimiento adecuado para realizar un estudio que permita determinarlo?

## **1.6. OBJETIVOS.**

### **1.6.1. Objetivo general.**

Evaluar el grado de vulnerabilidad sísmica de una muestra representativa de escuelas públicas de la ciudad de Santiago de Cali.

### **1.6.2. Objetivos específicos.**

- Seleccionar una muestra representativa de las escuelas oficiales de Santiago de Cali, con base en criterios de localización, facilidad de acceso al barrio, el tipo de suelo, la geología y la topografía.
- Desarrollar un procedimiento que pueda adaptarse a la información disponible de las escuelas de la ciudad, determinando los parámetros que van a ser evaluados en el estudio de vulnerabilidad sísmica de estas edificaciones escolares.
- Mediante un formulario de evaluación diseñado previamente, realizar visitas a las escuelas de la muestra seleccionada, con el fin de evaluar todos los parámetros definidos en el procedimiento desarrollado.
- Determinar el grado de vulnerabilidad sísmica de cada establecimiento escolar de acuerdo con el procedimiento desarrollado, y estimar los daños y las posibles pérdidas económicas ante la ocurrencia de un sismo específico.
- Integrar los resultados obtenidos en el estudio en un sistema de información geográfica para hacer un análisis dentro del contexto global de la ciudad y,

eventualmente, identificar si el nivel de daños observado está correlacionado con edad, tipologías y lugar de emplazamiento de las edificaciones.

## **1.7. ALCANCES Y LIMITACIONES.**

### **1.7.1. Alcances.**

- Determinación del grado de vulnerabilidad sísmica de una muestra de escuelas públicas de Cali, desarrollando un procedimiento de evaluación que permita identificar los aspectos que las hacen vulnerables.
- Evaluación preliminar de 70 escuelas, como insumo para el desarrollo metodológico y la selección de una muestra específica, estadísticamente representativa.
- Integración de los resultados obtenidos en este estudio en un Sistema de Información Geográfica, que permite ubicar ágilmente los establecimientos de la muestra seleccionada, que tienen un grado de vulnerabilidad bajo, medio, alto y muy alto.

### **1.7.2. Limitaciones.**

- En el grupo de edificaciones escolares evaluadas no se incluyeron aquellas en donde no se facilitó el acceso al barrio o la entrada al establecimiento.

- El grado de vulnerabilidad determinado es solo un estimativo, que no pretende describir la realidad absoluta de las condiciones en las que se encuentra cada uno de los establecimientos educativos estudiados.
- No se aplicaron métodos detallados para la estimación de daños de las escuelas de la muestra específica, sino que se emplearon los valores de demanda de ductilidad y el grado de vulnerabilidad de las edificaciones.
- El tamaño de la muestra de escuelas evaluadas y el nivel de detalle de la evaluación se limitó tanto por los recursos humanos y económicos disponibles para su ejecución, como por la información que se pudo recolectar.
- Conociendo el grado de vulnerabilidad de una estructura y la amenaza a la que está sometida, puede llegarse a determinar el riesgo de esta ante el peligro o amenaza de un fenómeno. Debido a que la amenaza ante un evento sísmico no es objetivo de este proyecto, no se determinó el riesgo en el que se encuentran cada uno de los establecimientos educativos analizados y por lo tanto no se analizarán directamente las amenazas colaterales o efectos de segundo orden.