

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

### **6.1. CONCLUSIONES SOBRE LA SITUACIÓN DE LAS ESCUELAS.**

Este estudio permitió determinar que un alto porcentaje (56 %) de las 70 escuelas de la población estudiada son altamente vulnerables, indicando una necesidad apremiante de realizar evaluaciones analíticas a cada una de ellas para su posterior intervención. Este resultado también es un indicador de la urgencia con que se requiere ampliar este estudio a todas las escuelas de Cali y del Valle del Cauca. Partiendo de la buena representatividad de la población estudiada, se identificó que los problemas asociados al deterioro físico de las edificaciones, fallas en los muros, asentamientos de los suelos y aspectos constructivos, son una situación generalizada en las escuelas de Cali.

El estudio también reveló que la gravedad de las condiciones de las escuelas de Cali está subdimensionada, ya que dentro de una población de 70 establecimientos, se identificaron 27 altamente vulnerables, adicionales a las 33 escuelas que, de acuerdo con los reportes de la Secretaría de Educación, se encuentran en mayor riesgo. Además, dentro de las escuelas que se identificaron como altamente vulnerables, se estimó que 16 representan un riesgo para sus ocupantes, aún sin que haya ocurrido un sismo fuerte, en particular, debido a la inestabilidad de elementos estructurales y no estructurales con fallas graves, que afectan el comportamiento y la funcionalidad de las edificaciones.

### **6.1.1. Entorno y ubicación.**

La topografía de Cali condiciona que la mayoría de las escuelas se encuentren ubicadas en zonas planas o con pendientes menores a 20°. Los problemas observados en las edificaciones escolares ubicadas en zonas de ladera, están determinados por la inadecuada estabilización de taludes, evidenciada en pequeños deslizamientos, hundimientos del terreno y el agrietamiento de elementos estructurales (muros) y no estructurales (escaleras y pisos). En las escuelas ubicadas en zonas de topografía plana se identificaron otro tipo de problemas, no asociados directamente con la topografía.

Las condiciones observadas en zonas aledañas a las escuelas, como fallas de los pavimentos, fisuras y desniveles de los andenes y pandeo y fisuramiento de los muros de cerramiento, sugieren una correlación directa, por un lado, con el comportamiento de los suelos donde se encuentran ubicadas la mayoría de las edificaciones escolares de Cali y por otro, con el efecto de árboles de grandes raíces, que se agrava sobre todo en suelos con potencial contracto – expansivo.

### **6.1.2. Suelos.**

Se encontró que el comportamiento de una escuela con respecto a las condiciones de los suelos está correlacionado con la edad, la topografía, los aspectos estructurales, constructivos y estado de deterioro.

Se identificó que los suelos representan un factor de gran importancia en el grado de vulnerabilidad de las escuelas de Cali, en los daños observados en los elementos estructurales y no estructurales y por consiguiente, en la funcionalidad de las edificaciones y en la seguridad de sus ocupantes. La evaluación realizada permitió determinar que en 41 escuelas de la población estudiada existen

problemas en la mampostería (fisuras, grietas, particiones o pandeo), en zonas de las edificaciones donde se observan asentamientos y que, en once escuelas, los pisos presentan desniveles y hundimientos, sin consecuencias aparentes en la superestructura.

Específicamente, las evidencias de problemas en la mampostería debidos a asentamientos diferenciales, se concentran en las escuelas ubicadas sobre terrenos correspondientes al cono aluvial del río Cali, cono aluvial de Cañaveralejo, antiguos humedales (Q1), antiguas lagunas y esteros (Q4), zonas desecadas y rellenos de cauces (Q5), depósitos aluviales en llanuras y márgenes de los ríos (Q6) y depósitos torrenciales antiguos (Qd).

De acuerdo con lo anterior, no se puede decir que los daños en la mampostería de las edificaciones escolares evaluadas se concentraron solamente en zonas con suelos conformados recientemente o solamente en suelos antiguos, sino que los daños son una situación generalizada en diversas formaciones geológicas, tanto recientes como antiguas.

En general, se identificó que, en la mayoría de las escuelas localizadas sobre depósitos derivados de rocas del terciario (QvT), rocas sedimentarias (T), depósito de vertiente (Qc), rocas diabásicas (Kv) y el cono aluvial del río Meléndez, no se evidenciaron asentamientos del terreno ni fallas en la mampostería de sus edificaciones. En estas escuelas se observó una buena calidad constructiva y estructural, con grados de vulnerabilidad entre bajo y medio, a excepción de dos escuelas ubicadas en los barrios San Antonio y Meléndez, cuyo grado de vulnerabilidad sísmica es alto, principalmente por problemas estructurales y geométricos.

Finalmente, se determinó que en las escuelas donde se observaron problemas asociados al comportamiento de los suelos, se registraron, además, aspectos

constructivos y estructurales inadecuados y un nivel de deterioro considerable, con un grado de vulnerabilidad alto o muy alto, a excepción de algunas escuelas medianamente vulnerables, en las cuales los asentamientos y las fallas asociadas a estos se registraron en zonas muy localizadas. Por otro lado, los efectos del comportamiento del suelo, observados en las edificaciones, podrían indicar que no se hicieron las adecuaciones necesarias al terreno de fundación para disponer la cimentación o que esta carece de la rigidez requerida para absorber las deformaciones.

### **6.1.3. Seguridad y zonas de evacuación.**

En la mayoría de las escuelas, la falta de capacitación del personal directivo y docente en el tema de la prevención, atención y mitigación de desastres se evidenció en el desconocimiento que se tiene sobre los problemas particulares de cada plantel y la carencia de planeación de simulacros de evacuación en caso de emergencia, lo que puede verse agravado por la poca facilidad para evacuar hacia zonas libres y la presencia de elementos no estructurales que no se encuentran bien amarrados a la estructura que, en caso de sismo, pueden caer en zonas transitables.

### **6.1.4. Edad y número de pisos.**

A pesar de que el año de construcción no es una característica intrínseca de la edificación, se convierte en un indicador de la vulnerabilidad porque de acuerdo con él se puede identificar si el diseño y la construcción de las escuelas se ejecutaron en vigencia de alguna norma sismo resistente colombiana.

Se encontró que un gran número de las edificaciones escolares evaluadas (91 %) fueron construidas antes de 1984, indicando que durante su construcción no había entrado en vigencia la primera Norma sismorresistente colombiana y que por lo tanto, es esperable que en su ejecución no se hayan tenido en cuenta los conceptos básicos de la sismorresistencia.

Las tipologías estructurales características de las escuelas construidas a principios del siglo XX son muros sin confinar y, en algunos casos, muros confinados, pero de especificaciones que han resultado insuficientes en experiencias de sismos anteriores (Popayán en 1983 y el Eje Cafetero en 1999), característica que sumada al deterioro progresivo de los establecimientos educativos de Cali, constituyen un aspecto que agrava la predisposición de sus edificaciones, a verse afectadas por la ocurrencia de un sismo, o lo que en otras palabras significa que inciden negativamente en su vulnerabilidad sísmica.

En cuanto a la altura de las edificaciones escolares, se observó que el 56 % de la población estudiada tienen un piso, el 41 % tienen dos pisos y solo dos escuelas tienen en su planta física, una edificación de tres pisos. Considerando simultáneamente esta situación con la presencia de edificios de muros sin confinar en 41 escuelas de uno y dos pisos, 15 de ellas con alturas de entrepiso superiores a tres metros, se concluyó que la influencia de esta característica en la vulnerabilidad sísmica de estas edificaciones, está condicionada por la falta de rigidez debida a la ausencia de confinamiento de sus muros estructurales y, en consecuencia, su limitada capacidad para resistir los esfuerzos de corte generados por un movimiento sísmico, los cuales son mayores entre más alta sea una edificación. En otras palabras, la incidencia del número de pisos en la vulnerabilidad de las edificaciones escolares evaluadas, está determinada por factores de tipo estructurales y constructivos.

### **6.1.5. Cambios de uso y ampliaciones.**

Este parámetro solo se evaluó en las escuelas de la muestra específica, ya que en la información preliminar, base del procedimiento de evaluación simplificado, no se contempló su observación. En las escuelas evaluadas detalladamente, se observó que, en la mayoría de estos establecimientos, no se han efectuado cambios de uso ni remodelaciones. En los casos donde se identificaron cambios de uso no se incrementaron las cargas actuantes en la estructura.

Para el caso de las ampliaciones en altura, en algunos casos se evidenció pandeo y aplastamiento de los muros de la planta baja, sugiriendo que no se hicieron las adecuaciones estructurales requeridas para este incremento de cargas. Por otro lado, en las ampliaciones adosadas se identificaron cambios de material y de tipología estructural, entre la construcción nueva y la existente, y la ausencia de juntas de construcción. Esta situación es un indicador de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones escolares, debido a que, al hacer una ampliación en planta sin juntas constructivas, se induce en el edificio una diferencia de rigideces que modifica su irregularidad torsional inicial, incrementando la susceptibilidad de la estructura a sufrir daños por sismo, producto del incremento de los esfuerzos torsionales.

### **6.1.6. Golpeteo.**

Se identificó mediante las observaciones hechas durante las visitas preliminares, que el 29 % de las escuelas de la población estudiada presenta problemas de colindancia y que, en general, no había coincidencia de los niveles de las losas de entrepiso o de azoteas. Esta situación determina, en caso de sismo, la condición crítica del fenómeno de golpeteo entre edificaciones colindantes, por la generación de sobreesfuerzos cortantes en la estructura.

### **6.1.7. Tipo de cubierta.**

Mediante la inspección de las estructuras de cubierta para la evaluación detallada, se concluyó que el 42 % de las edificaciones de la muestra específica presenta problemas asociados con la estructura de soporte y su estado de deterioro, situación que, dada la representatividad de la muestra específica, se convierte en un indicador preocupante de las condiciones de la estructura de cubierta en el resto de las escuelas de la población estudiada. De la evaluación simplificada se determinó que el 77 % de las escuelas tiene cubiertas muy pesadas (de teja de barro o sistema residencial), que ante la ocurrencia de un sismo tienden a moverse como péndulos invertidos, generando esfuerzos y tensiones muy severas en los elementos de la estructura de cubierta y por otro lado se identificó que, en las edificaciones escolares, la distancia entre muros determina la separación de los apoyos de la cubierta (vigas corona, muros confinados o sin confinar) y, en la gran mayoría de los casos, esta distancia es mayor a la altura del entepiso, dada la necesidad de amplios espacios para las aulas y áreas comunes.

En conclusión, en caso de que ocurra un sismo con una componente vertical importante, como ocurrió en el sismo del Eje Cafetero (1999), las estructuras de cubierta podrían fallar al no soportar la tracción generada por el movimiento en sentido vertical, haciéndose crítico en las edificaciones escolares porque la distancia entre apoyos de cubierta es inadecuada y las cubiertas clasifican como pesadas.

### **6.1.8. Aspectos geométricos.**

En la mayoría de los casos, la geometría de las edificaciones de las escuelas está determinada por la mala distribución de los muros estructurales en las dos direcciones principales, debido a la concentración de grandes aberturas y vanos en

la dirección de mayor longitud. También se encontró que, la irregularidad en planta de las edificaciones escolares evaluadas se puede asociar a las formas geométricas en planta más comunes en las construcciones de algunas épocas determinadas; por ejemplo, alrededor de 1960 (entre 1953 y 1968) se dio la construcción de numerosas escuelas con muros sin confinar y en forma cuadrada con el patio en el centro y corredores alargados, o en forma de L, F y E, con sus zonas descubiertas (patios, canchas, jardines, etc.) entre las extensas alas de la edificación; entre 1930 y 1940 también se construyeron edificaciones con irregularidades en planta que no son comunes en las escuelas más nuevas.

Se determinó que el 74 % de las escuelas de la población estudiada presentan irregularidades en planta o en altura y que por lo tanto, la geometría es una característica que debe ser considerada en su evaluación, para poder determinar si los aspectos geométricos favorecen o no el incremento de los esfuerzos de torsión y la concentración de fuerzas en las esquinas, y si dicha condición incide negativamente en el comportamiento de la edificación cuando ésta sea sometida a fuerzas sísmicas.

#### **6.1.9. Aspectos constructivos.**

Este aspecto, al igual que los cambios de uso y golpeteo, se evaluó solamente en la muestra específica, permitiendo determinar que solo en el 19 % se identificaron problemas constructivos y algún grado de deterioro; sin embargo este no es un indicador del estado de deterioro del resto de la población estudiada, pues de acuerdo con las observaciones de las visitas preliminares, el deterioro de elementos arquitectónicos es una situación generalizada en las escuelas evaluadas, arrojando como resultados que un 60 % de las escuelas presenta deterioro en la mampostería, cielorrasos, culatas y antepechos y un 59 % en los pisos.

Se encontró que el estado de conservación observado se relaciona en muchos casos con la edad y el deterioro progresivo de las edificaciones por la ausencia de mantenimiento. En otros casos se relaciona directamente con el comportamiento de los suelos, y la falta de una adecuada cimentación, al causar hundimientos, agrietamientos y desniveles en los pisos y deterioro de los elementos arquitectónicos.

#### **6.1.10. Aspectos estructurales.**

La evaluación de la población estudiada, equivalente a 70 escuelas con 205 edificaciones, permitió determinar que las tipologías estructurales más comunes son los muros confinados y sin confinar, ya que se identificó que 73 edificaciones (36 %) son de muros sin confinar, 114 (56 %) de muros confinados y 18 (9 %) pórticos en concreto. Los problemas más comunes en las edificaciones de mampostería confinada son el fisuramiento y el deterioro de los muros, la falta de confinamiento de las culatas y los antepechos, la ausencia de juntas de construcción y la presencia de columna corta debido a que no existe separación entre los elementos de confinamiento vertical y las aberturas adyacentes.

Se determinó que los daños en la mampostería, de las edificaciones escolares evaluadas, están asociados a los aspectos estructurales y constructivos, las ampliaciones adosadas o en altura y la edad, pues, como se mencionó antes, la mayoría de las escuelas se construyeron antes de 1984, cuando entró en vigencia la primera Norma sismorresistente colombiana, cuyos requerimientos definían los conceptos básicos para garantizar que una estructura sea capaz de soportar las deformaciones generadas por fuerzas sísmicas sin poner en riesgo la vida de sus ocupantes. También se encontró que los daños en la mampostería pueden estar

asociados al comportamiento del terreno cuando la edificación no tiene una cimentación adecuada para el tipo de suelo donde se encuentra emplazada.

La evaluación hecha a los bloques con tipología estructural pórtico en concreto indica que la estructura de los pórticos evaluados no tienen problemas aparentes considerables y que cumplen con los requerimientos de la Norma NSR-98, aunque no fue posible obtener planos con los despieces de los elementos estructurales. Sin embargo, se detectó que los problemas en estas edificaciones se relacionan con el mal estado de sus elementos no estructurales, como muros, antepechos y culatas, que, en muchos casos, está determinado por la falta de confinamiento o por la insuficiente rigidez de la cimentación para absorber las deformaciones del terreno.

Del análisis de los aspectos estructurales en relación con los demás parámetros de evaluación se pudo concluir que la vulnerabilidad sísmica se puede definir a partir de las características constructivas originales de la edificación, integrándolas con los aspectos generados por el deterioro con el tiempo, la falta de mantenimiento y las modificaciones estructurales y arquitectónicas.

#### **6.1.11. Pérdidas económicas y de vidas humanas.**

Se determinó que, para un sismo de  $A_a=0.25g$ , las pérdidas económicas en la población estudiada, se encuentran alrededor de dos millones de dólares y se llegó a un estimativo de 1300 víctimas fatales y 7700 personas heridas.

## 6.2. CONCLUSIONES METODOLÓGICAS.

El desarrollo de un procedimiento de evaluación de la vulnerabilidad sísmica a gran escala, adecuado a las características particulares de las escuelas, permitió identificar condiciones que lo constituyen en un problema complejo. Por un lado, la existencia de varias edificaciones en un mismo establecimiento, con tipologías estructurales, aspectos constructivos y edades distintas, plantea la necesidad de formular evaluaciones distintas para cada tipología y por el otro, para obtener un estimativo total de la vulnerabilidad de la escuela, se hace necesario definir criterios para hacer una ponderación de lo que se observó en las diferentes edificaciones evaluadas. Uno de los criterios definidos en este estudio para hacer la ponderación, fue multiplicar la calificación de vulnerabilidad de cada edificación por su área en planta, en proporción con el área total construida de la escuela.

Por medio de la aplicación y validación de los dos procedimientos desarrollados se contribuyó a demostrar que, para evaluaciones cualitativas de la vulnerabilidad sísmica de un número considerable de edificaciones escolares, no se requieren ni se justifican refinamientos o análisis detallados.

A pesar de que se determinó que no se justifica un estudio cualitativo pormenorizado para una evaluación de escuelas públicas a gran escala, el procedimiento de evaluación detallado fue la herramienta que permitió la formulación de un procedimiento simplificado adecuado a las condiciones particulares de la población estudiada, por varias razones; la primera de ellas es que la información específica recopilada fue útil para caracterizar las edificaciones escolares objeto de estudio, otra es que hizo posible la identificación de los parámetros más incidentes en la vulnerabilidad sísmica y, para finalizar, permitió hacer una calibración de los porcentajes de incidencia asignados a cada parámetro, teniendo en cuenta las limitaciones y complejidades que se presentaron en su asignación.

El análisis integrado de los parámetros de evaluación sugiere que existe una correlación entre ellos que conlleva a que, al asignar una calificación a algún parámetro, haya una relativa influencia de otros aspectos y que ninguno pueda ser analizado de manera totalmente aislada. De ello podría deducirse que la evaluación de la vulnerabilidad requiere una integración, tanto metodológica como conceptual, de parámetros y que la condición global observada en una edificación, regulará el resultado final, aún cuando se planteen variaciones en los porcentajes de incidencia.

Se encontró que dicha correlación de parámetros de evaluación conduce a cierta uniformidad de las calificaciones asignadas a aspectos que tienen una incidencia importante en la vulnerabilidad sísmica, como es el caso de las condiciones de la estructura con el comportamiento de los suelos, el estado de deterioro (en relación con la edad) e incluso la cubierta, indicando posiblemente que la incidencia de estos parámetros tiende a ser similar, siempre y cuando se establezca una adecuada interrelación de los aspectos a evaluar.

### **6.3 RECOMENDACIONES.**

El aporte de este estudio a la caracterización del problema de la vulnerabilidad sísmica de escuelas públicas de Cali se constituye en una herramienta para emprender la intervención de estos establecimientos, enfatizando en los aspectos identificados como los más vulnerables de sus edificaciones.

Además, los resultados obtenidos son un indicador de la urgencia con que se requiere ampliar este estudio a todas las escuelas de Cali y del Valle del Cauca, aplicando el procedimiento mejorado de evaluación simplificado propuesto Capítulo 5, ya que permitiría determinar de manera rápida y económica, cuáles escuelas priorizar para su posterior intervención y en qué aspectos enfocarse al intervenirlas.

Dado que el 56 % de los establecimientos educativos evaluados son altamente vulnerables, se recomienda que estos no sean destinados como albergues provisionales en caso de emergencia, ya que no garantizan la seguridad de las personas que se alojen en ellos.

También se considera necesario hacer, en la región, un amplio inventario de daños de edificaciones escolares en sismo previos, para facilitar el refinamiento del procedimiento simplificado desarrollado. Sin embargo, para calibrarlo un poco más con la realidad, se recomienda visitar las edificaciones estudiadas después de cada sismo que ocurra en la ciudad, por muy leve que sea, para observar la respuesta de estas a los movimientos sísmicos y evaluar de qué manera el grado de vulnerabilidad determinado de la estructura sufre modificaciones. Adicionalmente, ante la posible ocurrencia de otros fenómenos, como deslizamientos, hundimientos, fisuramiento, deterioro progresivo de las edificaciones, etc., es necesario implementar programas de capacitación a estudiantes, docentes, empleados y empleadas de los establecimientos, para que estén en capacidad de identificar a tiempo los problemas que puedan generarse y hacer el seguimiento de las condiciones físicas de estas edificaciones.

Tanto para las escuelas que se determinen como altamente vulnerables, como para aquellas que no lo sean, se sugiere el levantamiento de información estructural detallada y la recopilación de información sobre el número de edificaciones, edades, tipologías estructurales, modificaciones y ampliaciones, entre otros, de las escuelas del Valle del Cauca, que permitan desarrollar bases de datos útiles en la planificación de programas escolares de prevención y mitigación de desastres.