

Mitigación del Riesgo Sísmico en Cali

La ciudad de Santiago de Cali ($3^{\circ} 45' N$, $76^{\circ} 5' W$), con cerca de dos millones de habitantes, capital del Departamento del Valle del Cauca y tercera ciudad en importancia de Colombia, fue la ciudad escogida para el desarrollo de este proyecto, debido a su localización en la zona de mayor peligro sísmico del país.

Como consecuencia de los sismos que afectaron el Antiguo Caldas y la Costa Pacífica colombiana en 1979 y del sismo de Popayán de 1983, las autoridades del municipio de Cali, a través de su Departamento de Planeación, y representantes de la Universidad del Valle y de la Corporación Regional Autónoma - CVC suscribieron un convenio con el fin de iniciar estudios que permitieran conocer el grado de amenaza sísmica al cual se encontraba sometida la ciudad. Este trabajo se inició en forma inmediata, aún cuando para el efecto se contaba con muy escasos recursos. En él se consideró el estudio de tres aspectos: la evaluación de las fuentes sismogénicas cercanas a la ciudad, la realización de una zonificación



FOTO A VELASQUEZ

CALI, COLOMBIA

preliminar de los suelos, y la estimación del potencial de deslizamiento y de licuación de suelos, como un efecto de segundo orden inducido por movimientos sísmicos probables.

En 1983, la municipalidad adoptó por primera vez una normativa para la construcción de edificaciones sismoresistentes y la Universidad del Valle presentó un proyecto para la instalación

de una red sismológica regional, la cual inició sus operaciones en 1987, siendo conocida actualmente como el Observatorio Sismológico del Sur Occidente - OSSO.

Debido a estos avances la ONAD y la UNDRO después de convocar un amplio número de entidades que manifestaron su voluntad y el compromiso de trabajar interinstitucionalmente, decidieron escoger a Cali como sitio para promover este proyecto.

El mismo se desarrolló como un proyecto integral, en el cual se fortalecieron los trabajos técnicos y científicos, iniciados varios años antes, y se cubrieron temas antes no tratados relacionados con aspectos preventivos de carácter educativo, político-administrativo y normativo. Este nuevo enfoque partió la historia del trabajo en dos, dado que abarcó más allá de la evaluación de la amenaza o peligro sísmico, la estimación del riesgo de la ciudad con el objeto de reducirlo, es decir de intervenir la vulnerabilidad de las vidas, los bienes y servicios mediante preparativos para la atención en caso de desastre,

Acada una de las actividades del proyecto se le asignó una entidad responsable. La coordinación fue ejercida por el Comité Local de Emergencias de la ciudad.

la educación y la información pública y la incorporación de la variable riesgo en la planificación del desarrollo urbano.

A cada una de las actividades del proyecto se le asignó una entidad responsable para su desarrollo y de acuerdo con su rol otras entidades

actuaron como participantes. La coordinación fue ejercida por el Comité Local de Emergencias de la ciudad, con la asesoría de la Universidad del Valle y el Observatorio Sismológico del Sur Occidente - OSSO.

Con el apoyo técnico de la UNDRO, se realizó un permanente seguimiento al proyecto, se adquirieron equipos complementarios, se vincularon temporalmente consultores asesores, se dio apoyo logístico y se financió la participación de los conferencistas en el seminario al cual hace referencia la última actividad del proyecto.

En términos generales el proyecto se dividió en las siguientes actividades globales:

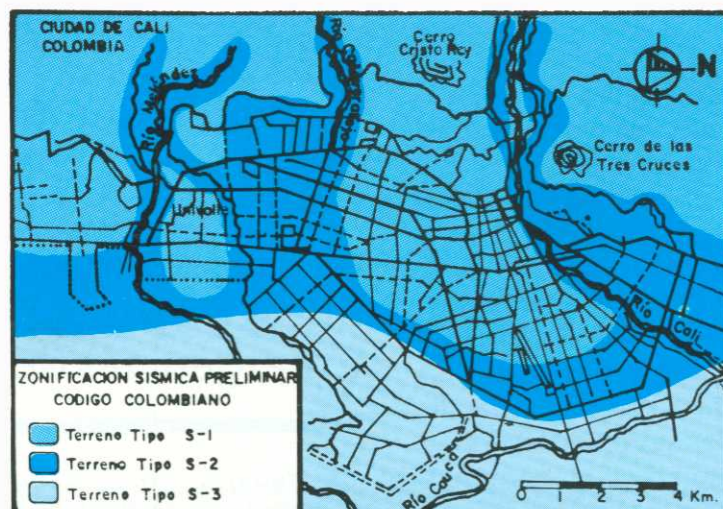
a Inventario y clasificación de los elementos expuestos.

Con el propósito de determinar el tipo y volumen de los elementos del contexto material que ante un movimiento sísmico podrían afectarse físicamente, esta actividad tuvo como objetivo identificar las edificaciones esenciales tales como hospitales, estaciones de bomberos, estaciones

de policía, establecimientos educativos, etc., como también la definición de las tipologías de construcción predominantes que podrían considerarse como típicas y de distribución homogénea en diferentes áreas dentro del perímetro urbano.

El registro del proceso de desarrollo urbano y de la estratificación socioeconómica fueron dentro de esta actividad insumos fundamentales para identificar los tipos de edificación, según la época y el nivel socioeconómico y su distribución dentro del área urbana.

Esta actividad fue realizada con base en la información del Departamento de Planeación Municipal, la Oficina de Catastro y la Facultad de Arquitectura de la Universidad del Valle. Se utilizaron además fotografías aéreas y se realizaron visitas de campo con el fin de verificar o actualizar información.



b Zonificación sísmica preliminar.

Desde el principio el enfoque de esta actividad fue apoyar y complementar los trabajos que con anterioridad se venían realizando al respecto, llevando a un segundo plano la estricta secuencialidad y el alto nivel de tecnificación de las metodologías de evaluación de la amenaza sísmica y la zonificación, dada la necesidad de continuar el trabajo en forma inmediata, sin opciones de recursos voluminosos y debido a la conveniencia de obtener resultados parciales aplicables y mostrables. Para el efecto, se complementó la información existente acerca de las fallas, el análisis histórico, el estudio microsísmico de las fallas locales y se actualizó el catálogo sísmico regional.

Con base en la información geológica y geotécnica existente obtenida del acopio, cruce y reinterpretación de la información de los archivos de sondeos y perforaciones aportada por las firmas privadas de ingeniería, se llevó a cabo la zonificación preliminar de los suelos de la

ciudad en términos de los “coeficientes de sitio” indicados en el Código Colombiano de Construcciones Sismoresistentes.

Dado que para este análisis no se desarrollaron estudios detallados de amplificación sísmica, este parámetro que permite determinar en forma simplificada la modificación del movimiento como consecuencia de la dureza y espesor de los estratos superficiales del suelo, se determinó suficiente y coherente con el grado de resolución de las diferentes etapas que componen el proyecto. Sin embargo, dada la importancia de complementar la clasificación de suelos antes mencionada y con el fin de iniciar estudios acerca de los periodos predominantes de vibración de los diferentes tipos de suelos, se ha venido aplicando el método de la medición de vibraciones ambientales, el cual conduce de una manera directa y rápida a una primera cuantificación del comportamiento de los suelos.

c Evaluación de efectos potenciales inducidos de segundo orden.

Dada la importancia de evaluar el potencial de los efectos colaterales que pueden ser generados por un sismo fuerte en la ciudad, mediante criterios históricos, geológicos y geotécnicos, con la información disponible se delimitaron zonas con potencial de licuación y de laderas inestables.

Como un insumo adicional se confeccionó un mapa de niveles freáticos el cual, combinado con la información geotécnica, permitió delimitar, particularmente cerca del río Cauca, formaciones arenosas especialmente susceptibles de licuación por su alto nivel freático y su baja consolidación.

d Evaluación de la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

Uno de los pasos de mayor sensibilidad y de mayor dificultad para la estimación del riesgo sísmico es la evaluación de la vulnerabilidad de los componentes del contexto material. Aún cuando existen diversas metodologías empleadas en diversas partes del mundo, en su mayoría cualitativas, se consideró fundamental aplicar una metodología cuantitativa cuya profundidad fuera consistente con la calidad de la información existente y obtenible en un corto plazo. De esta manera, y debido a la imposibilidad de llevar a cabo un análisis por métodos empíricos (vulnerabilidad observada durante eventos recientes), se confeccionó una metodología basada en inferencias estadísticas teóricas, de tal manera que su grado de incertidumbre sea cada vez menor cuanto mejor sea la calidad de la información.

Las edificaciones se subdividieron en tres categorías:

- Viviendas de uno y dos pisos.
- Edificios de los grupos de uso I y II del código.

- Edificios (esenciales) del grupo de uso III.

Para cada una de estas categorías se propuso la aplicación de metodologías de evaluación de acuerdo con la información existente acerca de las mismas y la factibilidad de obtener resultados prácticos útiles y creíbles.

Para poder obtener y manejar esta gran cantidad de información se recurrió a la identificación de tipologías de edificaciones caracterizadas cada una por la mayor similitud posible entre sus propiedades relevantes, tales como el tipo de estructura, materiales, densidad de muros, altura y forma. El trabajo se adelantó con base en la información que al respecto contaban el Departamento de Planeación Municipal y la Facultad de Arquitectura de la Universidad del Valle.

Finalmente, en relación con la evaluación de la vulnerabilidad de las líneas vitales es necesario precisar que aunque estudios y planes de contingencia se han adelantado, particularmente de las redes del acueducto, estas evaluaciones aún no han sido incorporadas en forma coherente

al proyecto en cuestión, razón por la cual en una nueva fase se pretende homologar estos trabajos e iniciar otras evaluaciones tales como la

vulnerabilidad de plantas industriales y su riesgo de generar eventos tecnológicos de segundo orden.

e Evaluación del escenario de riesgo sísmico.

En este caso, para efectos de estimar las pérdidas económicas directas probables durante un período de exposición determinado, se utilizó el peligro sísmico establecido por el código para definir el riesgo admisible de las edificaciones de la ciudad, el cual corresponde a un sismo con un período de retorno de 475 años.

Este proyecto desde su inicio estableció como objetivo que sus resultados fueran útiles para la planificación del desarrollo, la reducción del riesgo y la estimación del impacto económico. Sin embargo, adicionalmente se consideró ésta como una excelente oportunidad para obtener resultados que pudiesen ser utilizados para la elaboración del plan de contingencia o de preparativos y procedimientos para la atención de la emergencia específica causada por terremoto. En consecuencia, se acordó definir en forma determinística dos escenarios de pérdidas, generados por las dos fuentes de mayor significación

para la ciudad y que en tiempos históricos han aportado sismos fuertes, dada la importancia de ilustrar a las autoridades locales lo que significaría en las condiciones actuales de la ciudad la ocurrencia de un evento conocido históricamente y en razón a que se consideró importante conocer escenarios generados por eventos de intensidades intermedias, que también producen daños e implican operativos de emergencia.

Aún cuando la densidad poblacional se modifica sensiblemente, dependiendo del día de la semana y la hora del día, con el fin de obtener estimativos muy generales de la cantidad de víctimas probables y de su distribución de acuerdo con las zonas de concentración de la población, con fines de preparativos para la atención de emergencias, se utilizaron valores promedios obtenidos de evaluaciones estadísticas de sismos ocurridos en diferentes partes del mundo.

f Revisión y actualización del plan de emergencias.

Producto de la sensibilización de las autoridades locales y de las diferentes instituciones que actualmente hacen parte del Comité Local de Emergencias, la ciudad adoptó su primer "Plan General para la Atención de Emergencias" en 1989, en el cual se acopio una gran cantidad

de información obtenida durante varios años de trabajo multidisciplinario.

Los resultados del proyecto aquí descrito, están siendo incorporados a este plan en forma dinámica, haciendo la clara anotación que las

conclusiones y las evaluaciones obtenidas son hipotéticas y que pueden alejarse de los efectos reales que puedan presentarse, pues como es de suponerse, los patrones de daño pueden llegar a

ser marcadamente diferentes dependiendo del origen del evento, razón por la cual se aclara que esta información es utilizada exclusivamente para fines de preparativos y operativos de emergencia.

g Educación, capacitación e información pública.

En los últimos años se ha venido aumentando progresivamente la cantidad de eventos de formación, entrenamiento y divulgación, dedicados a la prevención de desastres. Como parte del conjunto de actividades de las entidades de Cali, centenares de líderes comunales han recibido su diploma de “prevencionista”, en cursos organizados por la Cruz Roja, la Defensa Civil y el Cuerpo de Bomberos, con la participación de docentes de diversas instituciones y profesiones.

La respuesta de los medios de comunicación ha sido cada vez mejor y mas participativa, lográndose un mayor compromiso de los mismos. Actualmente, además de los folletos ilustrativos y cartillas que en el nivel nacional se vienen

reproduciendo tanto para la información del ciudadano común como para la capacitación de funcionarios, se ha iniciado la divulgación de manuales sencillos con recomendaciones de construcción sismorresistente para obreros u otras personas que se vean involucradas en procesos de autoconstrucción o programas asociativos de vivienda.

También es importante mencionar que dentro del “Programa escolar para la prevención y atención de desastres”, el cual se adelanta en todo el país por el sistema nacional de prevención, las entidades del comité de Emergencias de Cali promovieron la realización de planes de emergencia en los colegios y escuelas de la ciudad.

h Intervención de las edificaciones claves vulnerables.

Probablemente, como resultado de la divulgación y sensibilización del problema sísmico a través del desarrollo de seminarios de educación continuada, conferencias y otros eventos, recientemente se han realizado algunas obras de reforzamiento en la ciudad a nivel

institucional y empresarial, entre las cuales merece destacarse el refuerzo de la estructura del aeropuerto Palmaseca, construido en 1971. Algunas otras han sido producto de las actividades del proyecto, como la intervención de la vulnerabilidad funcional del Hospital Departamental.

i Incorporación del riesgo en la planificación urbana.

Debido a la amplia aceptación que el tema de la prevención de desastres ha tomado en los niveles de decisión de la ciudad, en el reciente Plan de Desarrollo Integral de Cali, 1990-2004, se incorporó como objetivo la mitigación de los desastres y se declaró a las amenazas y riesgos naturales como factor que debe tenerse en cuenta en el desarrollo de la ciudad.

Recientemente, por primera vez, una ordenanza municipal prohibió, previo concepto de Observatorio Sismológico, la urbanización de una colina que en el curso de este estudio había

sido reconocida como área con potencial de deslizamiento.

Igualmente, es importante destacar, que la municipalidad recientemente decidió incorporar los resultados de este proyecto en su nuevo plan vial, dado que se considera que la extensión de la red vial urbana ha sido uno de los factores que en conjunto con la cobertura de servicios públicos y la construcción del equipamiento colectivo, ha fomentado y dirigido el desarrollo urbano desde el nivel político-administrativo.

j Seminario sobre “Desastres Sísmicos en Grandes Ciudades”.

Con el objetivo de promover el trabajo integrado y multisectorial de las entidades que conforman el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres de Colombia en el campo de la mitigación del riesgo sísmico y los preparativos básicos requeridos para atender, de la forma más eficiente posible, eventos que puedan presentarse en el futuro en grandes centros urbanos, se llevó a cabo en Bogotá un seminario para el Sistema Nacional, en el cual participaron como conferencistas, expertos en diversas disciplinas y de varios países del mundo.

Sus principales objetivos fueron ilustrar y analizar experiencias vividas en grandes ciudades con el objeto de conocer situaciones reales y sus lecciones aprendidas, presentar experiencias y enseñanzas sobre rehabilitación y recuperación e ilustrar los avances del estado del conocimiento en relación con los preparativos para la atención de las emergencias sísmicas: búsqueda, rescate, equipos, atención médica, educación e información pública, etc.; como también en relación con la mitigación del riesgo sísmico mediante la planificación urbana, la intervención de la vulnerabilidad, la predicción sísmica, etc. □

Mitigación del riesgo tsunamigénico en Tumaco

Tumaco es una de las pocas poblaciones localizadas en la Costa Pacífica colombiana ($1^{\circ}42.5'N$, $78^{\circ}45.9'W$) cuya población urbana supera los 60.000 habitantes. Por esta razón, se considera que en los próximos años, debido a la importancia que ha cobrado la cuenca del Océano Pacífico, su desarrollo aumentará significativamente, proyectándose como un terminal marítimo industrial y pesquero de fundamental importancia para el país.



FOTO O.D. CARDONA

TUMACO, POBLACION COLOMBIANA SOBRE LA COSTA PACIFICA.

Sin embargo, Tumaco en el último siglo ha sido el escenario de varios maremotos cuyo

origen ha sido muy cercano a la costa. Por estar al frente de la activa zona de subducción colombo-

ecuatoriana, Tumaco y otras poblaciones vecinas como El Charco, Iscuandé y San Juan de la Costa, entre otras, han sufrido los efectos no solamente de sismos intensos, sino de los maremotos generados como consecuencia de los mismos.

Debido a los esfuerzos que para evaluar la amenaza de este tipo de eventos venía desarrollando el Comité Técnico para la Alerta de Tsunami de la Comisión Colombiana de Oceanografía CCO, la ONAD y la UNDRP acordaron con las instituciones de dicho comité definir una serie de actividades que permitieran en principio estudiar la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo de Tumaco, a manera de proyecto demostrativo, y fortalecer el Comité Local de Emergencias de dicha población con el fin de llevar a cabo preparativos para la respuesta en

caso de emergencia, actividades de educación, capacitación e información pública de la población y la incorporación de la prevención en su proceso de desarrollo económico y social.

Las actividades de este proyecto han venido siendo realizadas por las entidades que conforman el Comité Técnico de Alerta de Tsunami de la CCO y por el Comité Local de Emergencias de Tumaco con la coordinación de la ONAD. La UNDRP aportó para este proyecto algunos de los equipos requeridos para la complementación del Sistema de Detección y Alerta, apoyo logístico y su asesoría técnica a través de consultores temporales.

Con el fin de ilustrar la metodología empleada, a continuación, brevemente se describen las actividades antes mencionadas:

a Elaboración del mapa de amenaza de inundación por tsunami.

Las entidades que conforman el Comité Técnico para la Alerta de Tsunami de la CCO recogieron para este efecto toda la información existente relacionada con la topografía de la costa y la batimetría del fondo marino. Dicha información fue digitalizada en computador, con el fin de utilizarla fácilmente en diferentes escalas y poder actualizarla sin mayores dificultades.

Mediante un modelo básico de líneas de refracción se calculó la trayectoria y el tiempo de viaje de la primera ola, determinando el área probable de dislocación en la zona de subducción al frente de la costa. Bajo el supuesto de un sismo de grado 8 de magnitud y considerando, como caso más desfavorable, la condición de marea

alta, se determinó la altura probable de la ola y las áreas de inundación en la zona urbana de Tumaco.

El mapa de amenaza de tsunami fue elaborado para ilustrar gráficamente el tiempo de avance de la primera ola desde la fuente hasta la costa y las zonas que posiblemente se inundarían debido a la ocurrencia del tsunami, mapa que se considera, como preliminar, debido al cambio que sufre continuamente la batimetría en cercanías de la costa y a la existencia de un banco de arena al frente de la isla de Tumaco, el cual hace muy complejo determinar con precisión la altura de la primera ola y demarcar con exactitud las zonas de inundación.

[b] Estimación de la vulnerabilidad y riesgo de la ciudad.

De otra parte, debido a que un alto porcentaje de la zona urbana de Tumaco se encuentra sobre arenas poco consolidadas y altamente saturadas, se llevó a cabo un mapa de licuación potencial de suelos analizando los efectos ocurridos por el terremoto de 1979. Teniendo en

cuenta la tipología de las edificaciones este mapa adicionalmente identificó las zonas de mayor riesgo sísmico en las cuales se esperan los efectos más severos como resultado tanto de la intensidad de la sacudida como del potencial de licuación.

[c] Diseño del sistema de vigilancia y alerta.

Una vez ocurrido el sismo, el tiempo de llegada de la primera ola a Tumaco es del orden de 28 minutos. Con el fin de avisar a la población en el menor tiempo posible, se diseñó un sistema de alerta con el cual se esperan detectar automáticamente las características del sismo generador y su localización. Este sistema basado en la red del Observatorio Sismológico del Sur Occidente, fue concebido para operar en caso de ocurrir un tsunami de origen cercano, lo cual lo diferencia de la mayoría de los sistemas que actualmente se tienen en el mundo.

Este proyecto aportó recursos para la adquisición de parte de los equipos requeridos para este sistema de detección, algunos de los cuales desde la Isla Gorgona, a 50 km de la costa, enviarán las señales telemétricamente a un centro de recepción.

Actualmente el sistema se está preparando teniendo en cuenta su posible ampliación y conexión con las redes sismológicas y mareográficas existentes en el Ecuador, país que comparte la zona fuente de este tipo de eventos en la costa del Pacífico.

[d] Preparación del plan de emergencias.

Con el fin de elaborar un plan interinstitucional de respuesta en caso de tsunami y con el fin de identificar las zonas hacia las cuales tendría

que evacuar la comunidad, se llevó a cabo el fortalecimiento del Comité Local de Emergencias de Tumaco, en el cual participan un amplio

número de entidades tanto del sector público como privado.

Es importante destacar, que este fortalecimiento favoreció la eficiente reacción del

Comité Local de Emergencias ante la aparición del cólera, enfermedad proveniente del Perú y el Ecuador, cuya presencia se detectó por primera vez en Colombia en la población de Tumaco.

e Educación, capacitación e información pública.

Con el fin de llevar a cabo una concientización de la comunidad y promover una adecuada reacción de la misma en caso de presentarse un tsunami, se vienen realizando campañas educativas tanto en los colegios como con las organizaciones comunitarias, mediante concursos acerca del fenómeno y conferencias anecdóticas preparadas por la misma comunidad, aprovechando su memoria colectiva de eventos en el pasado.

Esta situación ha permitido avanzar en la aceptación del riesgo sin recurrir a conferencias de técnicos y científicos externos, cuyo lenguaje no es siempre bien entendido por la población y cuya forma de presentar el fenómeno no siem-

pre ha sido bien recibida, como ocurrió en los inicios del proyecto cuando varias conferencias en relación con el tema causaron controversias dentro de la población, por el posible efecto negativo que estas podrían tener desde el punto de vista económico para la región.

Aprovechando los esfuerzos realizados por el Comité Local de Emergencias para este fin, también se utilizaron parte de los recursos físicos y humanos previstos por el proyecto para la realización de campañas preventivas contra el cólera, lo cual por obvias razones se convirtió en prioridad, una vez que dicha enfermedad hizo su aparición en la zona.

f Incorporación del riesgo en la planificación urbana.

Uno de los aspectos más importantes de este proyecto, ha sido la voluntad política de la administración local de considerar el riesgo

sísmico y tsunamigénico como determinante para la futura expansión urbana dentro del plan de desarrollo de Tumaco. □