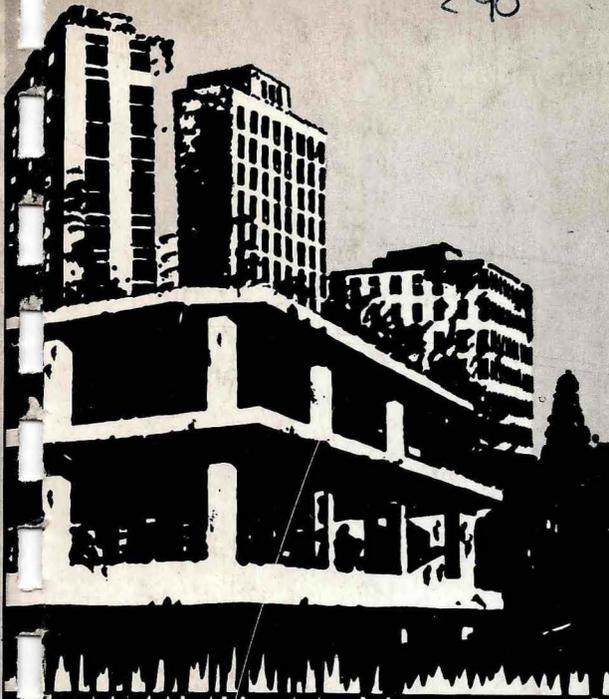


290



SEMINARIO  
**DESASTRES  
SISMICOS**  
EN GRANDES  
CIUDADES

ENSEÑANZAS EN  
MITIGACION Y  
OPERATIVOS DE  
EMERGENCIA

BOGOTA JULIO 24 AL 27 DE 1990

**TOMO II**

Edward Spruill  
July 1990

**SISTEMA NACIONAL PARA LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES  
SOCIEDAD COLOMBIANA DE INGENIEROS**

**SEMINARIO  
DESASTRES SISMICOS EN GRANDES CIUDADES  
"Enseñanzas en Mitigación y Operativos de Emergencia"**

**MEMORIAS**

**Bogotá D.E., 24, 25, 26 y 27 de julio de 1.990**

**COMITE ORGANIZADOR**

OFICINA DEL COORDINADOR DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ATENCION  
EN CASOS DE DESASTRE - UNDR0

OFICINA NACIONAL PARA LA PREVENCION Y ATENCION DE DESASTRES  
FONDO NACIONAL DE CALAMIDADES

SOCIEDAD COLOMBIANA DE INGENIEROS  
INGEOMINAS

ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA  
SOCIEDAD COLOMBIANA DE PLANIFICACION

DEFENSA CIVIL COLOMBIANA  
CRUZ ROJA COLOMBIANA

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
INSTITUTO GEOFISICO DE LOS ANDES

UNIVERSIDAD DEL VALLE/OBSERVATORIO SISMOLOGICO DEL SUROCCIDENTE  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**AGENCIAS INTERNACIONALES DE APOYO**

OFICINA DEL COORDINADOR DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ATENCION  
EN CASOS DE DESASTRE - UNDR0

AGENCIA CANADIENSE PARA EL DESARROLLO INTERNACIONAL - ACDI  
ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD - OPS

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO - PNUD

## SOCIEDAD COLOMBIANA DE INGENIEROS

Presidente : Luis Eduardo Laverde L.

### JUNTA DIRECTIVA

#### Principales

Javler Ignacio Restrepo  
Libardo Leal Urrea  
Jaime Santamaría Serrano  
Jaime Arias Restrepo  
Mauricio Nieto Reyes  
Heberto Jiménez Muñoz  
María del Rosario Huemer de Gómez  
Hernando Mesa Pérez  
Felix García Motta  
Miguel Antonio Ochoa Díaz

#### Suplentes

Héctor Cifuentes Delgado  
Germán Augusto Figueroa  
Enrique Sandoval García  
Jaime D. Batemán Durán  
Germán Silva Fajardo  
Héctor Parra Ferro  
Gladys de Valderrama  
Ana Claudia Obando  
Alvaro Vásquez Osorio  
Carlos Bermúdez Lozano

#### FUNCIONARIOS :

Secretario Ejecutivo : Fernando Bazzani Rozo  
Asesor de la Presidencia : Antonio José Angulo R.  
Director de Anales : Felipe Estrada Escobar  
Revisor Fiscal : Héctor Vega Garzón  
Tesorero : Silvio Sáenz Suárez

**LAS OPINIONES Y CONCEPTOS EMITIDOS  
EN CADA UNO DE LOS TRABAJOS EDITADOS  
EN ESTAS MEMORIAS SON RESPONSABILIDAD  
DE SUS AUTORES.**

**CUALQUIER OBSERVACION DIRIGIDA  
A LA OFICINA NACIONAL PARA LA  
PREVENCION Y ATENCION DE DESASTRES,  
SERA BIEN RECIBIDA.**

CONTENIDO  
TOMO II

- PALABRAS DEL REPRESENTANTE DE LA UNDRU INGENIERO DUSAN ZUPKA, EN LA CEREMONIA DE INSTALACION .....	2
- PALABRAS DEL PRESIDENTE DE LA SOCIEDAD COLOMBIANA DE INGENIEROS, INGENIERO LUIS EDUARDO LAVERDE L., EN CEREMONIA DE INSTALACION .....	5
- LAS PRINCIPALES CONCLUSIONES Y ENSEÑANZAS DE LOS GRANDES SISMOS OCURRIDOS EN LOS ULTIMOS 9 MESES .....	12
- EL SISMO DE 1985 EN LA CIUDAD DE MEXICO -ATENCION MEDICA-, -EXPERIENCIAS Y ENSEÑANZAS- .....	17
- AMENAZAS DE SEGUNDO ORDEN INDUCIDAS POR TERREMOTOS	48
- EFECTOS ECONOMICOS DIRECTOS E INDIRECTOS DE LOS TERREMOTOS SEGURO CONTRA TERREMOTOS .....	61
- ESTUDIOS DE MICROZONIFICACION SISMICA PARA LA PLANIFICACION URBANA Y EL DISEÑO .....	76
- PROYECTO INTEGRAL PARA LA MITIGACION DEL RIESGO SISMICO DE CALI .....	91

**SISTEMA NACIONAL PARA LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES  
SOCIEDAD COLOMBIANA DE INGENIEROS**

**SEMINARIO**

**DESASTRES SISMICOS EN GRANDES CIUDADES  
"Enseñanzas en Mitigación y Operativos de Emergencia"**

**PALABRAS DEL REPRESENTANTE DE LA UNDR0  
EN LA CEREMONIA DE INSTALACION**

**UNDR0  
Dusan Zupka  
Oficial de Programas  
Ginebra-Suiza**

## **Discurso del Ingeniero D. Zupka UNDRO, Ginebra**

Es un gran honor para mi reunirme con Vds. esta tarde y poder dirigirles unas palabras durante la apertura del Seminario "Desastres sísmicos en grandes ciudades" en nombre de la UNDRO. Quisiera agradecer a todas las personas e instituciones que han contribuido a la preparación de este evento y a quienes van a participar activamente en su desarrollo durante los tres días siguientes. Agradecimiento especial, acompañado con las expresiones de máxima felicitación, pertenece al Gobierno de la República de Colombia y a todos los organismos colombianos, que han convertido la idea de organizar un seminario internacional sobre enseñanzas en mitigación y operativas de emergencia relacionados con los grandes terremotos, en un hecho.

Es singularmente grata y adecuada la ocasión puesto que la cuadragésima cuarta (44) Asamblea General de las Naciones Unidas proclamó en diciembre pasado el Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales a partir del 1º de enero de este año y decidió designar el segundo miércoles de octubre como Día Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales, que la comunidad internacional observará todo los años durante el Decenio.

No cabe ninguna duda que este seminario va a representar una valiosa y significativa contribución par alcanzar las metas y objetivos del Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales.

La iniciativa para organizar este evento nació originalmente dentro del "Programa de la Mitigación de los Desastres en Colombia" co-ordinado por la UNDRO y la Oficina Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (OND) con la ayuda financiera del Gobierno de Canadá. Posteriormente se han unido a esta iniciativa el PNUD, OPS, la Sociedad Colombiana de Ingenieros y el Fondo Nacional de Calamidades. Gracias a los esfuerzos coordinados de estas instituciones hemos logrado la presencia de los destacados conferencistas de los tres continentes del mundo y participantes de todos los países de las regiones frecuentemente afectados por grandes sísmos, así que podemos hablar del seminario de la transcendencia interregional.

El suceso de un terremoto de una gran magnitud e intensidad no representa automáticamente un desastre o una catástrofe natural. Los desastres son siempre en resultado entre un agente productor y una población vulnerable. Si no existe una ecuanimidad entre las necesidades de ayuda y la capacidad de respuesta de la comunidad afectada, el desastre es inevitable.

A pesar de las tecnologías muy sofisticadas conocidas en la actualidad, nuestra civilización moderna es muy vulnerable en cuanto a los desastres naturales. Paradójicamente su vulnerabilidad crece y los riesgos aumentan con nuestro desarrollo como consecuencia de:

- (a) el crecimiento rápido de la población y la consiguiente concentración de la gente y los valores en las áreas urbanas, sobre todo en los países en vías de desarrollo;
- (b) el reciente desequilibrio económico y social entre los países desarrollados y los países en vías de desarrollo;
- (c) el desarrollo industrial y tecnológico acompañado muy frecuentemente con la introducción de tecnologías peligrosas;
- (d) la degradación del medio ambiente como resultado del aprovechamiento de la tierra inadecuada;
- (e) el crecimiento permanente de los edificios a riesgo y líneas de vida frágiles.

De esto resulta que, durante el seminario tendríamos que intercambiar nuestras experiencias y conocimientos de los terremotos en grandes ciudades e identificar las principales acciones y estrategias que nos permiten disminuir más la vulnerabilidad y mitigar el riesgo sísmico.

Nuestra sociedad dispone del conocimiento y tecnologías muy avanzadas para mitigar los impactos negativos de los sismos. El problema es que estos no se transfieren a todas las comunidades y no se aplican en la forma adecuada. Estas son también las conclusiones de la UNDRO después de evaluar los grandes desastres sísmicos en Argelia, Perú, Irán y Filipinas ocurridos en los últimos meses.

Esperemos que nuestras conclusiones y recomendaciones tengan la constructiva aceptación de los altos políticos en todos los países localizados en zonas sísmicamente activas, para tomar medidas más eficaces destinadas a disminuir los efectos devastadores de los sismos sobre la gente, sus propiedades y medio ambiente.

Mi saludo a todos los participantes y organizadores del seminario a los que deseo el pleno éxito en cumplimiento de sus objetivos.

\* \* \* \* \*

**SISTEMA NACIONAL PARA LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES  
SOCIEDAD COLOMBIANA DE INGENIEROS**

**SEMINARIO**

**DESASTRES SISMICOS EN GRANDES CIUDADES  
"Enseñanzas en Mitigación y Operativos de Emergencia"**

**PALABRAS DEL PRESIDENTE DE LA SOCIEDAD COLOMBIANA  
DE INGENIEROS EN LA CEREMONIA DE INSTALACION**

**SOCIEDAD COLOMBIANA DE INGENIEROS  
Luis Eduardo Laverde L.  
Presidente  
Bogotá-Colombia**

PALABRAS DEL PRESIDENTE DE LA SOCIEDAD COLOMBIANA DE INGENIEROS, INGENIERO LUIS EDUARDO LAVERDE L., EN LA INSTALACION DEL SEMINARIO INTERNACIONAL "DESASTRES SISMICOS EN GRANDES CIUDADES. ENSEÑANZAS SOBRE MITIGACION Y OPERATIVOS DE EMERGENCIA". BOGOTA, 24 AL 27 DE JULIO DE 1990.

#### **Colegas y amigos:**

Las alteraciones en la forma física de la corteza terrestre son propias de la configuración misma de nuestro planeta. Hace miles de años, cuando en él apareció nuestra especie y evolucionó hasta poder identificar el fenómeno del cambio físico de su hábitat, buscó atemorizada una explicación, y la relacionó con la iracundia de sus dioses.

Cientos de años más tarde, los primeros científicos formularon sus teorías al respecto, y apareció entonces el término: "sismo".

El paso de los distintos núcleos humanos, de su estado inicial agrícola al de una sociedad urbana; la densificación de las metrópolis y su crecimiento en altura, fueron razones claras para hablar del término "desastre". Y más específicamente de "desastre sísmico".

Y existe razón en ello: La pérdida de vidas humanas, de bienes de capital y de la infraestructura de nuestras ciudades, ocasionada por los fenómenos mencionados, constituye un desastre sísmico, que hoy tiene por qué ser aún más temido que en tiempos ancestrales, debido al factor multiplicador, implícito en los conglomerados urbanos.

La ciencia de la sismología es nueva. Está apenas dando sus primeros pasos, pero éstos han sido determinados y firmes. Ha habido logros significativos en la determinación del riesgo sísmico de las regiones, de la probabilidad de eventos de una determinada magnitud en la vida útil de las obras construidas por el hombre, en el diseño y la construcción de edificaciones sísmo resistentes, y en la elaboración de sus correspondientes normas.

Hoy el mundo entero espera el avance de esta ciencia hacia el pronóstico de la ocurrencia de los desastres sísmicos; hacia su prevención, mitigación y operativos de emergencia, en el caso de su inevitable aparición, aprendiendo de las dolorosas experiencias de desastres naturales que continuamente azotan al mundo.

Y éste, señoras y señores, es el especial motivo que hoy nos congrega. Las disertaciones de nuestros invitados especiales, técnicos calificados a nivel mundial, nos permitirán ampliar nuestros planes de acción, y concentrar nuestros esfuerzos sobre la base del concepto de la planeación, logrando así aminorar, en un corto plazo, las situaciones de emergencia que debamos afrontar.

La Oficina Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, de la Presidencia de la República, y la Sociedad Colombiana de Ingenieros, con el apoyo del proyecto "Mitigación de Riesgos en Colombia", la Oficina de Naciones Unidas para la Atención en Casos de Desastre (UNDRR); la Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional (ACDI); la Organización Panamericana

de la Salud (OPS), y el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), han querido organizar este seminario internacional "Desastres Sísmicos en Grandes Ciudades. Enseñanzas Sobre Mitigación y Operativos de Emergencia", con el objetivo específico de mostrar y enseñar a los estamentos del Estado, a los gremios, las universidades y las instituciones del sector, el estado del arte a nivel mundial en este campo.

Así, mediante el análisis de investigaciones posteriores a la ocurrencia de desastres naturales, tales como los terremotos de Montenegro, Yugoslavia, en 1979, de Popayán, en 1983; de México, en 1985, y el de California, en 1989, así como sobre la base de datos instrumentales y de estudios regionales y locales, esperamos concientizar al Estado colombiano y a la ciudadanía en general, de la necesidad de emprender nuevas acciones y de reforzar otras, en el campo de la prevención y atención de desastres naturales, en especial cuando somos conscientes de que habitamos en un país en donde el mayor grado de amenaza en lo concerniente a desastres naturales, lo constituye el riesgo sísmico.

Con cuáles recursos técnicos, económicos y humanos contamos en Colombia para hacer frente a una situación calamitosa, sea cual fuere su naturaleza? Este es uno de los tantos interrogantes, a los que se dará respuesta durante este encuentro. La Sociedad Colombiana de Ingenieros considera que en materia de prevención y atención de desastres sísmicos, Colombia está dando pasos trascendentales.

La elaboración y adopción del Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes, Decreto 1.400 de 1984, en cuya ejecución la SCI tuvo amplia participación, implantó un nuevo concepto en el diseño y la construcción de edificaciones en el país. Gracias a él, toda la vivienda construida en Colombia desde 1985, se ha edificado siguiendo las normas sismo resistentes del Código. Aún para las viviendas económicas, la adopción de esta norma no ha sido un requisito insuperable, como tampoco lo ha sido para los sistemas estructurales prefabricados industrializados, que, mediante estudios y experimentación, han hecho sus productos compatibles con los requerimientos del Código.

Con la implantación del Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes se concientizó al Gobierno y a la ciudadanía en general, de que vivimos en una zona sísmica y que, por consiguiente, las edificaciones que se construyan deben cumplir unos ciertos requisitos, los cuales constituyen el diseño sismo resistente.

Para fortuna de nuestro país, hoy el Código es la Ley aceptada y respaldada por los Ingenieros, los Arquitectos, el Gobierno y los particulares.

Con posterioridad al Decreto 1.400 de 1984, y para reforzar las políticas de mitigación del riesgo sísmico, el Gobierno Colombiano creó, mediante la promulgación de la Ley 46 de 1988, el Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres. Al año siguiente, en 1989, expidió el Decreto Extraordinario 919, por el

cual se organiza el sistema y se dictan otras disposiciones, logrando codificar, de manera integral, las normas nacionales sobre desastres.

Con base en ello, las distintas entidades gubernamentales del orden nacional, regional y local están obligadas a participar en las fases de prevención, atención y recuperación en situaciones de emergencia.

Las normas descritas imponen, igualmente, la incorporación del concepto de prevención de riesgos en los planes de desarrollo regional y urbano, y en el diseño y construcción de obras de infraestructura.

#### **Vulnerabilidad en las obras de infraestructura**

En este seminario sobre Desastres Sísmicos en las Grandes Ciudades, la Sociedad Colombiana de Ingenieros desea resaltar el concepto de vulnerabilidad, factor que, de no tenerse en cuenta, seguirá atentando contra nuestras obras públicas, el bienestar y la vida de los colombianos.

La vulnerabilidad tiene que ver con los elementos de riesgo, asociados al planeamiento y diseño de obras de infraestructura, y al ataque al sistema por parte de agentes internos o externos.

La concepción realista de la segura ocurrencia de fallas debe involucrarse en las etapas de planeamiento y diseño. Así mismo, deben considerarse, desde el inicio, medidas preventivas para controlar el evento y obtener el menor impacto socio-económico. Es indispensable definir planes de contingencia con

anterioridad a la ocurrencia de eventos graves, e identificar los elementos necesarios para la pronta recuperación y puesta en marcha de las obras.

Corresponde a nuestro gremio, en sus distintas disciplinas, efectuar el estudio, investigación, y diseños que contengan los elementos de vulnerabilidad en cada uno de los proyectos de obras de Ingeniería.

En la Década Mundial de la Prevención de Desastres, así declarada por la Asamblea de las Naciones Unidas a partir del presente año, es preciso informar y concientizar a nuestra nación de estos aspectos. Seminarios como éste contribuyen en forma espléndida con este objetivo. La prevención de desastres es una preocupación mundial. Y ante los cada vez mayores efectos de los desastres naturales, no podemos permitirnos el improvisar.

**GRACIAS.**

**SISTEMA NACIONAL PARA LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES  
SOCIEDAD COLOMBIANA DE INGENIEROS**

**SEMINARIO**

**DESASTRES SISMICOS EN GRANDES CIUDADES  
"Enseñanzas en Mitigación y Operativos de Emergencia"**

**LAS PRINCIPALES CONCLUSIONES Y ENSEÑANZAS DE LOS GRANDES  
SISMOS OCURRIDOS EN LOS ULTIMOS 9 MESES**

**UNDRO  
Dusan Zupka  
Oficial de Programas  
Ginebra-Suitza**

## Las Principales Conclusiones y Enseñanzas de los Grandes

### Sismos Ocurridos en los Ultimos 9 Meses

En los últimos 9 meses en nuestro planeta muy activo han ocurrido cuatro sismos que en los términos de sus magnitudes y las consecuencias devastadoras sobre la población, sus propiedades y medio ambiente, podríamos denominar como los grandes sismos. Se trata de los terremotos de Argelia (octubre 1989), Perú (mayo 1990), Irán (junio 1990) y Filipinas (julio 1990).

UNDR0, después de recibir la solicitud de asistencia externa, ha ayudado directamente a estos países a disminuir los impactos trágicos de los sismos y ha coordinado y movilizó la ayuda internacional.

Las conclusiones y enseñanzas de estos eventos indican varias causas que han elevado el número de las víctimas y los daños económicos.

Algunas de estas causas se han identificado en la siguiente forma:

#### Argelia - Octubre 1989

1. La mala calidad de construcción, los principales errores constructivos se han identificado en amarres entre muros/muros/techos.
2. La falta de control de la calidad de la construcción de parte de las autoridades.
3. El código antisísmico no es obligatorio para las casas pequeñas hasta 1-3 pisos.
4. La falta de la coordinación y cooperación entre las entidades diferentes de la protección civil.

#### Perú - Mayo 1990

1. Casi el 100% de los daños han sido en construcciones de tapial y adobe, falta de cimiento y techos muy pesados.
2. Los errores de construcción más evidentes: amarres - muro/muro, muro-techo, proceso de fabricación de adobe, falta de cimiento, techos muy pesados.
3. Antigüedad de las construcciones, varias debilitadas por sismos anteriores.

4. Condiciones locales del subsuelo.
5. Licuación de suelos.

Irán - Junio 1990

1. La mala calidad de construcción, errores en amarres - muro/muro/techo, techos muy pesados, falta de cemento.
2. Condiciones locales del subsuelo.
3. Comunicación terrestre interrumpida (vías, puentes dañados).

De otra parte, la respuesta del Sistema Nacional de la Protección Civil era excelente y muy eficaz.

Filipinas - julio 1990

1. Errores de construcción incluyeron los grandes hoteles de lujo (HYATT, NEVADA, BAGUIO PARK), Hospital General de Baguio, la grande fábrica de textiles y un gran colegio en Cabanatuan.
2. Comunicación terrestre totalmente interrumpida (colapso de vías y fuentes).
3. Servicio de electricidad suspendida.
4. Por falta de comunicación se ha perdido durante largo tiempo cualquier contacto con la región afectada.

Caso Irán - Terremoto del 21 de junio de 1990

El 21 de junio del presente año ocurrió un sismo de magnitud 7.3 en la escala Richter en la parte nor-occidental del Irán, afectando las provincias de GILAN y ZANIAN en las montañas ELBRUZ.

La peor devastación tuvo lugar especialmente en las ciudades RUDBAR, MANJIL y LOUSHAN que se encuentran en los valles de los ríos SHAH y SEFIK y en varios centenares de los pequeños pueblos localizados en las alturas entre 300 hasta 2.000 metros sobre el nivel del mar. En esta región colapsaron entre 60-90% de las casas y edificios.

La última estimación oficial dice que el sismo ha ocasionado aproximadamente entre 40 y 50 mil muertos y 60.000 heridos, de los cuales 8.400 fueron hospitalizados. Sin vivienda se han quedado aproximadamente 500.000 personas. (México - 5.000-7.000 víctimas, Armenia -25.000 víctimas).

Un sismo similar ocurrió en esta parte del Irán en el año de 1962 con magnitud 7.3% en la escala Richter, originado en el área BU'IN (aproximadamente 100 kms al sur del suceso de 1990). El sismo de 1962 ocasionó 12.200 víctimas.

En las tres ciudades más afectadas, las casas y los negocios eran en muy raros casos de tres pisos. A veces los ladrillos y el mortero eran reforzados con los ramos de acero. Las causas principales del colapso de las construcciones fueron las rupturas de las conexiones en el marco de acero soldadas en una forma muy pobre y los techos muy pesados. Estos techos se han construido de postes de madera con una tapa gruesa de lodo seco con una resistencia extremadamente baja contra las vibraciones.

En la ciudad de Manjil murieron aproximadamente 8.000 personas de las 25.000 residentes, 90% de los edificios han colapsado. En el Rudbar ha colapsado 70% y en el Lushan 60% de las casas. El resto de las construcciones quedaron seriamente destruidas e inhabitables.

Los servicios de agua potable, electricidad y los teléfonos se interrumpieron completamente.

Gracias a Dios no ha colapsado la grande represa de concreto de 100 metros de altura que se encuentra sólo a 6 kilómetros de la ciudad de Rudbar (30.000 habitantes). Esta construcción ha presentado pequeñas grietas horizontales en la parte superior hasta el nivel del agua.

Las residencias y los edificios comerciales no han resistido las vibraciones violentas como consecuencia de:

- Faltas en las soldaduras de los ramos de acero.
- Los techos extremadamente pesados; algunos eran formados de cuatro estratos de los ladrillos de lodo y los postes de madera.
- Los amarres de los páneces de mampostería con los marcos de acero eran casi inexistentes.
- Los amarres muro/muro, muro/techo eran inadecuados.

Antes de terminar mi discurso, quisiera subrayar una enseñanza ampliamente conocida pero a menudo olvidada. No son los sismos los que matan a la gente y destruyen sus propiedades, es la ignorancia en la construcción no apropiada en las áreas afectadas por los terremotos

**SISTEMA NACIONAL PARA LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES  
SOCIEDAD COLOMBIANA DE INGENIEROS**

**SEMINARIO**

**DESASTRES SISMICOS EN GRANDES CIUDADES  
"Enseñanzas en Mitigación y Operativos de Emergencia"**

**EL SISMO DE 1985 EN LA CIUDAD DE MEXICO  
ATENCIÓN MEDICA  
Experiencias y Enseñanzas**

**SERVICIOS MEDICOS  
Roberto Castañon Romo  
Director General  
Distrito Federal  
México**

## EL SISMO DE 1985 EN LA CIUDAD DE MEXICO

### ATENCION MEDICA

#### Experiencias y Enseñanzas

DR. ROBERTO CASTAÑON ROMO.

#### 1. CARACTERISTICAS GENERALES Y DE SALUD.

La Ciudad de México se encuentra en la región suroeste de la cordillera neovolcánica que se extiende del Atlántico al Pacífico, siguiendo el paralelo 19; es una zona altamente sísmica localizada en la Meseta Central del País, se trata de una cuenca cerrada que tiene una altura promedio de 2,255 metros sobre el nivel del mar. Está conformada por 1,499 Km<sup>2</sup> del Distrito Federal y 1,821 Km<sup>2</sup> de los municipios conurbanos del Estado de México, haciendo un total de 3,320 Km<sup>2</sup>. Su clima es templado con una temperatura media anual de 19 grados centígrados, con intensas lluvias en verano y con una precipitación pluvial promedio anual de 700 mm.

Su crecimiento poblacional durante las últimas décadas ha sido explosivo, ya que de 1'962,278 habitantes en 1940 se llegó a 13'921,372 habitantes en 1980, lo cual demuestra una tendencia exponencial, como se aprecia en el cuadro 1.

CUADRO 1

TASA DE CRECIMIENTO DE LA CIUDAD DE MEXICO

A Ñ O	TASA DE CRECIMIENTO ANUAL	POBLACION
1940	5.36	1'962.278
1950	5.07	3'307.566
1960	5.27	5'426.000
1970	4.33	9'066.723
1980	4.17	13'921.372
1989		17'872.971

Fuente: Atlas de la Ciudad de México.

Para 1989, la población estimada alcanza aproximadamente 18.0 millones de habitantes, de los cuales 11.0 millones que equivale al 60%, habitan en el Distrito Federal, y los 7.0 millones restantes que comprenden el 40%, corresponden a los 17 municipios conurbanos del Estado de México.

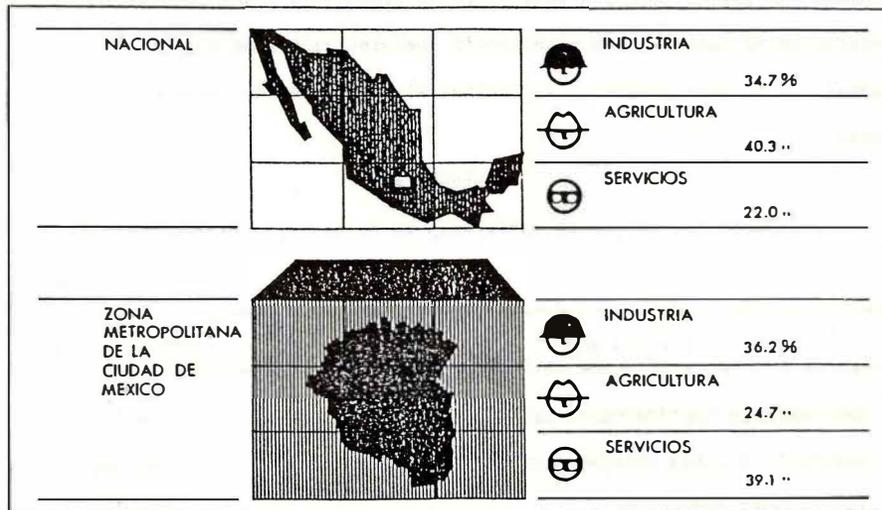
La distribución de la población en los últimos años, ha mostrado una disminución en los grupos etareos de 0-4 y de 5 a 9 años, teniéndose que el 31.8% de la población pertenece al grupo de 0-14 años, el 65% de 15-64 años, y solo el 3.2 de la población es mayor de 64 años.

La tasa de natalidad en forma general, ha sufrido un descenso considerable ya que para 1970 ésta era de 41.4 y para 1985 fue de 26.2 por 1,000 habitantes.

En cuanto a los aspectos económicos de acuerdo a la rama por actividad, la población económicamente activa se distribuye porcentualmente con 24.7% en el sector agropecuario y forestal, con el 36.2% en la industrial y el restante en el de servicios; porcentajes superiores a los nacionales con excepción del agropecuario.

GRAFICA 1

DISTRIBUCION DE LA POBLACION ECONOMICAMENTE ACTIVA



En materia de salud, tenemos que en la Ciudad de México se presentan como principales causas de morbilidad y mortalidad, un patrón mixto caracterizado por - enfermedades infecto-contagiosas presentes en poblaciones subdesarrolladas y - las enfermedades crónico-degenerativas, accidentes y violencias, representantes del desarrollo y la industrialización.

En lo referente a la morbilidad general, según demanda de atención, existe una incidencia ascendente, ya que en 1978 la tasa de morbilidad fue de 69.1 por - 1,000 de habitantes, y en 1984 la tasa alcanzó 144.9 por 1,000 habitantes.

Dentro de las principales causas de morbilidad, según demanda de atención, se encuentran las enfermedades infecto-contagiosas que predominan sobre las demás. Así tenemos que desde 1978 hasta 1984 las enfermedades respiratorias agudas - ocupaban el primer lugar, siguiéndoles en frecuencia las enteritis y otras enfermedades diarreicas, las parasitosis (Helmintiasis y Amibiasis), y los síndromes carenciales (Anemia y Avitaminosis), situación que se conserva a la - fecha.

#### CUADRO 2

#### PRINCIPALES CAUSAS DE ENFERMEDAD EN EL DISTRITO FEDERAL EN 1984

C A U S A S	C A S O S
ENFERMEDADES RESPIRATORIAS ALTAS	1'050.881
ENTERITIS Y OTRAS ENFERMEDADES DIARREICAS	295.389
PARASITOSIS INTESTINAL	140.584
AMIBIASIS	61.255
ACCIDENTES	51.375

En lo relativo a la mortalidad general, en los últimos 20 años, ésta ha demostrado una tendencia descendente, ya que en 1960 se tenía una tasa de 12.9; en 1970 la tasa disminuyó a 9.7, para 1980 se redujo a 7.3 y en 1985 fue de 5.4.

En general se puede decir que las principales causas de mortalidad de la población del Distrito Federal, han sufrido cambios importantes en los últimos años, observándose una disminución de las enfermedades infecto-contagiosas, un aumento de las enfermedades crónico-degenerativas y un importante incremento de los accidentes.

### CUADRO 3

#### PRINCIPALES CAUSAS DE MORTALIDAD GENERAL EN EL DISTRITO FEDERAL 1981

No.	C A U S A S	DEFUN- CIONES	TASA	%
1	ENFERMEDADES DEL CORAZON	6.133	62.9	12.6
2	ACCIDENTES	4.699	48.2	9.7
3	TUMORES MALIGNOS	4.550	46.3	9.3
4	INFLUENZA Y NEUMONIA	3.651	37.4	7.5
5	CIERTAS AFECCIONES ORIGINADAS EN EL PERIODO PERINATAL	3.604	37.0	7.4
6	DIABETES MELLITUS	3.566	36.6	7.4
7	CIRROSIS Y OTRAS ENFERMEADES CRONICAS DEL HIGADO	3.296	33.8	6.8
8	ENTERITIS Y OTRAS ENFERMEDADES DIARREICAS	2.308	23.7	4.8
9	ENFERMEDADES CEREBRO-VASCULARES	2.254	23.1	4.6
10	BRONQUITIS, ENFISEMA Y ASMA	1.576	16.2	3.3
TOTAL DE LAS CAUSAS		12.589	132.2	26.6
T O T A L		48.486	5.0	26.6

Fuente: Dirección General de Estadística.

\*Tasa: Por 100.000 habitantes, excepto el total que es por 1.000

Destacan dentro de los daños mencionados, lo relacionado con los accidentes y violencias que son las causas que generan la mayor parte de las urgencias que se presentan en las grandes urbes.

En el Distrito Federal, desde 1981 los accidentes son la segunda causa de muerte y alcanza 6,220 defunciones de aproximadamente 60,000. Esto representa que de 10 defunciones en el Distrito Federal, cuando menos una ha sido ocasionada por accidente.

En cuanto a la esperanza de vida de 1940 a 1988, mejoró en forma sustancial, - pasando de 44 a 72.5 años; el incremento es mayor en el sexo femenino, alcanzando 74.9 años, mientras que en el masculino es de 70.1 años.

#### CUADRO 4

#### ESPERANZA DE VIDA AL NACER

A Ñ O	ESPERANZA DE VIDA (AÑOS)
1940	44
1950	54.1
1960	58.9
1970	61.9
1980	64.0
1988	69

Fuente: México Demográfico  
Consejo Nacional de Población 1982.

México, como otros países, debido a sus características geográficas, topográficas, hidrográficas, geológicas y ambientales, está expuesto a los riesgos y a las consecuencias de diversos tipos de desastres, bien que éstos sean de origen natural o tecnológico.

En mi País, las causas principales de desastres son los sismos y los huracanes, ambos son fenómenos naturales que ocasionan serios perjuicios a la salud y al ambiente, debido al impacto de su fuerza y al extenso perímetro de las zonas afectadas.

No obstante que es cierto que los desastres nunca son iguales, se ha observado que los siniestros poseen rasgos comunes que deben de ser tomados en consideración al planear la atención a la salud que debe de proporcionarse en esos casos, trátese de atención pre-hospitalaria u hospitalaria, de servicios de salud pública o de bienestar social. De tal manera, que cada vez se vaya perfeccionando más y más, la administración de los servicios de salud en situaciones de emergencia.

Existe una relación entre el tipo de desastre y sus efectos sobre la salud. Así en términos generales tenemos que los sismos causan muertes y lesiones severas que requieren atención inmediata, mientras que los huracanes, al poder ser detectados con antelación permiten que se efectúe una acción preventiva que disminuye los daños a la salud.

Después de que ocurre un desastre, los peligros reales y potenciales para la salud no se presentan simultáneamente, si no que tienden a manifestarse en -

diferentes momentos, alcanzando diferentes proporciones, dentro del área afectada.

Lo anterior se observó dentro de las consecuencias desastrosas que sobrevinieron al ocurrir el terremoto en Septiembre de 1985. Durante las primeras horas se registró un número elevado de muertos y heridos. A ello siguió el peligro de la enfermedad, básicamente la de tipo infeccioso, ya que resultaron afectados los servicios públicos tales como: los de abastecimiento de agua potable y drenaje. Lo anterior motivó que se elaboraran programas de control epidemiológico, salud mental y bienestar social enfocado básicamente hacia la población directamente afectada.

#### DAÑO GENERAL:

Los terremotos que afectaron a la Ciudad de México los días 19 y 20 de Septiembre de 1985, produjeron una situación de desastre de tal magnitud que afectaron la vida de toda la Ciudad. De un modo u otro los ciudadanos se vieron perjudicados.

Afortunadamente las zonas afectadas directamente fueron pocas.

El primer terremoto fue el de mayor duración e intensidad registrado este siglo en México. El segundo dañó las estructuras de los edificios ya dañados por el primer sismo.

CUADRO 5

CARACTERISTICAS DEL SISMO DE 1985  
CIUDAD DE MEXICO

CARACTERISTICAS	F E C H A	
	SEPTIEMBRE 19, 1985	SEPTIEMBRE 20, 1985
HORA	07.19	19.38
ESCALA DE RICHTER	8.1	7.5
DURACION	2.1 MINUTOS	1 MINUTO
EPICENTRO	A 370 KILOMETROS DE LA CIUDAD DE MEXICO.	A 370 KILOMETROS DE LA CIUDAD DE MEXICO.

Si se compara el terremoto ocurrido en el Distrito Federal, con los terremotos que han acaecido en todo el mundo, resulta que el número de sus víctimas resultó relativamente inferior, como lo muestra el cuadro 6.

CUADRO 6

TERREMOTOS IMPORTANTES DE ESTE SIGLO

F E C H A	LUGAR	NUMERO DE VICTIMAS	ESCALA RICHTER
JULIO 28, 1976	CHINA	242.000	8.0
MAYO 22, 1927	CHINA	200.000	8.3
DICIEMBRE 6, 1920	CHINA	180.000	8.6
SEPTIEMBRE 1, 1923	JAPON	43.000	8.3
DICIEMBRE 28, 1908	ITALIA	75.000	7.5
DICIEMBRE 26, 1932	CHINA	70.000	7.6
MAYO 31, 1970	PERU	66.000	7.8
ENERO 24, 1939	CHILE	30.000	8.3
MAYO 31, 1935	INDIA	30.000	7.5
ENERO 13, 1915	ITALIA	29.000	7.0

En el cuadro 7 figura una síntesis del daño general. Los servicios de agua, - teléfono y luz eléctrica se suspendieron en diferentes zonas y en diferentes - momentos.

CUADRO 7

SERVICIOS PUBLICOS AFECTADOS

TIPO DE SERVICIO	NUMERO O PORCENTAJE	CARACTERISTICAS DEL DAÑO
ESCUELAS	137	DERRUMBADAS
	101	DAÑADAS
MERCADOS	14	5% DERRUMBADOS
	46	16% DAÑADOS
AGUA	117	SITIOS DE RUPTURA DE - RED PRIMARIA DE AGUA.
	2.800	SITIOS DE RUPTURA DE - DE RED SECUNDARIA DE - AGUA.
	45%	POBLACION SIN ABASTECI- MIENTO DE INTRADOMICI- LIARIO DE AGUA.
ENERGIA ELECTRICA	40%	POBLACION SIN ESTE SER- VICIO.
TELEFONO	70%	SERVICIO LOCAL
	95%	SERVICIO DE LARGA DIS- TANCIA.
BANCOS	10%	FUERA DE SERVICIO
TRANSITO	40%	INTERRUMPIDO

La red primaria de aguas corrientes que abastece a la Ciudad de México sufrió 117 rupturas y la red secundaria más de 2,800. Por lo anterior cerca del 45% de la población carecía de este servicio.

Quedó suspendido cerca del 95% de las líneas telefónicas internacionales y - cerca del 70% del servicio telefónico local.

Referente a energía eléctrica, cerca del 40% de la población quedó sin éste - servicio.

137 Escuelas se derrumbaron y 301 resultaron dañadas.

5% de los Mercados de la Ciudad de México se derrumbaron y aproximadamente el 10% de los bancos quedó fuera de servicio.

El tránsito se interrumpió cerca de un 40%.

A pesar de ser elevado el número de construcciones que se derrumbaron o que - fueron dañadas, la proporción es relativamente baja en relación con el número total de edificios existentes en la Ciudad de México.

CUADRO 8

TERREMOTOS EN LA CIUDAD DE MEXICO  
SUS EFECTOS SOBRE LOS EDIFICIOS

GRADOS DE SEVERIDAD DE LOS EDIFICIOS DAÑADOS	N U M E R O	POR CIENTO DEL TOTAL DE EDIFICIOS
LEVE	45.000	3.2
MODERADO	3.949	0.3
SEVERO	1.130	0.08
DERRUMBADO	421	0.03
T O T A L	50.499	3.60

NOTA: Según los informes del Registro Público de la Construcción en la Ciudad de México existen un total de 1'404.000 edificios en el - Distrito Federal.

EFECTOS SOBRE LA SALUD.

Respecto al número de muertes por el siniestro existe una gran controversia.

El número oficial de cuerpos rescatados es de 4,500. Se cree que esa cifra - representa únicamente la mitad del total de víctimas, ya que muchos cuerpos - no se recuperaron y no fue posible seguir el rastro de todos los casos de gen - te reportada como desaparecida.

Durante los primeros dos días la atención médica que se prestó consistió en - dar tratamiento a las personas que requerían del mismo, en especial a los le-

sionados físicamente. Durante los días que siguieron se tomaron medidas de - salud pública. A continuación se inició el control epidemiológico y el tratamiento de las alteraciones mentales.

Más de 30,000 personas con lesiones menores se trataron y 9,597 con lesiones mayores. De éstas, 1,879 fueron hospitalizadas en Instituciones Privadas y Públicas, de las cuales, fallecieron 238.

CUADRO 9

SERVICIOS MEDICOS PROPORCIONADOS POR EL SECTOR SALUD  
LESIONES MAYORES

INSTITUCION	NUMERO DE INDI VIDUOS ATENDI- DOS.	HOSPITALIZADOS	PERMANECEN HOS PITALIZADOS OCTUBRE 21, 85	MUERTES HOSPITAL
SECTOR PUBLICO	8.762	1.510	423	209
SECTOR PRIVADO	835	369	30	29
T O T A L	9.597	1.879	453	238

En el cuadro 10 podemos observar que el grupo de edad más afectada fue el de - 15 a 44 años. Lo cual representa el 43% del total de pacientes tratados. Del número total de pacientes en Hospitales, cerca del 52% eran de sexo femenino.

CUADRO 10

DISTRIBUCION POR EDADES DE LOS INDIVIDUOS QUE RECIBIERON  
ALGUN TIPO DE ATENCION MEDICA

GRUPO DE EDAD	NUMERO	TANTO POR CIENTO
- 1	39	1.6
1 - 4	46	1.9
5 - 14	162	6.6
15 - 24	467	19.0
25 - 44	594	24.1
45 - 64	242	9.8
65	105	4.3
DESCONOCIDOS	805	32.8
<b>T O T A L</b>	<b>2.460</b>	<b>100</b>

NOTA: Estas cifras se obtuvieron de una investigación nuestra realizada en 27 Hospitales del Distrito Federal.

De los pacientes hospitalizados aproximadamente un 20% requirió de tratamiento quirúrgico y un 13% precisó de tratamiento ortopédico.

Aproximadamente 62% de los pacientes hospitalizados con lesiones requerirán de rehabilitación.

En el cuadro 11 se ilustra con base a los registros de una de las instituciones del Sector Salud el tipo y topografía de la lesión que se presenta con mayor frecuencia.

CUADRO 11

POBLACION ATENDIDA EN LOS SERVICIOS MEDICOS DEL DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL EN LOS PRIMEROS 5 DIAS POSTERIORES AL SISMO DE 19 DE SEPTIEMBRE DE 1985, SEGUN TIPO Y TOPOGRAFIA DE LA LESION

Lesión/ topografía	Cabeza y cuello	Columna vertebral	Miembro superior	Miembro inferior	Tronco	Otras	Suma de regio- trazos (x)	Sin espe- cificar	Total(x)
Contusión	21	4	24	37	20	-	106 (25)	50	156 (18)
Herida	39	2	28	16	5	-	90 (21)	5	95 (11)
Fractura	13	1	34	41	15	-	104 (24)	116	220 (25)
Quemadura	-	1	-	1	1	-	3 (1)	1	4 ( )
Intoxicación	-	-	-	-	-	15	15 (4)	-	15 (2)
Trauma Polico- lógico	-	-	-	-	-	109	109 (25)	-	109 (13)
Suma de regio- trazos (x)	73 (17)	8 (2)	86 (10)	95 (22)	41 (10)	124 (29)	427 (100)	-	-
sin especificar	16	-	-	1	4	13	-	237	271 (31)
<b>TOTAL</b>	<b>89 (10)</b>	<b>8 (1)</b>	<b>87 (10)</b>	<b>99 (12)</b>	<b>54 (6)</b>	<b>124 (14)</b>	<b>-</b>	<b>409 (47)</b>	<b>870 (100)</b>

$\chi^2 = 36.82$  significativa  $p < .0005$   
(aplicable para datos de lesiones físicas)

Fuente: Dirección General de Servicios Médicos del Departamento del Distrito Federal. Informe de la población atendida en los servicios médicos del Departamento del D.F. dentro de los 5 primeros días posteriores al sismo del 19 de septiembre de 1985. Noviembre 1985.

Los medicamentos más solicitados fueron: entre los analgésicos: el ácido acetil salicílico, la morfina y la meperidina. El tranquilizante más utilizado fué el diasepam.

Tocante a los antibióticos, los más requeridos fueron la penicilina (IM) y la ampicilina, así como la dicloxacilina y la tetraciclina (VO).

Relativo a unidades de sangre y sus derivados, la demanda por los paquetes globulares y plasma fresco congelado fue mayor que la demanda por sangre completa.

Para la atención general de los lesionados, las soluciones salinas y de glucosa se utilizaron en mayor cantidad que las soluciones de dextrán.

Se dispuso de un volumen importante de productos biológicos para la prevención y control del tétano (de toxoide tetánico se dispuso de más de 3 millones de dosis, de la antitoxina tetánica existieron 16,400 dosis, de la inmunoglobulina tetánica se contaron con 50,000 dosis). Se dispuso de 850,000 dosis de vacuna antitifoídica y de albúmina humana.

El material desechable que mayor demanda tuvo fue el de: jeringas, agujas, gasas, vendas elásticas y vendas de yeso.

#### CONTROL EPIDEMIOLOGICO.

Había una población expuesta a mayor riesgo de contraer en forma indirecta en

fermedades como consecuencia del terremoto. Se trataba de la población que -  
había perdido sus hogares y se encontraba provisionalmente alojada en alber-  
gues, este núcleo de población estaba particularmente expuesto a contraer en  
fermedades transmisibles. Además, éste mismo grupo representaba a personas -  
expuestas a un alto riesgo de desarrollar problemas de salud mental por las  
pérdidas sufridas.

Otro grupo menos afectado pero que también precisó de control epidemiológico  
es el de aquellos que estuvieron privados por largo tiempo de aprovisiona-  
miento de agua.

El control epidemiológico se llevó a cabo mediante diversas y variadas activi  
dades. A continuación se describirán las más importantes, en el orden que se  
llevaron a cabo.

La más urgente de las acciones a seguir fue la del manejo y entrega de los ca  
dáveres. Las autoridades civiles mostraron suma preocupación a este respecto,  
creían que los cuerpos podían ser fuente de epidemias, por lo cual trataron -  
de deshacerse de los cadáveres lo más pronto posible. La ley autoriza que -  
los cadáveres se sepulten dentro de las primeras doce horas que siguen a un -  
siniestro, cuando ello se vuelve necesario.

Afortunadamente, fue posible convencer a las autoridades a conservar en hielo  
los cuerpos hasta 48 horas, lo cual permitió la identificación de los mismos  
en un 80%.

Respecto a epidemias, la única que si ocurrió fue la de incontrolables rumores.

Aún periodistas serios propagaron la idea de que era inminente el brote brusco de epidemias de viruela, cólera, fiebre amarilla y diversos tipos de enfermedades que ya han sido erradicadas de este País.

La ignorancia favoreció la confusión entre el mal olor debido a la descomposición de los cadáveres y la plaga. Esta epidemia de rumores se combatió dando a la población información constante al respecto utilizando medios de difusión amplia.

Una manera de combatir la mala información fue a través de las declaraciones firmes y serias de especialistas extranjeros, tocante a las condiciones de sanidad que prevalecían en el País. Se dió educación sobre higiene y manejo del agua mediante mensajes constantes en la radio, todo el tiempo que duró la contaminación de este elemento. También se giraron instrucciones respecto al correcto manejo de excretas y de otros aspectos básicos.

Se observó además, que existían grandes presiones para vacunar en una forma general e indiscriminada. Esta presión partió de la población civil y de algunas autoridades.

Se puede decir que a pesar de la enorme tragedia que padecimos fuimos muy afortunados. Cuando tuvo lugar el primer sismo, la mayor parte de las personas se encontraba fuera de las áreas de trabajo y de estudio. A pesar del caos y de la desorganización que existió durante estos hechos, el Sector Salud actuó con

rápidez y eficiencia.

#### EL SISTEMA DE ATENCION A LA SALUD.

La organización de los servicios de salud en la Ciudad de México, responde a la estructura social y a las demandas de la población, dando lugar a la formación de diferentes redes de servicios públicos, unos para la población de escasos recursos económicos y no derechohabientes; otros, los que se otorgan a la población trabajadora que cuenta con seguridad social y por último, los servicios privados orientados a un reducido grupo de la comunidad que presenta una economía estable.

Entre los principales problemas que afectan a los esquemas de salud del Distrito Federal, se pueden identificar los siguientes:

1. Limitación de recursos fundamentalmente de tipo económico que impiden coberturas totales, mejoramiento de la calidad y expansión de servicios, hasta alcanzar indicadores adecuados.
2. Deficiente coordinación entre los diferentes tipos de instituciones prestadores (SSA, DDF, IMSS, ISSSTE, etc.), lo que genera limitación en la utilización de recursos en algunas áreas y carencias en otras.
3. Deficiente educación en salud de la población y baja credibilidad a los servicios institucionales, situación que se considera ancestral y que se está incrementando por la carencia de recursos en tiempo de crisis.

4. Por último, como complemento de la problemática ya existente, la Ciudad de México se vió gravemente dañada por los sismos ocasionados en 1985, los cuales además de causar importante deterioro a la ciudad, afectaron los servicios de salud.

DAÑOS A LOS SERVICIOS DEL SECTOR SALUD.

El daño al Sector Salud fue particularmente grave, tanto en vidas humanas - como en recursos materiales.

CUADRO 12

DAÑO A LAS CLINICAS DE PACIENTES EXTERNOS

INSTITUCION DE ATENCION A LA SALUD.	No. DE CLINICAS PARA CONSULTA EXTERNA ANTES DE LOS SISMOS	No. DE CLINICAS PARA CONSULTA EXTERNA AFECTADAS	
		NUMERO	%
SECRETARIA DE SALUBRIDAD (SSA)	220	39	17.9
INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL (IMSS)	175	4	2.2
INSTITUTO DE SEGURIDAD SOCIAL Y SERVICIOS PARA LOS TRABAJADORES DEL ESTADO (ISSSTE)	112	7	6.2
GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL (DDF)	191	0	0
T O T A L	698	50	7.1

En el cuadro 12 se puede apreciar el daño que sufrieron las clínicas para pacientes externos del Sector Salud. Las más afectadas fueron las pertenecientes a la Secretaría de Salubridad, sus 39 unidades dañadas representan el 17.9% del total de este tipo de instalaciones con que cuenta dicha Secretaría.

Los hospitales más afectados en número fueron los pertenecientes al Instituto Mexicano del Seguro Social. Nueve de los cuales resultaron dañados.

Un total de 13 hospitales pertenecientes al Sector de Salud Pública quedaron fuera de servicio. Su distribución se aprecia en el cuadro 13.

CUADRO 13

HOSPITALES AFECTADOS

I N S T I T U C I O N	HOSPITALES DISPONIBLES	HOSPITALES NUMERO	AFECTADOS %
SECRETARIA DE SALUBRIDAD (SSA)	17	2	11.7
INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL (IMSS)	42	9	21.4
INSTITUTO DE SEGURIDAD SOCIAL Y SERVICIOS PARA LOS TRABAJA- DORES DEL ESTADO (ISSSTE)	16	2	12.5
GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL (DDF)	30	0	0
T O T A L	105	13	12.4

Más de 5,000 camas quedaron fuera de servicio. La institución más afectada - fue la Secretaría de Salud que perdió más del 45% de sus camas disponibles; casi una tercera parte del total de camas en el sector quedó inutilizada.

CUADRO 14

PERDIDA DE CAMAS DE HOSPITAL

I N S T I T U C I O N	No. DE CAMAS ANTES DE LOS TERREMOTOS	PERDIDA DE CAMAS	
		NUMERO	%
INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL (IMSS)	8.279	2.306	27.8
INSTITUTO DE SEGURIDAD SOCIAL Y SERVICIOS PARA LOS TRABAJADORES DEL ESTADO (ISSSTE)	3.015	626	20.8
SECRETARIA DE SALUBRIDAD (SSA)	4.769	2.158	45.2
GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL (DDF)	1.807	0	0.0
T O T A L	17.870	5.090	28.5

En las primeras horas de la mañana cuando ocurrió el terremoto, las unidades - médicas más afectadas (el Hospital General y Hospital Juárez) se encontraban - en plena actividad. En estas dos unidades más de 1,000 personas murieron, -

entre personal médico, enfermeras, pacientes, estudiantes y personal de apoyo. Las pérdidas fueron cuantiosas en material y recursos económicos.

La Secretaría de Salud trasladó a diferentes hospitales de la Ciudad, los 292 lesionados del Hospital General y 167 del Hospital Juárez.

En el Hospital General más de 500 personas quedaron atrapadas (125 pacientes y 375 empleados), de los cuales 107 personas fueron rescatadas vivas encontrándose solamente 201 cadáveres. En el Hospital Juárez 750 personas quedaron atrapadas (350 pacientes y 400 empleados), siendo rescatadas vivas 191 y muertas 534.

El Instituto Mexicano del Seguro Social trasladó del Centro Médico Nacional - 2,900 pacientes y a los empleados que estaban trabajando en ese lugar, a otras instalaciones del mismo Instituto.

El Instituto de Seguridad Social y Servicios para los Trabajadores del Estado, trasladó a otros sitios a los 640 pacientes y empleados que se encontraban en los dos hospitales dañados.

En general, el Sector Salud perdió más de 120,000 metros cuadrados de áreas administrativas. Lo anterior contribuyó a entorpecer la reorganización de los servicios médicos.

Las pérdidas económicas calculadas para el Sector Salud en una forma muy conservadora, ascendieron a más de 200 millones de dólares.

CUADRO 15

PERDIDAS EN LAS AREAS ADMINISTRATIVAS  
DEL SECTOR SALUD

I N S T I T U C I O N	PERDIDAS DE AREAS ADMINISTRATIVAS EN m <sup>2</sup>
SECRETARIA DE SALUBRIDAD (SSA)	48.000
INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL (IMSS)	8.000
INSTITUTO DE SEGURIDAD SOCIAL Y SERVICIOS PARA LOS TRABAJA- DORES DEL ESTADO (ISSSTE)	55.000
DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL (DDF)	8.200
T O T A L	119.000

PROGRAMA DE RECONSTRUCCION Y REORDENAMIENTO DE LOS SERVICIOS DE SALUD.

Las instituciones que conforman al Sector Salud iniciaron en forma inmediata - acciones para restituir la capacidad de atención de los servicios de salud -- afectados por los fenómenos sísmicos que ocurrieron en Septiembre de 1985 y - que dañaron la infraestructura del sector en la Ciudad de México.

El Programa de Reconstrucción y Reordenamiento de los Servicios de Salud está orientado por un objetivo rector: reponer la infraestructura dañada o perdida y a la vez reordenar los servicios para mejorar su operación, eficacia y eficiencia. Para ello se definieron los siguientes criterios:

- a) Apoyar el cumplimiento de los objetivos del Programa Nacional de Salud;
- b) Observar el Modelo de Atención a la Salud para Población Abierta;
- c) Considerar las políticas de desarrollo urbano y regional;
- d) Tomar en cuenta las necesidades de la población de la zona metropolitana en su conjunto;
- e) Abatir los déficits acumulados y lograr un mejor balance entre los niveles de atención;
- f) Recuperar la infraestructura susceptible de rehabilitación;
- g) Asegurar la atención de la demanda, mediante la utilización más eficiente de la infraestructura existente y la generación inmediata de capacidad - hospitalaria adicional, a través de acciones de habilitación temporal y - de la construcción acelerada de nuevas unidades.
- h) Favorecer vigorosamente el acceso de los usuarios, a través de una oferta más racional en las distintas regiones del país, particularmente en la -

zona metropolitana y en los estados aledaños al Distrito Federal.

- i) Establecer un sistema integral de referencia y contrarreferencia, para -  
facilitar el acceso a los diferentes niveles de servicios y mejorar la -  
ocupación y uso de las unidades de salud;
- j) Incrementar y reforzar la formación de recursos humanos para la salud y  
la investigación clínica y de servicios de manera que se apoye más efec-  
tivamente la implantación del modelo de atención; y
- k) Fomentar la participación organizada de la comunidad.

Los principales proyectos que contempla el programa son:

1. Acciones para atender problemas inmediatos derivados de los daños ocasiona-  
dos por los sismos en la infraestructura de salud.
  - 1a. Adaptar y equipar temporalmente 4 unidades de la SSA, para recuperar  
parcialmente la capacidad hospitalaria perdida con el derrumbe del -  
Hospital Juárez, lo que representa la habilitación de 245 camas.
  - 1b. Rehabilitar 26 unidades de primer nivel, 7 unidades de segundo nivel  
y 7 institutos nacionales de la Secretaría de Salud.
  - 1c. Recuperar la capacidad operativa del Hospital General de México, con  
la rehabilitación de inmuebles que representa el funcionamiento de -  
1300 camas.

- 1d. Demoler y recuperar mobiliario y equipo del Centro Médico Nacional.
  - 1e. Rehabilitar 146 unidades médicas, sociales y administrativas del -  
IMSS, en diferentes entidades federativas.
  - 1f. Rehabilitar 23 clínicas de adscripción, 7 hospitales generales y 5  
clínicas hospital del ISSSTE.
2. Proyectos para recuperar, ordenar y ampliar la atención hospitalaria de  
segundo nivel, en la zona metropolitana de la Ciudad de México.
- 2a. Construir 5 hospitales generales de 144 camas cada uno, en los muni  
cipios conurbanos del Estado de México, para la atención de la po-  
blación abierta.
  - 2b. Concluir la construcción del Hospital General de Tenancingo, Estado  
de México, de la SSA.
  - 2c. Remodelar y ampliar 7 hospitales y 2 unidades médico quirúrgicas de  
los Servicios Médicos del Departamento del Distrito Federal.
  - 2d. Transformar 3 hospitales pediátricos a hospitales generales, 6 hospi  
tales pediátricos a hospitales materno infantil y 6 unidades médico  
quirúrgicas a hospitales materno-infantil del DDF.
  - 2e. Adaptar 6 hospitales generales de zona del IMSS en el Valle de Méxi-  
co, para recuperar 1180 camas de segundo nivel.
  - 2f. Construir 3 hospitales de segundo nivel en las zonas oriente y norte  
de la zona metropolitana, lo que representa adicionar 504 camas a la

capacidad hospitalaria del ISSSTE.

3. Proyectos para recuperar y ordenar la atención hospitalaria de tercer nivel en la zona metropolitana.
  - 3a. Construir el nuevo hospital "Benito Juárez" con 400 camas con una ubicación acorde a las necesidades de la población y al funcionamiento del sistema de referencia y contrarreferencia entre niveles de atención.
  - 3b. Construir el nuevo Centro Médico Nacional del IMSS con 600 camas.
  - 3c. Continuar con la construcción del hospital de alta especialidad "Lázaro Cárdenas del Río" del ISSSTE con 216 camas.
  
4. Proyectos para descentralizar la infraestructura de servicios y desarrollar la capacidad de los servicios locales.
  - 4a. Construir un hospital general de 144 camas en la Ciudad de Toluca, para la atención de la población abierta.
  - 4b. Construir unidades hospitalarias para la atención de la población abierta, integrando el anillo de retención en estados aledaños al Distrito Federal, así como Guerrero y Oaxaca.
  - 4c. Trasladar 838 camas del IMSS a hospitales ubicados en 5 ciudades del interior de la República.

4d. Fortalecer el reordenamiento regional del ISSSTE con la construcción de 450 camas durante el período de 1986-1988.

5. Otros proyectos para ampliar y mejorar la calidad de los servicios.

5a. Construir 4 centros de rehabilitación y educación especial en el Distrito Federal, Hidalgo, Morelos y Tlaxcala.

5b. Construir el Hospital Central del D.D.F.

5c. Implantar el Sistema de Atención de Urgencias del D.D.F.

**SISTEMA NACIONAL PARA LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES  
SOCIEDAD COLOMBIANA DE INGENIEROS**

**SEMINARIO**

**DESASTRES SISMICOS EN GRANDES CIUDADES  
"Enseñanzas en Mitigación y Operativos de Emergencia"**

**AMENAZAS DE SEGUNDO ORDEN INDUCIDAS POR TERREMOTOS**

**GRUPO REASEGURADOR SUIZO  
Herbert Tiedemann  
Consultor Asesor  
Alemania Federal**

## AMENAZAS DE SEGUNDO ORDEN INDUCIDAS POR TERREMOTOS

Herbert Tiedemann  
M.S. Ingeniería Mecánica, Ph.D. Física  
Consultor del Grupo de Reaseguradores Suizo  
Zurich, Suiza.

### INTRODUCCION

Una definición parece necesaria. Es posible diferenciar entre las amenazas primarias de un terremoto y los efectos secundarios. La principal amenaza es el daño y la destrucción de elementos en riesgo y el daño y pérdida indirecta relacionados con esta. Las amenazas secundarias son aquellas que no son directamente causadas por el terremoto sino que implican una cadena de acción. Sin embargo, veremos que se debe evitar una interpretación demasiado parroquial, no solo porque entra en conflicto con conceptos generales sino porque es difícil separar las amenazas primarias de las secundarias. Ilustraremos esto con sencillos ejemplos.

Nadie negará que el colapso total o parcial de un edificio es la causa directa de un movimiento telúrico. Sin embargo, con frecuencia lo primero que menciona la prensa popular son las víctimas, especialmente si el número es elevado. No obstante, es muy raro que mueran personas directamente por la acción del terremoto, contrario a las erupciones volcánicas, sino por los edificios que no son suficientemente fuertes, por tsunamis o deslizamientos de tierra, para mencionar unos pocos ejemplos. En esos casos, la amenaza es de naturaleza indirecta: el terremoto sacude edificios inadecuadamente diseñados o incorrectamente contruidos y los edificios que caen matan o hieren habitantes. O el terremoto provoca un tsunami que resulta en víctimas, por ejemplo, porque no se organizó correctamente la señal de alerta del tsunami. En el caso de heridos los ejemplos anteriores pueden aumentarse. La estructura que cae o las partes no estructurales que caen atrapan o hieren a la gente. Si las instalaciones de rescate y atención médica no están correctamente organizadas se presentarán severas consecuencias que indudablemente serán amenazas de segundo orden.

Aún en el caso de daño a edificios y su contenido pueden presentarse amenazas de segundo orden. El saqueo después de un terremoto o los daños causados por el agua luego de fuertes lluvias que aumenta el daño a los edificios o que afecta los muebles o la mercancía, son amenazas secundarias.

Las amenazas de segundo orden no se consideran en los códigos de terremotos y a menudo se olvidan al discutir el riesgo del terremoto. Desafortunadamente esto aumenta la pérdida y la miseria causada por los terremotos. (1).

El alcance de las amenazas de segundo orden inducidas por los terremotos es muy amplia y en el siguiente artículo tan solo podremos discutir algunos aspectos sobresalientes. Comenzaremos con amenaza a la gente, uno de los ejemplos mencionados anterior-

mente.

#### INSTALACIONES MEDICAS Y DE RESCATE

Desafortunadamente, los hospitales en general no están contruidos bajo estándares especiales gracias a los cuales sobrevivirían y se mantendrían en operación. Esto se hizo evidente, por ejemplo, luego del terremoto de 1985 en México y del terremoto de M 5.4 que mató e hirió a muchos en El Salvador en 1986 (2). Igualmente, el Bloque A del Hospital de Newcastle sufrió daño estructural y fué necesario evacuar pacientes, aún cuando el terremoto fué pequeño y el epicentro no fue cerca de la ciudad. El margen de seguridad generalmente inadecuado del diseño de los hospitales exige atención inmediata.

Si tal como lo sostienen las sociedades tecnológicamente avanzadas, el índice de muertes en accidentes de tráfico se reduciría considerablemente si se contara con la adecuada atención médica luego del accidente, es evidente que esta variable es igualmente importante luego de un terremoto catastrófico que presionará las instalaciones médicas de cualquier sociedad y, con más razón, en regiones menos desarrolladas.

El terremoto de Tangshan en 1976 y el terremoto armenio de 1988 demostraron que las posibilidades de sobrevivir dependen dramáticamente del tiempo que transcurre entre el terremoto y el rescate.

Aquellos rescatados dentro de los primeros treinta minutos después del terremoto de Tangshan tuvieron 99% probabilidades de sobrevivir. Para aquellos rescatados en el segundo día, disminuyeron a cerca de 34% y fueron de solo 7% para aquellos rescatados el quinto día. Estas cifras deben tomarse como generales ya que los factores contaminantes no pueden evitarse. Es posible, por ejemplo, que muchos de aquellos rescatados poco después del terremoto fueran de fácil acceso y hubiesen sufrido heridas menos severas. Las fluctuaciones en el índice de sobrevivencia sugieren factores contaminantes. Por ejemplo, en el segundo día, 1.638 personas fueron rescatadas, 562 de las cuales sobrevivieron (33.7%); al tercer día, 348 víctimas fueron extraídas vivas y 128 sobrevivieron (36.7%).

En total se rescataron 8.500 personas comparadas con cerca de 257.000 muertas en el terremoto. Cerca de 5.300 sobrevivieron (2.1%) y de estos 85% fueron sobrevivientes rescatados el primer día. Cerca del 52% de los sobrevivientes rescatados el primer día fueron dados de alta 30 minutos después. Probablemente, estas fueron las víctimas que se encontraron más fácilmente y podrían rescatarse sin necesidad de equipo pesado.

El tipo de construcción afecta las opciones de rescate y por lo tanto el número de víctimas. Mientras que los escombros de edificios de adobe, mampostería y ladrillo pueden fácilmente removerse con herramientas primitivas, el concreto reforzado plantea serios problemas, especialmente si no se tiene disponible equipo pesado

y especial o si el equipo no puede llevarse a pueblos remotos en la montaña, como en el reciente terremoto en Gilán, Irán. El terremoto armenio de 1988 demostró esto pero debe anotarse que las instalaciones en casi cualquier país estarían gravadas con impuestos más altos luego de un terremoto devastador. El análisis de este tipo de riesgo puede hacerse utilizando la Tabla 1.

TABLA 1

PORCENTAJE DE EDIFICIOS CON 80 A 100% DE DANOS DEPENDIENDO DE LA MDR *	10	20	30	40	50	60	70	80	90
MDR	.25	3.5	10	20	30	45	56	70	85

\* MDR: Relación de daño medio expresada como porcentaje del nuevo valor de reposición del edificio.

Debe recordarse que quienes están seriamente heridos o expuestos, requieren ayuda en corto tiempo. Esto exige detallados programas para catástrofes y ejercicios de práctica de simulación constantes. Sería mucho mejor concentrarse en construir o reforzar los edificios de manera que solo unos pocos sufran severos daños. Este enfoque no solo protegerá seres humanos sino tendrá un efecto positivo sobre el impacto total de los terremotos sobre la economía nacional y la sociedad. Construir correctamente y reforzar los edificios vulnerables normalmente no es una empresa costosa.

Luego de numerosos terremotos se ha observado que los muebles sólidos a menudo sirven de apoyo a los elementos que caen de un edificio quedando muchos espacios donde pueden sobrevivir las víctimas. Esto señala una posible solución para edificios con altas posibilidades de desplomarse y que no se pueden reforzar ni abandonar. Si, por ejemplo, las oficinas y los colegios estuviesen equipados con sólidos escritorios hechos en acero y los habitantes estuviesen entrenados a esconderse debajo de los muebles en caso de un terremoto, muchos se podrían salvar a un costo mínimo, especialmente si también se tapan la boca y la nariz con un trapo para proteger el sistema respiratorio contra exceso de polvo. Obviamente, esta medida de último recurso podría introducirse sin problemas en edificios residenciales.

El cuidado médico disponible para quienes han sido salvados o la falta de cuidado pueden llamarse amenazas secundarias. Con un excelente cuidado, la cantidad de personas permanentemente incapacitadas, sería mucho menor que si solo existen disponibles instalaciones de segundo nivel.

## INCENDIOS, EXPLOSIONES Y MATERIALES TOXICOS

A este respecto deberán considerarse una gran cantidad de parámetros. Los aspectos importantes se tratan extensamente en (3), y no discutiremos las categorías individuales de elementos en riesgo, nos concentraremos en algunos importantes parámetros.

Los análisis de riesgo deberán comenzar por investigar las propiedades físicas y químicas de todo material peligroso, y si dicho material está instalado o está disponible en forma de materia prima, combustible, producto semiterminado o terminado. Las propiedades físicas incluyen el estado, es decir, gaseoso, líquido o sólido, la cantidad, y, en el caso de los sólidos, la relación superficie a volumen. Las propiedades químicas/biológicas son por ejemplo el valor calorífico, el punto de ignición, las propiedades tóxicas o irritantes, si es corrosivo, la estabilidad, oxidación, si se reduce, si es básico, ácido y las velocidades de reacción.

Las instalaciones industriales deben considerar la presión de los líquidos y gases procesados o almacenados. La liberación de material peligroso la determinan varios parámetros, en especial la probabilidad de falla en tanques, tubos y demás equipo que lo contiene, al igual que las características de los elementos estructurales, los componentes y aparatos de construcción que deben contener los líquidos si los tanques fallan. No deben olvidarse los vehículos que transportan material peligroso.

Al considerar las fuentes de ignición deberán analizarse no solo aquellas normalmente presentes en edificios y plantas sino también fuentes adicionales generadas por el terremoto.

No deben olvidarse los parámetros exógenos que pueden disparar o contribuir a una catástrofe. Entre estos factores tenemos tsunamis, licuefacción, deslizamientos, falla en la energía o suministro de agua y condiciones meteorológicas.

En último lugar, pero no por ello menos importante, debemos tener en cuenta el error humano, si el curso de un evento está determinado por la reacción de operarios. La confiabilidad de los seres humanos se reduce considerablemente bajo severa tensión salvo si han sido muy bien entrenados.

El terremoto de Tokio en 1923 constituye un dramático ejemplo del hecho de que la presencia de una cantidad considerable de material combustible y fuentes de ignición pueden causar grandes cantidades de víctimas. Este terremoto ocurrió en un momento en que se estaban cocinando varias comidas en fuegos abiertos. el fuerte movimiento esparció el combustible que se quemaba y se dice que 377 fuegos comenzaron, 133 de los cuales se propagaron. Sin embargo, el factor individual más importante fue el fuerte viento, inicialmente soplando a una velocidad de 45 km/h, cambió repetidamente de dirección y alcanzó velocidades superiores a 75 km/hr. La conflagración mató más de 100.000 personas; 38.000 vidas se perdieron en una zona abierta de Tokio a donde huyó la

gente en busca de refugio.

Los modernos materiales de construcción han reemplazado mucha de la madera que se utilizaba hace décadas, incluyendo otros combustibles que pueden causar devastadores incendios y un gran número de víctimas. Esto se cumple en plantas industriales y edificios. Un ejemplo es el almacén de departamentos de San Salvador que se desplomó; muchas víctimas no murieron por el edificio caído sino por el incendio que se desató en el lugar.

Varias instalaciones industriales poseen grandes tanques y grandes zonas de almacenamiento de combustible líquido y gas licuado. Hace pocos años, una instalación pequeña de este tipo causó la muerte de cerca de 500 personas en ciudad de México. Si un terremoto devastador azota la zona donde se encuentran estas instalaciones, ocurrirán muchas fallas en equipo y resultarán incendios y conflagraciones. Se sabe que los tanques cilíndricos de gas causan desastrosas explosiones, similares a las explosiones nucleares. Al explotar, estos tanques vuelan como cohetes a distancias hasta de una milla. Si caen sobre una instalación crítica pueden resultar más incendios y explosiones.

Además, se debe estar preparado para que líquidos y gases en combustión, que son más pesados que el aire, se propaguen rápidamente por las carreteras, caños y topografía. Debemos enfatizar que el promedio de las instalaciones de retención con que contamos en la actualidad no detendrán esas emisiones masivas del material explosivo y combustible. Es probable que fallen los múltiples contenedores durante un terremoto salvo si se toman precauciones especiales, la pérdida de vidas que sigue puede ser muy severa.

Un aspecto secundario pero importante son las inadecuadas operaciones de rescate con material incendiado bajo el cual quedan atrapadas víctimas. Desafortunadamente esto ha ocurrido con frecuencia.

En conclusión no debemos olvidar que eventos tales como la tragedia de Bhopal, India, donde cerca de 2,500 personas murieron por la emisión de material tóxico y muchos más fueron gravemente heridos, se hace más probable si las plantas son sacudidas por terremotos. Si ocurre lo peor de lo peor se pueden presentar muchas víctimas por la acción combinada de varias amenazas.

#### **TSUNAMI**

No trataremos los detalles pertinentes a la probabilidad de que ocurra un tsunami en un punto dado en la costa, ya que esto depende no solo de la frecuencia de terremotos más o menos distantes que pueden generar trenes de olas que pueden llegar a un lugar particular en la costa, sino de muchos otros parámetros, tales como la forma de fondo marino frente a la costa, la forma y topografía de la costa, obstáculos en el patrón de las olas etc.

Aparte de la probabilidad general de los tsunamis, el parámetro que sigue en importancia en el control del riesgo de los seres humanos, es la elevación de la superficie de la tierra donde se encuentren cuando llegue el tsunami. La probabilidad de un tsunami dado y por lo tanto implícitamente de la altura a la que se puede subir para protegerse disminuye considerablemente a medida que aumenta la altura de la ola. Mencionamos específicamente la elevación de la superficie de la tierra debido a que las ondas de los tsunamis pueden generar fuerzas de 3 a 9 toneladas por metro cuadrado, suficiente para hacer que edificios colapsen a menos que sean muy resistentes o estén protegidos por otros aparatos. Si los edificios no son muy resistentes, los residentes en los pisos superiores no están necesariamente seguros.

La velocidad de propagación del tsunami depende de la profundidad del agua, ya que corresponde aproximadamente a la raíz cuadrada del producto de la gravitación de la tierra por la profundidad del agua. Para una profundidad de 5,000 mts. es de cerca de 220 m/seg u 800 Km/hr. Esto significa que una señal de alerta de tsunami no serviría de mucho si el epicentro del terremoto es a 100 o 200 Km de la costa.

En cuanto al riesgo, consideremos algunos ejemplos que demostrarán que los tsunamis no están confinados al cinturón del Pacífico.

La Región de Beirut, Líbano fue arrasada por tsunamis en el año 551 DC y luego en 746. Muchos barcos se hundieron.

En Cumaná, Venezuela, olas de 8 mts, mataron personas en 1530, y en Lima, Perú, el mar se levantó 23 mts, en 1586.

Los siguientes tsunamis devastadores ocurrieron en 1687 y 1746 cuando cinco a seis mil habitantes de Callao, el puerto de Lima murieron y solo 200 sobrevivieron. En 1868 un gran terremoto lejos de la costa Suramericana, más o menos en la frontera de Chile-Perú, generó un tsunami de 15 mt que mató a mucha gente en la costa. En Hawaii se midieron olas de 5mts que se hicieron sentir hasta a 20 mts de altura; más de 80 personas fueron muertas. El tsunami que siguió al terremoto de 1960 del Sur de Chile, mató cerca de 185 personas y lesionó 855 en Japón.

Cerca de 20 minutos después del famoso terremoto de Lisboa en 1755, un fuerte tsunami azotó la costa portuguesa. De los 60.000 a 100.000 muertos, muchos cayeron bajo el tsunami. Otro tsunami de este terremoto golpeó las islas del Caribe diez horas después. En Martinica, la altura de las olas era igual a la de los pisos altos de las casas; el número de víctimas se desconoce.

Aún en Japón, donde originalmente se le dió el nombre al tsunami, las cifras sobre personas muertas en terremotos ocurridos durante los primeros años se desconoce. En el año 869 cerca de 1000 personas se ahogaron en el terremoto de Sanriku. En 1493, 200 personas se ahogaron en Kamakura. Se calcula que hubo 3.800 víctimas del tsunami luego del terremoto de 1605 que afectó la

Península de Boso. Más de 2.000 personas murieron en la región de Sanriku en 1611. En 1771 un maremoto mató 11.941 personas cerca de la Ilsa Ishigaki. En 1854, 3.000 personas fueron muertas por el gran tsunami de la Península de Boso. En 1896, un tsunami de 25 mts, en Yoshi Hama mató 27.122 personas y en 1933, el terremoto de 8.9 fuera de Sendai generó un tsunami de 24 mts. que mató a 2.896 personas e hirió a 12.053, pero en este caso, no se sabe con certeza si todas las víctimas fueron causadas por el tsunami. En 1944, un tsunami de 6 mts. mató cerca de 1.000 personas e hirió 2.135. La pérdida de vida entre madres jóvenes que se negaban a dejar a sus pequeños fue particularmente grave, en este caso.

Un escenario peor sería un terremoto fuerte que ocurriese en la noche cerca a una ciudad costera grande localizada en la playa lo cual agrava los tsunamis. Los daños producidos por el terremoto en la ciudad crearían el caos debido a serios daños en los edificios y la interrupción del tráfico, suministro de agua y energía y servicios telefónicos. Las personas que se encuentren rescatando a sus familiares y otros, serían fáciles víctimas del tren de olas debido a la situación caótica descrita anteriormente y además por la dificultad de refugiarse en zonas altas en la oscuridad, con carreteras obstaculizadas por escombros.

Lo anterior demuestra que es extremadamente difícil hacer estimativos sobre el número de personas muertas y heridas por el tsunami, ya que deben evaluarse muchas situaciones, cada una afectada por distintas incertidumbres. La experiencia pasada es poco útil debido a la pequeña y poco confiable muestra y debido a los sustanciales cambios de las ciudades en el curso de tiempo y en especial en décadas recientes.

#### DESGLIZAMIENTOS DE TIERRA Y FLUJO DE BARRO

Los deslizamientos de tierra y flujos de barro (los cuales deberían llamarse lahares (sismicos) puesto que el flujo no es solo de barro sino de piedras, rocas, troncos y escombros recogidos por el flujo a su paso), son, como los tsunamis, efectos indirectos de los terremotos. El terremoto dispara un deslizamiento y este deslizamiento causa el daño y las víctimas.

Las evaluaciones de probabilidad son difíciles debido a las incertidumbres de los parámetros. Brevemente, la evaluación de la probabilidad sísmica en la respectiva región no está libre de incertidumbres. Luego, deberá evaluarse la estabilidad de las pendientes alrededor de las poblaciones humanas. Si no es fácil establecer la estabilidad general de las pendientes, es aún más difícil establecer con certeza qué características deberá presentar un terremoto para provocar deslizamientos de diferentes magnitudes en una pendiente dada. Además, los deslizamientos están controlados por parámetros hidrológicos y otros factores (4). Mientras que si ocurre un terremoto luego de un prolongado y seco verano, tal vez no cause fallas en las pendientes, ese mismo terremoto causará un deslizamiento si ocurre luego de un prolon-

gado invierno.

En el pasado se han presentado muchos deslizamientos producidos por terremotos. Algunos han matado gente y otros han resultado en pérdidas catastróficas de vida. Discutiremos algunos ejemplos que involucran víctimas. Sin embargo, debemos aclarar que ni siquiera una lista completa de deslizamientos producidos por terremotos producirá una descripción precisa del riesgo para las vidas humanas. Esto es evidente si consideramos la cantidad de parámetros que tienen efectos sobre los deslizamientos, el número limitado de terremotos fuertes en regiones expuestas a peligrosos deslizamientos y los desarrollos demográficos.

Los científicos han encontrado varios antiguos deslizamientos gigantescos (4). Varios de ellos ocurrieron en regiones sísmicas y por lo tanto, es probable que hayan sido causados por terremotos.

Tal vez el deslizamiento montañoso más masivo en la historia de los Alpes Europeos sepultó 17 pueblos y caseríos cerca a Villach, Austria en 1348; 5.000 personas murieron; un terremoto había desestabilizado inmensas cantidades de piedra caliza en la pared sur del Monte Dobratsch de 2.167 mts. de altura y la envió violentamente 1.500 mts hacia el Valle. Se ha descubierto un deslizamiento prehistórico similar. Hoy vive más gente en la zona de riesgo que en 1348.

En 1944, luego de un terremoto de cerca de M 7 en Pamir, 2.500 millones de metros cúbicos de material bloquearon el Río Murgab en Turkestán y sepultaron el pueblo de Usoy con sus 54 habitantes.

Tal vez uno de los deslizamientos más graves ocurrió en Perú luego de un terremoto. El terremoto de M 7.5 en 1970 disparó una avalancha de roca y hielo de cerca de 100 millones de metros cúbicos del Huascarán, viajando a una velocidad promedio de 179 Km/hr, pero con una velocidad máxima de 400 km/hr, se dirigió hacia Yungay, a 15 Km de distancia, saltó sobre un risco montañoso de varios cientos de metros de altura en su trayectoria y sepultó la ciudad con sus 18.000 habitantes.

Igualmente, el fuerte terremoto de Assam en agosto de 1950 (M 8.7) produjo deslizamientos y pérdidas de vida en los Himalayas.

#### FALLA DE REPRESAS

Para concluir, quisiéramos discutir un punto especial: la falla de represas y/o reservorios de agua. Esta falla puede ser causada por varias razones, por ejemplo:

- Fuerte movimiento de la represa por un terremoto en la cercanía
- Grandes fallas que atraviesan la represa y dañan la represa misma y/o su cimiento;

- Considerable deformación de la represa en su plano vertical por la deformación similar a las olas en el cimientó de la represa debido a la propagación de la onda sísmica;
- Falla en las pendientes cercanas a la represa causándole considerable daño; y
- Deslizamiento de un gran volumen de material a la represa causando el desbordamiento de agua.

Si se libera el agua de gran reservorio en un corto período de tiempo debido a tales fenómenos, podrá causar enormes estragos en el Valle que queda abajo. Bajo ciertas circunstancias la devastación puede extenderse sobre docenas y cientos de Kilómetros.

Salvo si la presa es relativamente segura, (una presa con relleno de roca es por razones intrínsecas mucho más segura que una presa de tierra o puede hacerse más segura con modificaciones posteriores) en general será difícil proteger a la gente que está abajo. Los proyectos de desarrollo urbano deben tener esto en cuenta. Con frecuencia la evacuación será imposible debido a la alta probabilidad de falla en los sistemas de comunicación durante un terremoto. Además, el tiempo disponible para señales de alerta será más corto que en el caso que se presenten fuertes lluvias que amenacen la represa.

Si hay ciudades, fábricas grandes con una gran fuerza laboral, grandes sitios de camping, etc., tan sólo a pocos kilómetros de la represa, puede instalarse un sistema de alerta similar al de los tsunamis. Debe ser a prueba de fallas, la gente debe tener el entrenamiento y la información necesarias para garantizar reacciones correctas y evitar el caos.

Es muy difícil estimar las víctimas causadas por la repentina falla de una represa o reservorio. Es indispensable una mapa detallado de zonificación indicando el posible nivel de agua de las regiones expuestas. Luego deberá estimarse la vulnerabilidad de los edificios en cada subzona y su tipo.

La gente en las calles está más expuesta y un alto porcentaje de esta puede morir (CF (4)), el riesgo de la gente que permanece dentro de los edificios depende de la resistencia de las estructuras y del número de pisos. Los edificios de una sola planta ofrecen poca protección. Los edificios de varios pisos reducirán las víctimas si no se desploman. La protección la ofrecen los edificios fuertes con estructuras o muros de concreto reforzado y con cimientos que no corren el peligro de ceder.

En resumen, actualmente debe asumirse que la repentina falla de una represa o reservorio causará la muerte de un porcentaje considerable de personas expuestas al torrente.

#### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

1. La conclusión más importante es que tanto el daño físico como las pérdidas económicas y las víctimas, los cuales son propia-

mente amenazas secundarias, dependen básicamente de la calidad de la construcción. Por lo tanto, la labor predominante es elevar los estándares de construcción en general y los requisitos específicos introduciendo en el diseño arquitectónico "multas" por construir en suelos poco estables, pronunciada asimetría y calidad deficiente en materiales y mano de obra, etc.,.

2. En países sísmicos se podría ganar mucho si la ingeniería sísmica pragmática fuese una materia obligatoria a nivel de la universidad y se introdujera en el entrenamiento de obreros. Un primero paso para lograrlo sería la creación de una mayor conciencia del riesgo (5). En cuanto al entrenamiento de mano de obra idónea, la importancia de un trabajo excelente no debe sobreenfatzarse.
3. En muchas ciudades o pueblos hay edificios que fueron construidos antes de que se hubiesen introducido los códigos de construcción antisísmica. En algunos lugares, tales edificios pueden causar víctimas y amenazas secundarias.

Para estos casos debe hacerse un detallado inventario que deberá incluir edificios modernos que también representan riesgo debido a que son grandes, asimétricos o construidos en terrenos inestables. Estos edificios deben reforzarse adecuadamente mientras sea posible.

4. En cuanto a las pérdidas, daños y víctimas de los efectos secundarios de los terremotos, deberá hacerse un cuidadoso inventario con mapas de riesgo que indican el posible impacto de estas amenazas. Esto es válido para la liberación de material tóxico. Así puede organizarse económicamente la mejora del riesgo.
5. Debido a que es imposible estabilizar grandes pendientes, se debe concentrar en reubicar la propiedad y la gente en el curso del tiempo a regiones con menor riesgo.
6. No basta únicamente con los mapas de riesgo; debe desarrollarse e introducirse un plan para catástrofes. Quienes son responsables por su ejecución deben entrenarse regularmente para asegurarse de que ningún aspecto importante fallará ni aún bajo las fuertes tensiones causadas por una catástrofe. En general se reducirá considerablemente el número de víctimas si todas las personas están bien informadas y entrenadas repetidamente.
7. Es imposible estimar la pérdida y daño, el riesgo de las personas en las zonas afectadas y las víctimas que pueden esperarse de las distintas "fuentes", a menos que se hayan analizado todos los posibles escenarios de catástrofes producidos por terremotos. Solo si se han desarrollado "escenarios de víctimas" será posible determinar el número y tipo de equipo de rescate y personal capacitado que se requerirá. Sería imprudente trabajar sin márgenes de seguridad, tan solo

porque bajo tensión extrema nada funciona tan suavemente como durante un pacífico ejercicio de simulacro.

8. Se recomienda no confiar mucho en la predicción de terremotos ni en el rescate sino en reducir la vulnerabilidad de los edificios y de otros elementos en riesgo que constituyen una importante amenaza y tratar de que el inventario sea lo más completo posible y abarque las amenazas primarias y secundarias más importantes.

#### REFERENCIAS

1. Tiedemann, H., Direct and Indirect Economical Effects. Earthquake Insurance, UNDRO/CIDA/OND Seminar: Earthquake Disasters in Large Cities, Bogotá, 1990
2. Tiedemann,., Small Earthquake - Small Exposure?, Swiss Reinsurance Co., Zurich, Switzerland, 1987 ( Pequeños Terremotos - pequeños riesgos?)
3. Tiedemann, H., Earthquakes and Volcanic Eruptions: A Handbook on Risk Assessment, Swiss Reinsurance Co., Zurich, available en 1989.
4. Tiedemann., The Force of Waterl, Swiss Reinsurance Co., Zurich, Switzerland, 1988.
5. Tiedmann, H., Disaster Preparedness, Mitigation, and Management, A general Review, Symposium on Preparedness, Mitigation and Management of Natural Disaster, Delhi, 1989.

**SISTEMA NACIONAL PARA LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES  
SOCIEDAD COLOMBIANA DE INGENIEROS**

**SEMINARIO**

**DESASTRES SISMICOS EN GRANDES CIUDADES  
"Enseñanzas en Mitigación y Operativos de Emergencia"**

**EFFECTOS ECONOMICOS DIRECTOS E INDIRECTOS DE LOS TERREMOTOS  
SEGURO CONTRA TERREMOTOS**

**GRUPO REASEGURADOR SUIZO  
Herbert Tiedemann  
Consultor Asesor  
Alemania Federal**

## EFFECTOS ECONOMICOS DIRECTOS E INDIRECTOS DE LOS TERREMOTOS SEGURO CONTRA TERREMOTOS

Herbert Tiedemann  
M.S. Ingeniería Mecánica, Ph.D. Física  
Consultor del Grupo de Reaseguradores Suizo  
Zurich, Suiza

### INTRODUCCION

El aumento constante en los valores, la creciente inversión y el crecimiento de la población en términos de cantidad y densidad, así como el incremento en el número de elementos bajo riesgo realmente expuestos o que representan instalaciones críticas debido a los riesgos particulares asociados con ellos, ejercen una demanda cada vez mayor sobre la necesidad de lograr evaluaciones científicas calificadas de las consecuencias de los terremotos. Hasta el momento, básicamente solo se ha considerado el daño físico, no el daño indirecto o lo que llamaremos, la pérdida consecuente. Estas pérdidas a menudo pesan más que el daño físico directo; sus efectos sobre la sociedad y la economía nacional pueden ser profundos y duraderos.

Debido a que prácticamente no existe literatura especial que cuantifique la pérdida consecuente provocada por terremotos, trataremos aquí aspectos importantes. En vista de la cantidad de parámetros que deben considerarse, debemos limitarnos a discutir en forma general la pérdida y el daño indirectos y los respectivos parámetros (para detalles ver Ref. (1)).

El autor opina que la evaluación de la exposición a las consecuencias de los terremotos deberá permitir aspectos de probabilidad en todas sus etapas, con el fin de colocar la evaluación del riesgo, la mitigación del riesgo y el manejo del riesgo en una base económica. Por lo tanto, la evaluación de las consecuencias económicas de los terremotos deberá considerar las distribuciones de probabilidad de la magnitud o intensidad del terremoto en el área de estudio, así como aquellas relacionadas con los niveles de daño y pérdidas directas e indirectas.

Debe anotarse que estas mismas condiciones se aplican a los seguros puesto que un manejo profesional moderno de la evaluación del riesgo, etc. no depende de quién atienda el riesgo.

### LOS COSTOS DIRECTOS E INDIRECTOS DE UN TERREMOTO

Ofrecemos dos sencillos ejemplos para ilustrar un método que puede utilizarse para calcular las consecuencias económicas de los terremotos, incluyendo la pérdida económica ocasionada por el daño directo. Los ejemplos ilustran un procedimiento general de evaluación pero no sugieren cifras particulares. Pueden adaptarse a condiciones especiales en la forma sencilla que aparecen o

en una forma más refinada, utilizando los datos que se dan en las distintas referencias (Ref. e.g. 1,2).

Para estos ejemplos escogimos un pueblo de cerca de 100.000 habitantes, construido sobre aluvión medianamente duro, con edificios modernos moderadamente asimétricos, de calidad correspondiente a 2 - 3% g. El ejemplo cubre únicamente la zona MM VIII; está basado en MDR (Relación de Daño Medio expresada como porcentaje del valor nuevo de reposición de los elementos en riesgo) y no en niveles máximos de pérdida. Todos los valores se dan en dólares de EEUU.

## 1. BAJO NIVEL DE INGRESO

### 1. PERDIDAS DIRECTAS

	\$/Habitante
<u>Edificios residenciales:</u>	
Costo de Construcción cerca de \$4.000 por habitante, MDR 30%	1,200
<u>Edificios comerciales y equipo:</u>	
40% población trabajadora de 30.000, 50 m3 por persona, \$15 por m3, MDR 30%	270
<u>Fábricas:</u>	
50% de la población trabajadora 150/persona, \$100/m3, MDR 30%, 10% de población	675
<u>Maquinaria:</u>	
Cercas de 1/3 de edificios de fábricas	225
<u>Contenido:</u>	
Privado \$2.000/habit., MDR 10%	200
Mercancía en existencia \$100/habit., MDR 10%	10
<u>Vehículos:</u>	
Prob de daño = 0.2, \$5.000/carro 1 carro/4 habit., MDR 12%	30
<u>Personas Muertas:</u>	
Cerca de 1.300, \$20.000 cada una	260
<u>Heridos:</u>	
Cerca de 6.500 personas, \$1.000 c/u	65

(las víctimas serán reevaluadas a continuación )

## 2. PERDIDAS INDIRECTAS

Pérdida general de producción: cerca de 15.000 personas afectadas durante 3 meses, \$15.000 cada uno

Sueldos, salarios, seguro social, interés, depreciación,  
gastos permanentes, pérdida de mercados, turismo, etc.

(Depende en cada caso real)

Este punto se discutirá en mayor detalle luego del segundo ejemplo.

### 3. OTRAS PERDIDAS/DANO

Transporte, energía, agua, alcantarillado, teléfonos, carreteras, puentes, servicios médicos y de salud, escuelas, colecciones de arte y museos, acervo cultura, etc.

Estas pérdidas pueden ser muy fuertes, pero es difícil calcularlas detalladamente ya que dependen de la localización específica. Por lo tanto se requiere tomar datos precisos de las existencias).

Se suministra información adicional luego del segundo ejemplo.

### 2. NIVEL DE ALTOS INGRESOS

\$/Habitante

#### 1. PERDIDAS DIRECTAS

Residencial:

\$40.000/hab., MDR 30% 12.000

Comercial: 40% de 30.000, 200 m3/persona

\$150/m3 MDR 30%, MDR 30% 9.000

Fábricas: 50% de 30.000, 300 m3/persona

\$100/m3, MDR 30%, MDR 30% 9.000

Maquinaria:

1/3 de edificios de fábricas 3.000

1 Planta de Alto Poder: \$500.000.000 MDR

por stock, incendio y explosión 40% 2.000

Contenido:

Privado \$10.000/hab., MDR 10% 1.000

mercancía en stock \$200/hab, MDR 10% 20

Vehículos: Probab. de daño = 0.2 \$7.500/ve-

hículo, 1 carro/vehículo pesado/2habt., MDR 12% 180

Pérdida de vidas:

1.300 personas, \$50.000 c/u 650

Heridos:

6.500 pers., \$2.000 c/u

130

## 2. PERDIDAS INDIRECTAS

Pérdida General de producción: 27.000 personas

afectadas durante 3 meses, \$25.00 c/u

1.700

Interés, etc.:

Como en el ejemplo anterior

## 3. OTRAS PERDIDAS/DANOS

Transporte (incl. aviación y navegación), etc.

Como se descubrió en el ejemplo anterior

(cf se discutirá a continuación)

Aún en el caso de ausencia de factores agravantes, la pérdida total media de daños a edificios, comercio y fábricas puede alcanzar o aún exceder \$30.000 por habitante en la zona fuertemente sacudida (MM VIII). Esta cifra está apoyada por las observaciones. En una población de cerca de un millón en el epicentro, la pérdida total media podría alcanzar hasta 30 mil millones. Obviamente, la MPL (Pérdida Máxima Probable) y en particular la PML (Pérdida Máxima Posible) pueden ser considerablemente mayores y la probabilidad de dicho catástrofe no es necesariamente reducida (c.f. e.g. 1,3).

Ahora regresamos a la pérdida de vidas humanas, ya que la anterior lista de pérdidas incluye el costo de heridos y pérdidas de vida basado en una sola cifra, tal como un reclamo en un seguro de vida i un solo tratamiento médico. En realidad la pérdida para la sociedad y la economía nacional es mucho mayor, sin mencionar el dolor humano que causan las víctimas. Los parámetros que determinan las víctimas se discute a continuación en una sección independiente.

Las 1.300 personas que asumimos como muertas como consecuencia del terremoto son en verdad una pérdida permanente para la economía. Aplicando métodos actuariales y considerando la edad promedio en la región, la producción promedio por persona, la edad de jubilación, y la expectativa de vida, es posible calcular la pérdida total adicional para la economía nacional. Basta explicarlo con un ejemplo muy sencillo.

Asumiendo una productividad anual de cerca de \$15.000 por persona (PIB dividido por población), una edad media de 30 años y por lo tanto una pérdida promedio de cerca de

30 años de trabajo, las 1.300 personas muertas corresponden a \$585 millones, es decir \$5850 por habitante, sin tener en cuenta la mortalidad normal, el interés y las demás pérdidas indirectas relacionadas con la pérdida permanente de productividad y de poder

adquisitivo.

A lo anterior deberá sumarse el costo de la incapacidad permanente, el cual se estima en \$300 millones de pesos, es decir, \$3.000 por habitante.

Regresando a los ejemplos generales, discutiremos brevemente los costos indirectos debiendo al interés sobre el capital quieto, pérdida de rentas, sueldos y salarios, y otros gastos fijos que continúan durante el período de interrupción del comercio y la industria, e incluyendo el costo de aquellas personas permanentemente perdidas (muertas e incapacitadas).

En el primer ejemplo (nivel de bajos ingresos) estas pérdidas monetarias indirectas suman más de \$1.000 por habitante, es decir, más de \$100 millones de pesos en este pueblo de 100.000 habitantes.

Las anteriores cifras no tienen en cuentas las pérdidas sobre la infraestructura, los servicios públicos, ni el turismo, ni tampoco las pérdidas causadas por la inmigración debido al desempleo que crean los terremotos, etc. Además, tampoco se ha incluido el costo para los aseguradores de vida ni el cuidado médico de los heridos y temporalmente incapacitados.

Si en una ciudad grande o en una región, 100.000 personas fueron muertas por edificios que se derrumbaron, por la caída de elementos no estructurales, incendios, explosiones, tal vez un maremoto, y el monto promedio asegurado fuere de 25.000 y la densidad del seguro fuere de cerca de 40%, los desembolsos de los aseguradores de vida ascenderían a cerca de \$1.000 millones. Una pérdida de vida de 100.000 es muy inferior al escenario máximo de pérdidas en muchos lugares del globo.

El aporte a las diferentes categorías de pérdidas en nuestro sencillo ejemplo es el siguiente:

La pérdida y daños indirectos constituyen el 23%, las pérdidas indirectas el 9%, la pérdida permanente de la capacidad productiva debiendo a la gente muerta 41% y aquella causada por la incapacidad permanente 27%.

Dado que la pérdida de vida, la incapacidad permanente, la interrupción en el comercio y por lo tanto, los gastos fijos generales se ven afectados por la vulnerabilidad de los edificios, es evidente que cualquier mejora en este campo reducirá el impacto de un terremoto y por lo tanto deberá recibir la atención adecuada.

Sin embargo, esto también significa que la pérdida total para la economía nacional causada por las muertes o las heridas serias a las víctimas asume proporciones gigantescas si el número de víctimas es mayor que el asumido en los ejemplos. El terremoto de Spitak, Armenia, mató cerca de 25.000 personas y muchas más quedaron inválidas. El terremoto de Guatemala en 1976 mató un

número semejante de personas. Estos terremotos no pueden tomarse como los peores casos. El terremoto de Tangshan mató cerca de 255.000 personas y cerca de 800.000 fueron heridas. No se conocen cifras sobre los inválidos. Un porcentaje aún mayor fué muerto por el terremoto de intensidad M 5.9 que azotó a Agadir en 1960.

En caso de que exista cualquier producción de alto valor en la ciudad (el ejemplo del nivel de altos ingresos considera este caso), las pérdidas indirectas aumentarían dramáticamente. Volver a poner en operación una planta petroquímica o de alto poder después de que ha sido terminada por una explosión o conflagración como consecuencia del terremoto puede tomar más de un año. Durante el terremoto de México de 1985, la siderúrgica localizada en la región epicéntrica no sufrió mucho. Sin embargo, no hay duda que una instalación así puede verse paralizada por un año o más por un terremoto. Esto demuestra que cada localización particular deberá evaluarse cuidadosamente por alguien con la experiencia adecuada.

Discutiremos ahora algunos aspectos adicionales que pueden ser importantes en lugares específicos.

Si la ciudad es un lugar turístico en la costa, la pérdida indirecta puede ser aún mayor. En general, los hoteles son notoriamente vulnerables debido a que con frecuencia están contruidos sobre material inestable cerca al mar y tienen un diseño asimétrico e irregular. La MDR es considerablemente mayor a la de los edificios corrientes y dentro del contexto del presente documento. Esto significa reparaciones más costosas y de mayor duración.

Si por ejemplo, no es posible alojar 2.000 turistas durante un período promedio de seis meses, resultaría una pérdida de ingresos de cerca de \$36 millones. A esto debemos sumar el interés sobre las inversiones que permanecen quietas. Debemos estar preparados para una total interrupción en el comercio en la mayoría de los hoteles ya que no solamente se presentarán serios daños estructurales, sino también grietas en las paredes de muchas habitaciones. Los huéspedes no se sentirán cómodos con albañiles, plomeros y electricistas rondando. Solamente la pérdida de interés sería algo así como \$7.000 millones o más. A esto debe sumársele los gastos por sueldos y salarios cuentas de servicios y otros gastos fijos. Además, el daño causado por terremotos puede atemorizar a los turistas por un largo período, en especial si se ha caído algún hotel ocasionando la muerte de huéspedes extranjeros.

Las pérdidas indirectas podrían ser aún más graves si hay alguna planta química cerca de la ciudad que utilice grandes cantidades de materiales tóxicos, explosivos o inflamables, o si la zona se ve afectada por un tsunami devastador.

No solo los grandes terremotos producen niveles de pérdidas y pérdidas indirectas como las que hemos discutido en los ejemplos

(cf. e.g. (4)). Un terremoto grande que se produzca cerca a una región de alto valor puede producir pérdidas mucho mayores. Los niveles de pérdidas que aparecen en las respectivas tablas y utilizados en los ejemplos no cuantifican por ejemplo el efecto adverso de un temblor devastador de una duración anormal. Es más, el primer ejemplo asumía una mezcla más bien homogénea de riesgos. El segundo ejemplo nuestro muestra que una planta altamente peligrosa instalada en una zona de bajo nivel de ingreso, puede causar pérdidas iguales a las pérdidas de todos los edificios, comercio, y fábricas juntas.

#### RIESGO DE TERREMOTO Y SEGURO

En la mayoría de los países es posible cubrir una parte esencial de los diferentes riesgos de terremoto con algún tipo de seguro, ya sea privado o no. La siguiente breve discusión tratará de ilustrar los puntos más esenciales relacionados con el riesgo de terremoto y su seguro. Debido al limitado espacio; trataremos los aspectos generales y no los detalles y no aquellos que son específicos de un país o región particular.

Aparte de los riesgos de terremoto que involucran directamente a personas en la forma de víctimas (muerte o herido) o incapacidad permanente, lo cual en general se asegura a través de pólizas que cubren vida, salud, accidente y alguna forma de seguro social, el cubrimiento por lo general se busca para pérdida física y daños a propiedad. En este campo, los cubrimientos comunes son para los edificios e instalaciones industriales de producción y por lo tanto basaremos nuestra discusión en esos elementos bajo riesgo.

La importancia de los edificios en desastres de terremotos y por lo tanto de seguros queda ilustrada por el hecho de que los códigos de construcción antisísmica desafortunadamente solamente se han desarrollado para este grupo de elementos en riesgo. Si agrupamos los edificios de acuerdo con su uso, encontramos que cerca de 30% de los daños causados por terremotos, por ejemplo, daños directos e indirectos sobre la propiedad, las finanzas, pérdida de vida y heridos, se localiza en edificios residenciales. En las sociedades no tecnológicas, los edificios comerciales y las fábricas combinados producen daños por lo general un tercio mayores a los de los edificios residenciales. Si se suma el daño por terremotos a todo tipo de edificios, es decir, residenciales, comerciales, administrativos y fábricas en sociedades no tecnológicas, encontramos que este grupo constituye cerca del 50% del gran total de pérdidas y daños por terremotos. Finalmente debe quedar claro que la pérdida de vida y heridos así como los efectos socioeconómicos de los terremotos dependen directamente del comportamiento del edificio.

#### ANALISIS DE RIESGO

La base de un seguro sólido y profesional contra terremotos depende del correcto análisis de riesgo. Los parámetros más

importantes a considerar son las funciones de vulnerabilidad para los tipos importantes de edificios y las distribuciones de probabilidad de los terremotos considerando su magnitud y/o intensidad.

El daño que ocasionan los terremotos de distintas intensidades a los edificios dependen de muchos detalles, por lo tanto la evaluación del daño potencial deberá considerar muchos parámetros. Mencionaremos tan solo algunos de los parámetros de daño más importantes, los edificios construidos sobre un subsuelo poco firme, como aluvión y particularmente sobre aluvión suave con nivel de agua cercana a la superficie, en general sufrirán daños mucho más severos que aquellos construidos sobre aluvión firme o sobre piedra. El daño en edificios asimétrico e irregulares es más fuerte que sobre edificios simétricos y regulares. para ponderar los respectivos parámetros se requiere la adecuada experiencia con las características de todos los edificios viejos y modernos (1, 2, 4 -10). Esta puede ser una difícil tarea, para quien trabaja únicamente en una región o país, especialmente si la sismicidad es baja y se carece de experiencia.

En cuanto a la sismicidad, se requiere una indicación confiable de la probabilidad de ocurrencia de terremotos de ciertas magnitudes o intensidades. La razón de esto es evidente. Asumimos que el daño promedio a cierta categoría de edificios causado por un terremoto de intensidad específica, es cerca de 30% de su valor. Por ejemplo, si debe esperarse una intensidad semejante cada 300 años, la tarifa neta de la prima de seguros para cubrir un edificio contra daños por este solo terremoto sería 30% dividido por 300 años, es decir 0.1% por año (cf. e.g. (11)).

Sin embargo, dado que los edificios no solo estarán expuestos a un solo terremoto, sino que según la distribución de la probabilidad de intensidad, a varios eventos, el aporte de cada uno de ellos deberá considerarse y la tarifa neta deberá ser por lo general varias veces mayor que aquella calculada para una solo terremoto.

Además, deberá sumársele la tarifa neta de los costos fijos, los márgenes de seguridad y una rentabilidad compatible con la de aquellos que ofrecen el seguro. Esto nos lleva a uno de los principales problemas del seguro contra terremoto.

#### DISEMINACION DEL RIESGO

Las consecuencias de un terremoto devastador puede llegar a ser catástrofe nacional. Por ejemplo, el terremoto de Armenia en diciembre de 1988 afectó una población de cerca de 700.000 personas y una región de desarrollo moderado. Sin embargo, el costo total de este terremoto fué de más de US\$20.000 millones. Trasladar esto a un escenario donde hay mayor población expuesta es una sencilla tarea aritmética. Si la región está más desarrollada tecnológicamente o, en otras palabras, goza de un PIB mayor, la pérdida potencial total puede ser muchas veces mayor, aún si

los edificios fueren menos vulnerables que los de Armenia.

Este simple enfoque demuestra que el impacto de un terremoto devastador deberá distribuirse de la manera más óptima en el país e internacionalmente. Esto último se logra a través del reaseguro. Por lo tanto, una solidaridad nacional que evite una elección negativa, es esencial. Esto se puede lograr por ejemplo asegurando selectivamente aquellas áreas donde la sismicidad es pronunciada o elementos en riesgo que son muy vulnerables o que constituyen valores individuales extremos. Esta selección no solo aumenta el costo del seguro debido a la falta de "buenos riesgos" que equilibran la cartera de seguros sino que las consecuencias más probables será la falta de capacidad de asegurar. Debe anotarse que la selección negativa también incrementa la cantidad de incertidumbres inherentes o un portafolio de seguros contra terremoto.

En el ejemplo anterior se seleccionó un período de retorno de 300 años. Debido a que "mañana" puede ocurrir un terremoto, resultando en un período de desembolso medido en términos de siglos, cualquier asegurador o reasegurador que arriesgue fuertes desembolsos por concepto de riesgos seleccionados negativamente, es decir desequilibrados, pensaría dos veces antes de aceptar una gran participación. Sin embargo, si el seguro se toma de buena manera bien balanceada, coordinada, a nivel de la nación, la relación prima a amenaza se optimiza, el portafolio de seguro está mejor balanceado y las incertidumbres se reducen considerablemente. Una organización así atrae un seguro para disminuir la carga de la catástrofe provocada por el terremoto.

#### **PROBLEMAS GENERALES Y ESPECIALES**

Los terremotos con frecuencia llegan por sorpresa, no solo para los habitantes de una ciudad sino también para la comunidad de los seguros.

Los estándares de construcción no siempre son adecuados. Además, se debe anotar que no es su propósito evitar pérdidas a los aseguradores. Tratan de proteger las vidas y el daño estructural. Sin embargo, más del 80% del daño es no estructural. Podemos también preguntarnos si los aseguradores han leído e interpretado el respectivo estándar cuidadosamente. Utilizando el terremoto de Newcastle como advertencia (cf. a continuación y (11)), citamos el estándar australiano. En la primera página del texto mismo (página 6 del Código), C1.1 ALCANCE enuncia "el propósito de este estándar es ... proteger contra falla estructural significativa y pérdida de vida". Los aseguradores han averiguado la magnitud del daño ya existente antes de la "falla estructural significativa" y antes de que las pérdidas de vida sean importantes?.

Una región puede aparecer como zona de baja sismicidad. Esto no significa que no puedan en realidad ocurrir terremotos devastadores o aún catastróficos. Las compañías de seguros deben pre-

guntarse si se tomaron el trabajo de averiguar cuál puede ser el riesgo. El terremoto de Newcastle (11) ocurrió en una zona designada "cero" en el Código de Construcción Australiano. No obstante, este moderado evento de cerca de M 5.5. que afortunadamente ocurrió a alguna distancia del pueblo, provocó una pérdida asegurada de varios cientos de millones de dólares. En realidad fué la segunda mayor pérdida de seguro contra incendio desde el terremoto de San Francisco en 1906.

Otro aspecto importante es si se están adelantando esfuerzos por averiguar si los elementos asegurados eran vulnerables a los movimientos telúricos y hasta qué grado. Es prudente asegurar elementos que valen miles de millones de dólares sin un concepto de un experto sobre la amenaza? Si los aseguradores de vida cubren una suma considerable por lo general solicitan un examen médico previo....

El reaseguro contra terremotos se enfoca desde el ángulo de los reaseguradores contra incendio, por ejemplo, sin tener en cuenta que los terremotos no siguen las normas de bloqueo aplicables a incendios, sino que pueden devastar inmensas áreas?

Si las pérdidas causadas por el terremoto de intensidad moderada de Newcastle que afectó una zona donde no vivían más de 100.000 personas pueden sumarse varios cientos de millones de dólares, se dan cuenta cuáles serían las pérdidas ocasionadas por un terremoto realmente fuerte si devastara una región con un población 10 veces mayor?

Los valores de los elementos en riesgo constituyen otro problema. Los términos del contrato de seguro y las condiciones bajo las cuales se indemnizan los reglamentos exigen un mayor cuidado. De todas maneras la regla general es válida: Entre más viejos sean los riesgos asegurados, más problemático será establecer los valores reales.

El seguro por debajo del costo es también un problema casi universal. En particular en aquellas regiones donde los edificios corrientes son comparativamente viejos y/o donde la inflación está incrementando el precio de la finca raíz, las sumas aseguradas deben revisarse constantemente. Pasar ésto por alto no va en interés de aquellos afectados por el terremoto, ni de sus aseguradores, ni tampoco en beneficio de asegurados en otras regiones o de otras sucursales de seguro que pueden ser llamadas para "salvar diferencias".

Otro aspecto que requiere una cuidadosa atención en el campo del seguro de catástrofes relacionadas con fenómenos naturales es la indemnización basada en "nuevo por viejo", ya sea que esto suceda concientemente o sin apreciar su alcance. En esta caso, el problema también aumenta con la población del edificio. Si no se controla este aspecto, puede ocurrir que el ingreso a largo plazo por concepto de primas para los aseguradores, en un momento proporcional a la amenaza, sea eventualmente insuficiente para cubrir el excedente. Este puede conducir a castigar otras ramas

de seguro, y sus clientes, lo cual no sería justo.

El terremoto de Newcastle demostró una vez más que el daño por el terremoto resulta en problemas de reparación, aún en edificios "normales", desconocidos en el seguros de incendio y por lo tanto no han sido apreciados en su totalidad. Si un edificio se vé afectado por un incendio, el daño a su estructura es raro; el techo tal vez esté averiado y cambiarlo o repararlo es relativamente sencillo, pero los muros no se despedazarán y en general, los cimientos permanecerán intactos.

No es así en el caso de un terremoto, el daño no estructural causado por el terremoto, es decir, arreglar cielos-rasos colgantes, cambiar tejas, reemplazar o arreglar muros puede ser muy costoso. Si por ejemplo se agrietan las paredes de ladrillos o si se desploman, la reparación no es solo muy costosa sino una difícil operación. Después de todo estará en juego la integridad estructural y la futura seguridad del edificio.

Un reasegurador prudente que trabaje en el campo de las amenazas de catástrofes recordará que estos peligros no están libres de tintes políticos. La opinión de un electorado, y respectivamente de qué tan bien o mal esté fundada esa opinión, es más importante para el político que el bienestar de las compañías de seguro.

El terremoto de Newcastle ha resaltado problemas específicos que discutiremos brevemente debido a que sus enseñanzas pueden aplicarse en otras regiones con condiciones similares.

Los viejos edificios que representan un patrimonio cultural, las iglesias etc., representan problemas específicos en relación con las correctas sumas de dineros asegurados y el costo de reparación del daño causado por el terremoto. Este caso ilustrará los problemas causados por los tipos específicos de reparación que se requieren luego de los terremotos y los efectos sobre las sumas aseguradas.

Todos sabemos que ensamblar un auto con repuestos resultaría en un vehículo mucho más costoso que su contraparte que sale directamente de la línea de ensamblaje. El trabajo es mucho más costoso que el costo original de construcción que se podría tomar como la suma asegurada. Aún un fuerte terremoto no destruiría completamente más que un porcentaje de edificios y por lo tanto, las reparaciones contribuirían más a la indemnización pagada por los aseguradores por daño al edificio. Es posible incluir el costo del "nuevo valor" de reposición de las reparaciones del edificio incluyendo un margen para éstas "eventualidades" o ajustando la prima proporcionalmente. Debe anotarse que la inclusión de un margen para eventualidades no es nada nuevo en el seguro de proyectos de ingeniería civil bajo los cubrimientos de todo riesgo (CAR) para los contratistas.

El ejemplo es aún más complejo si tomamos piezas sobresalientes de vieja arquitectura, tales como iglesias, museos, universidades, edificios gubernamentales.

La reparación de estos edificios requieren conocimientos especiales que pueden ser difícil de encontrar hoy. Si se deben reconstruir grandes secciones, los gastos pueden ser enormes.

Las sumas aseguradas reflejan esto? deberán asegurarse estos edificios y otros elementos que representan grandes riesgos sin una inspección calificada?

Los edificios, tanto nuevos como viejos, a menudo tienen grietas u otros daños leves sin que el dueño se haya dado cuenta. Los edificios en los distritos mineros están particularmente expuestos debido al inevitable asentamiento diferencial asociado con la minería. Con frecuencia el daño por dicho asentamiento no es percibido sino tan solo después de un exótico evento como una gran explosión, la construcción de un subterráneo o un terremoto. En teoría no es difícil distinguir una grieta nueva de una vieja. Sin embargo, en la práctica, puede constituir un problema si es necesario inspeccionar decenas de miles de reclamos.

Esto nos trae a un problema particular si se dañan una gran cantidad de elementos en riesgo, provocando un mar de reclamos. Obviamente sería difícil reunir la gran cantidad de inspectores que se requirieren para inspeccionar los daños. Podría decirse que los expertos en incendios o tormentas podrían hacerlo pero no sería así en caso de tener que analizar situaciones difíciles que involucran aspectos estructurales y reparaciones complicadas. Bajo estas circunstancias, los aseguradores deberán hacer sus evaluaciones en base a las cuentas que presentan los trabajadores, constructores y contratistas. Esto nos representa una nueva faceta humana de reclamos.

La reparación de daños causados por un terremoto no solo presiona la fuerza laboral sino que también puede ser una bendición disfrazada para la industria de la construcción y los proveedores. En un mercado libre donde los sindicatos pueden ser muy fuertes, las tentaciones son mayores.

#### CONCLUSIONES

Podemos sacar muchas conclusiones; trataremos las más sobresalientes.

La sismicidad de una región a menudo se subestima tan solo porque se "juza" por la experiencia pasada, que tiende a ser incompleta. La correcta evaluación del riesgo no solo deberá trabajar con mapas sísmicos que indican la probabilidad de diferentes magnitudes o intensidades sino también deberá estar conciente de la posibilidad de brechas sísmicas. Todos los datos de esta naturaleza que se utilicen deberán incorporar un factor de seguridad proporcional a la amenaza.

En general, la vulnerabilidad de los elementos en riesgo no se conoce en su totalidad y con frecuencia se subestima.

Uno debe tratar de familiarizarse no solo con los datos generales de vulnerabilidad sino también con los numerosos parámetros que contribuyen a los daños y pérdidas. La correcta evaluación del riesgo, la clasificación, el reasegurador, la optimización del riesgo y el manejo de desastres no debe basarse únicamente en suposiciones o modelos teóricos sino en la pragmática aplicación de la experiencia que se deriva de la mayor cantidad posible de terremotos. Debemos tener en cuenta que la experiencia pasada probablemente no incluirá un desastre real. Por lo tanto en este campo uno no debe trabajar sin factores de seguridad.

Los efectos económicos directos e indirectos de un terremoto tan solo podrán evaluarse si se ha hecho un inventario de existencias muy detallado, ya sea que una sociedad, gobiernos o aseguradores deseen determinar el riesgo.

#### REFERENCIAS

1. Tiedemann, H., Earthquakes and Volcanic Eruptions: A Handbook on Risk Assessment, Swiss Reinsurance Co., Zurich (available in 1990).
2. Tiedemann, H., Indirect Loss and Damage caused by Earthquakes: A General Treatment, UNDP/UNDRO/USSR Training Seminar, Moscow, 1989.
3. Tiedemann, H., The Technical Assessment of Catastrophe Risks, Rendez - Vous de Septembre, Monte-Carlo, 1988.
4. Tiedemann, H., Small Earthquakes - Small Exposure?, Swiss Reinsurance Co, Zurich, 1987.
5. Tiedemann, H., Some Statistics of the South Italian and Algerian Earthquakes, Symposium on Earthquake Engineering, Roorkee, India, 1981.
6. Tiedemann, H., Lessons from the Mexican Earthquake of 1985; Quantitative Evaluation of Damage and Damage Parameters, Vol. VIII - 957, SJ-7, 9th WCEE, Tokyo & Kyoto, 1988.
7. Swissre, Earthquake Risk Assessment, Swiss Reinsurance Co, Zurich, Switzerland, 1977 & 1982.
8. Tiedemann, H., Quantification of Factors Contributing to Earthquake Damage in Buildings, Eng. Geol., 20, 169, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1984.
9. Tiedemann, H., Orientational Sensitivity of Buildings Revealed by the Mexican Earthquake of Septembre 1985, 8th Europ. Conf. on Earthqu. Eng., Lisbon, 1985.

10. Tiedemann, H., A Model for the Assessment of Seismic Risk, 8th WCEE, Vol 1, 199, San Francisco, 1984.
11. Tiedemann, H., Newcastle: The Writing on the Wall, Swiss Reinsurance Co., Zurich, 1990.

**SISTEMA NACIONAL PARA LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES  
SOCIEDAD COLOMBIANA DE INGENIEROS**

**SEMINARIO**

**DESASTRES SISMICOS EN GRANDES CIUDADES  
"Enseñanzas en Mitigación y Operativos de Emergencia"**

**ESTUDIOS DE MICROZONIFICACION SISMICA PARA LA PLANIFICACION  
URBANA Y EL DISEÑO**

**INSTITUTO DE INGENIERIA SISMICA Y SISMOLOGIA**

**Jakim PETROVSKI**

**Profesor**

**Zoran MILUTINOVIC**

**Profesor Asociado**

**Universidad "Kiril and Metodij"**

**Skopje, Yugoslavia.**

## ESTUDIOS DE MICROZONIFICACION SISMICA PARA LA PLANIFICACION URBANA Y EL DISEÑO

Zoran MILUTINOVIC, Jakim PETROVSKI  
Profesores

Instituto de Ingeniería Sísmica y Sismología  
Universidad "Kiril y Metodij", Skopje, Yugoslavia

### INTRODUCCION

Las grandes devastaciones que han afectado la economía de las regiones de alta sismicidad demuestran que deben adoptarse rigurosas medidas para reducir la pérdida de vidas y de las propiedades durante terremotos catastróficos. Los países con riesgos sísmicos, con concentración de la inversión en zonas sísmicas, deben darle una especial atención a la protección futura de los costosos sistemas vitales para evitar serias penalidades económicas. Muchas grandes regiones urbanizadas e industrializadas en el mundo expuestas a una alta sismicidad se han desarrollado sin la adecuada consideración de los posibles efectos de los terremotos. Parece que entre más desarrollada sea la economía, mayores esfuerzos estará dispuesta la sociedad a destinar a la protección sísmica.

La mayoría de los estudios sobre distribución de daños causados por terremotos indican que las áreas de daño son muy localizadas y que el grado de daño puede cambiar abruptamente en distancias tan cortas como 0.5 a 1 Km. A menudo, estas variaciones en daños estructurales se atribuyen a la geología local y a las condiciones del suelo, especialmente cuando hay cimientos débiles. Aún en ausencia de problemas de cimientos, la intensidad de la sacudida del terreno varía fuertemente en cortas distancias, lo cual ha llevado a los investigadores a pensar que las condiciones locales del suelo son de vital importancia en el control del comportamiento y de los daños a los sistemas estructurales al ser expuestos a las cargas de un terremoto.

La manera más eficiente de asegurar la adecuada protección contra terremotos a nivel regional/local no es solamente aplicando criterios técnicamente consistentes y económicamente viables en el diseño sísmoresistente, sino permitir la completa protección de todas las actividades humanas y del medio de vida a través del proceso de planeación urbana y regional. Para esto, la zonificación y microzonificación son pasos indispensables y constituyen la base sobre la cual la planeación podría lograrse exitosamente a todo nivel. A continuación se darán en detalle los pasos básicos y las investigaciones para la elaboración de la zonificación y microzonificación.

## 1. RECOPIACION Y SINTESIS DE DATOS PROVENIENTES DE ESTUDIOS REGIONALES.

Con el fin de determinar los parámetros sísmicos regionales en cualquier sitio, asentamiento o el núcleo urbano que debe modificarse por la influencia de los efectos de las condiciones locales del suelo, deben desarrollarse consistentemente investigaciones y estudios a nivel regional. Estos estudios incluyen:

### 1.1. Estudios/Investigaciones Geológicas - Geomorfológicas

- Zonificación tectónica histórica;
- Análisis de movimientos neotectónicos;
- Análisis de movimientos recientes;
- Trazado de mapas de fallas tectónicas;
- Elaboración de los criterios geológicos de sismicidad;
- Determinación de zonas sísmogénicas de acuerdo con criterios geológicos.

### 1.2. Investigaciones Geofísicas de la Estructura de la Corteza Terrestre

- Estudios para la elaboración de un mapa de anomalías isostáticas de la corteza terrestre;
- Mapa de anomalías geomagnéticas;
- Mapa de profundidades de depósitos sedimentarios;
- Determinación de la elongación de las estructuras de las fallas profundas;
- Determinación de criterios geofísicos de sismicidad.

### 1.3. Recopilación y Síntesis de los Datos Sísmológicos.

- Elaboración de un catálogo de terremotos;
- Atlas de mapas isosísmicos de terremotos más fuertes;
- Mapa isosísmico sintético;
- Mapa de epicentros;
- Estudio de la generación de terremotos y de réplicas.

### 1.4. Correlación de Datos.

- Determinación de zonas capaces de producir terremotos (correlación de datos geológicos, geofísicos y sísmológicos).
- Estudio de las relaciones  $I, M, h, \Delta$  y  $\beta$ .

### 1.5. Elaboración de Mapas de Zonificación Sísmica por:

- Máxima intensidad esperada;
- Máximas aceleraciones, velocidades etc., estimadas;
- Máximas aceleraciones, velocidades etc., observadas;

De esta manera, a través de la recopilación y síntesis de los datos regionales, la regionalización sísmica será la síntesis de

los datos geológicos, geofísicos y sismológicos para definir la distribución geográfica de determinado parámetro o cantidad (ya sea sin limitación en el tiempo o para un periodo de tiempo específico) con base en criterios geológicos y geofísicos aceptados de sismicidad.

## 2. ANALISIS DE LA AMENAZA SISMICA.

La amenaza sísmica se define como una probabilidad de  $F(a)$  de que se excederán ciertos parámetros de movimiento del terreno en un periodo (T) de años. Esta definición probabilística de la amenaza sísmica contiene cierto nivel de predicción o extrapolación hacia el futuro del valor que puede llegar a tener el parámetro de movimiento del terreno que caracteriza un sismo. Actualmente, el parámetro de movimiento del terreno más común en la evaluación de la amenaza es la aceleración pico del suelo (APS). Otros parámetros tales como duración del movimiento fuerte del terreno, se utilizan más como resultados finales del análisis de la amenaza.

En términos generales, la evaluación de la amenaza se hace siguiendo estos pasos:

### 2.1. Modelo de las Fuentes de los Terremotos.

- Fuente puntual
- Fuente lineal
- Fuente en un área
- Fuente de volumen
- Sismicidad difusa (de fondo)

El modelo particular a usar depende de la detallada investigación sismológica y tectónica de la región sísmica particular.

### 2.2. Determinación de la Distribución de Magnitudes (Intensidad/Frecuencia) y Estimación de la Magnitud (Intensidad) Máxima de Esperada para cada Fuente Sísmica.

$$\text{Log}N = a + bM, \quad M < M_{\text{máx}}$$

Las relaciones se derivan de acuerdo con los análisis estadísticos de los datos sismológicos de terremotos ocurridos.

### 2.3. Modelo Estocástico de Tiempo de Interocurrencia de un Terremoto, es decir, Determinación de la Distribución de Probabilidad del Tiempo entre dos Terremotos Sucesivos con una Magnitud Dada.

Actualmente, el modelo estocástico más común es el modelo Poisson con una función constante de la tasa de amenaza. Sin embargo, existen indicios de que en el caso de que la sismicidad de una región la rijan una sola gran falla, el modelo no es satisfactorio. Por lo tanto, otros modelos que no tienen una tasa constante

de amenaza pueden utilizarse tales como la distribución normal logarítmica.

#### 2.4. Leyes de Atenuación.

Para estimar la intensidad de los parámetros de movimiento del terreno, deberá determinarse el efecto de la distancia a la fuente y la energía liberada en la fuente. La dependencia funcional entre los parámetros de movimiento del terreno y los parámetros de terremoto seleccionados ( $M$ ,  $I_0$ ,  $M_0$ ) y la distancia hipocéntrica  $R$ , se denomina ley de atenuación.

Hay dos enfoques para determinarla:

- Enfoque semideterminístico utilizando análisis de regresión de los datos empíricos.

$$a = f(M, R, \dots)$$

- Modelación probabilística de los datos empíricos

$$\Pr(a < A | M, R)$$

En general, las leyes de atenuación dependen de la región considerada. Ambos enfoques se basan en datos sismológicos y de movimientos fuertes que existen.

#### 2.5. Evaluación de la Amenaza.

Con el fin de calcular las probabilidades de exceder el parámetro específico de movimiento, debe considerarse el efecto de todas las fuentes circundantes. Asumiendo una independencia espacial para cada fuente, la probabilidad de excederlo está dada por:

$$\Pr(a > A, T) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - \Pr_i(a > A, T)]$$

donde

$$\Pr_i(a > A, T)$$

es la probabilidad de exceder el parámetro de movimiento del terreno cuando un terremoto ocurre en la fuente  $i$  durante el tiempo  $T$ .

El resultado final del análisis de amenaza son los mapas de amenaza sísmica en términos de los parámetros de movimiento de terreno en un tiempo dado  $T$ .

### 3. EVALUACION DE LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS Y PROPIEDADES DINAMICAS DEL TERRENO.

El objetivo final de estos estudios es la elaboración de documentación sísmogeológica y mapas correspondientes como base para estimar la influencia de las condiciones locales del terreno al modificar los movimientos regionales y la elaboración de estudios detallados de microzonificación en cualquier asentamiento urbano o área.

La práctica Yugoslava, implementada en más de 100 estudios de microzonificación en todo Yugoslavia, anticipa los siguientes pasos básicos:

1. Estudios preparatorios en oficina
2. Estudios sobre el terreno e investigaciones
3. Investigaciones geotécnicas
4. Investigaciones sísmicas (geofísicas)
5. Investigaciones geodésicas
6. Investigaciones de laboratorio

### **3.1. Estudios Preparatorios en la Oficina.**

Estos estudios incluyen:

- Diseño del programa de investigación;
- Recopilación y síntesis de los datos y documentación disponibles; y
- Análisis de imágenes de aerofotografía.

Estas investigaciones preparatorias deben definir el área de investigación, los objetivos, enfoque metodológico, cronograma de las investigaciones, alcance y tipo de trabajos investigativos al nivel necesario para comprender la estructura geológica del terreno, sus características morfológicas, hidrogeológicas, ingeniería-geológicas y sísmogeológicas, así como permitir la iniciación racional y elaboración de estudios e investigaciones en el terreno.

### **3.2. Estudios sobre el Terreno e Investigaciones.**

- Trazado de mapas hidrogeológicos y de ingeniería geología;
- Preparación de perforaciones;
- Trazado de mapas de los núcleos de las perforaciones;
- Muestreo para investigaciones de laboratorio; y
- Realización de pruebas de penetración estandar en el lugar.

De acuerdo con el tamaño físico del área que se microzonificará, podrá realizarse el trazado de mapas hidrogeológicos y de ingeniería-geología con base en la topografía a una escala de 1:5000 o 1:1000. En el caso de Montenegro, se utilizó la escala 1:5000 para microzonificaciones relacionadas con la elaboración de planes maestros de comunidades. La escala 1:1000 se usó para estudios detallados de microzonificación para la revitalización de antiguos núcleos urbanos, patrimonio histórico y cultural. En consecuencia, todos los mapas se realizaron en una escala 1:1000 y a 1:5000. Estos mapas ofrecen datos para la elaboración de:

- Mapas hidrogeológicos,
- Mapas de ingeniería- geología; y
- Mapas de estabilidad del terreno.

Las perforaciones deberán ofrecer datos sobre la estructura litoestratigráfica de sedimentos, de gravimetría, existencia o carencia de aguas subterráneas y el nivel freático, así como definir la posición del lecho de roca. Además, permitirá la prueba SPT a varios niveles y ofrecerá datos para la prueba de laboratorio. El trazado de mapas de los núcleos de perforaciones ofrecerá datos sobre petrografía mineral y el tamaño del grano de depósitos cuaternarios.

### 3.3. Investigación Geoeléctrica.

Estas investigaciones (AB/2 = 100 mts; AB/2 = 300 mts y AB/2 = 500 mts) debe ofrecer datos adicionales sobre el espesor de los sedimentos cuaternarios, sus características litoestratigráficas y físicas, características del lecho de la roca y nivel freático.

### 3.4. Investigaciones Sísmicas (Geofísicas).

La experiencia Yugoslava incluye los siguientes tipos de investigaciones sísmicas:

- Refracción sísmica; es decir, determinación in situ de las velocidades  $V_p$  y  $V_s$ ;
- Medición de microtemblores; y
- Medidas de la vibración ambiental a escala completa de los edificios elegidos.

Las medidas de refracción ofrecen datos sobre las velocidades elásticas de propagación  $V_s$  y  $V_p$  de los estratos característicos de terreno, sus características físicas y en consecuencia sobre la estructura geológica. Podrá obtenerse datos sobre las características de lechos de roca poco profundos. Las mediciones de microtemblores ofrecen datos sobre las características físicas de aisladas microlocalizaciones (puntos de medición). Las vibraciones ambientales a escala completa ofrecen datos sobre las características dinámicas fundamentales de los edificios representativos elegidos considerados como muestras de las construcciones que prevalecen en la región/área urbana.

Los datos obtenidos a través de las investigaciones sísmicas representan datos básicos para la modelación geotécnica, la determinación de la influencia de las condiciones locales del terreno sobre la modificación de los movimientos regionales y la posterior elaboración de mapas de microzonificación.

### 3.5. Investigaciones Geodésicas.

Las investigaciones/mediciones geodésicas son necesarias para definir las coordenadas y niveles de todos las perforaciones, con base en las cuales se podrá lograr el correcto trazado, la elaboración de mapas y la interpretación de datos y resultados.

### 3.6. Investigaciones de Laboratorio.

Deben realizarse dos tipos de ensayos:

**Estáticos**, incluyendo la determinación de:

- Granulometría;
- Peso específico y densidad;
- Consistencia;
- Cohesión y ángulo de fricción interna;
- Coeficiente de filtración;
- Contenido de humedad, etc.

**Dinámicos**, incluyendo la determinación de:

- La relación entre el módulo de corte y los esfuerzos de cortante.
- La relación entre los coeficientes de amortiguación y los esfuerzos de cortante.

Los ensayos dinámicos de laboratorio deben efectuarse sobre muestras del suelo sin perturbación (suelos cohesivos) y con perturbación (suelos sin cohesión) tomadas durante el desarrollo de las perforaciones con el fin de determinar las llamadas curvas de material que describen el comportamiento del suelo en el rango no lineal, que posiblemente se presentará cuando los depósitos del suelo estén expuestos a sismos de mediana a fuerte intensidad.

### 4. DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS DE AMPLIFICACION Y MODIFICACIONES EN LOS MOVIMIENTOS DEL SUELO ORIGINADOS POR TERREMOTOS REGIONALES.

Las enseñanzas de los pasados terremotos hicieron evidente la indiscutible influencia de la geología de la superficie, es decir, los depósitos superficiales sobre la amplificación y modificación en la frecuencia de los movimientos del suelo. Los daños y los registros en instrumentos han demostrado que mientras que las máximas aceleraciones y la duración del movimiento en la roca o en suelos duros son despreciables, en los depósitos de los valles se aumentan dramáticamente (1985 Michoacán, México). Por lo tanto, los efectos de un terremoto en un sitio, aún si son limitados, pueden ser considerablemente diferentes dependiendo de los patrones de litoestratificación de los depósitos de la superficie.

Con el fin de aclarar estos efectos y su influencia sobre la amplitud y frecuencia de los movimientos regionales, deberá hacerse el análisis dinámico de los perfiles representativos de suelos seleccionados, evaluar el potencial de amplificación y trazar mapas a la escala correcta.

Los perfiles de suelo representativos y los modelos geotécnicos deben evaluarse de acuerdo con la síntesis de las investigaciones

geológicas, geofísicas y geotécnicas disponibles. Debido a las fuertes tensiones de corte inducidas en los medios de suelo, particularmente en los suelos blandos saturados de agua durante movimientos de tierra fuertes causados por terremotos, el comportamiento de los depósitos del suelo estarían fuera del rango lineal, controlados por el módulo de corte dependiente de la fuerza y el amortiguamiento. El ablandamiento de las propiedades del material inicialmente determinado junto con el incremento en la amortiguación tienen una influencia exclusiva sobre la modificación del contenido de frecuencia y amplitud de los movimientos del suelo inducidos, cuyos efectos deben considerarse adecuadamente en el análisis e interpretación de los resultados finales.

##### 5. DETERMINACION DEL POTENCIAL DE INESTABILIDAD DINAMICA DE LOS SUELOS.

Además de los efectos vibracionales que afectan la gran mayoría de estructuras, existen también diferentes tipos de amenazas geológicas iniciadas por la vibración sísmica y que pueden causar enormes pérdidas y víctimas.

La licueación de los suelos durante los terremotos ha resultado en ejemplos dramáticos de daños. La licuación de las arenas durante el terremoto de Niigata en 1964, causó el hundimiento de estructuras más de un metro en los suelos licuados. Los asentamientos fueron acompañados por inclinaciones hasta de 80 grados. Efectos similares fueron observados en Puerto Monte durante el terremoto de Chile en 1960. Si la licuación ocurre en o bajo una masa de tierra en pendiente, la masa entera puede fluir lateralmente hacia abajo. Estos deslizamientos se han observado en materiales saturados sueltos sin cohesión durante los terremotos de Chile (1960), Alaska (1964), Niigata (1964). El ejemplo más reciente es el terremoto del 23 de enero de 1988 en Tadjikistán, Unión Soviética (M= 5.8) cuando la ciudad de Dushanbe fue afectada y el pueblo de Sharora fue destruido.

El movimiento telúrico disparó un flujo de barro masivo que afectó el área de cerca de 8 Km de largo y 1 Km de ancho, con un volumen de más de 10 millones de metros cúbicos y donde la barrera de barro y depósitos alcanzó una altura de 25 metros en el pueblo de Sharora. Como resultado se suspendieron las actividades de rescate y atención en Sharora y el área se declaró monumento nacional.

Los deslizamientos también se presentan frecuentemente como consecuencia de terremotos. En muchos casos, pueden causar el mismo daño durante y después del terremoto que el movimiento telúrico mismo, en especial daños en la infraestructura regional y urbana y en las líneas vitales. Los principales deslizamientos durante los terremotos han ocurrido básicamente en los depósitos de arcilla. Uno de los más grandes deslizamientos en depósitos de arcilla ocurrió a lo largo de la costa del área de los Montes Turnagain en Anchorage, Alaska en el terremoto de 1964. El deslizamiento se extendió 2,550 mts a lo largo del barranco y se

desenvolvió hacia el interior cerca de 300 mts.

El desplazamiento a lo largo de las fallas de la superficie, en especial cuando pasan por zonas densamente pobladas, puede resultar en pérdidas económicas e interrupción en la movilidad operacional de la infraestructura urbana/regional y las líneas vitales. Hasta el momento, la experiencia con terremotos en el pasado indica que en muy pocos casos las rupturas de la superficie han causado daño/pérdida a las estructuras de edificios.

Con el fin de evaluar estos efectos e incorporarlos adecuadamente en los mapas de microzonificación y mapas de estabilidad del terreno, criterios de licuación y otras inestabilidades del suelo bajo las diferentes cargas de terremotos, deberán desarrollarse y trazarse correctamente en mapas de escala adecuada:

- Mapa de licuación potencial que debe elaborarse para los movimientos sísmicos esperados con diferentes períodos de retorno basado en el conocimiento de la estructura geológica del área, las características geotécnicas de las capas de tierra de la superficie y las características estimadas de amplitud y frecuencia de los movimientos terrestres esperados.

La microzonificación deberá efectuarse en términos de:

1. Zonas donde se excluye el potencial de licuación;
  2. Zonas de ligero potencial de licuación;
  3. Zonas de moderado potencial de licuación;
  4. Zonas de alto potencial de licuación.
- Mapas de estabilidad del terreno elaborados en base a geología, ingeniería y características morfométricas del terreno, identificando las zonas de:
    1. Terrenos estables;
    2. Terrenos condicionalmente estables;
    3. Terrenos inestables;
    4. Terrenos altamente inestables.

Este mapa puede elaborarse para condiciones estáticas (no terremotos) o relacionadas con movimientos sísmicos de período de retorno predeterminado. La base de este mapa es el mapa morfométrico que presenta la microzonificación de acuerdo con la pendiente del terreno siguiendo los criterios que se describen a continuación:

1. Terrenos con pendientes inferiores a 5x
2. Terrenos con pendientes de 5x a 10x
3. Terrenos con pendientes de 10x a 15x
4. Terrenos con pendientes de 15x a 20x
5. Terrenos con pendientes de 20x a 30x
6. Terrenos con pendientes de 30x a 40x

El mapa de estabilidad de los terrenos es uno de los insumos básicos para la elaboración de planes urbanos detallados y maes-

tros, el mapa de microzonificación sísmica y el mapa de lugares adecuados para la urbanización.

#### 8. EVALUACION DE VULNERABILIDAD Y ESTIMACION DE PERDIDAS DE ELEMENTOS BAJO RIESGO EXISTENTES Y PLANEADOS: EVALUACION DEL NIVEL DE RIESGO SISMICO ACEPTABLE.

El mapa de microzonificación estándar (clásico) representa la convolución de amenazas regionales modificadas por la influencia de las condiciones locales del suelo en lo relacionado con la amplitud y contenido frecuencial de los movimientos regionales.

Debido a que los efectos relacionados con dichas amenazas (licuación, asentamiento uniforme/no uniforme, deslizamientos de tierra, derrumbes, fallas en la superficie, etc.) son prácticamente imposibles de evitar a través de medidas técnicas económicamente justificables, el interrogante de "si el mapa de microzonificación sísmica estándar presenta en forma confiable la severidad esperada de vibración o no y bajo cuáles circunstancias deberá utilizarse" es en la actualidad revisado en por la comunidad internacional de la ingeniería sísmica.

Desde el punto de vista de la planificación la microzonificación estándar es útil para la planeación de espacio aún no ocupado, por ejemplo cuando se va a diseñar un edificio para el cual se deben aplicar los parámetros sísmicos y geotécnicos de la microzona, considerando que la microzona es apropiada para construcción desde el punto de vista de otros peligros geológicos. Sin embargo, teniendo en cuenta que el área urbana es una aglomeración de edificios existentes, en donde, además, prevalecen sistemas estructurales diferentes, de materiales de construcción, altura, edad, etc., el mapa de microzonificación estándar tiene de poco uso práctico, pues tan sólo dá la idea de cómo podrían comportarse diferentes sistemas estructurales al verse expuestos a un movimiento sísmico de un período de retorno seleccionado, ya que no se estudia ni incorpora en su desarrollo ningún parámetro que controla el comportamiento estructural. Tampoco es de gran ayuda para la planeación de actividades de preparación y atención de desastres, medidas de reconstrucción y rehabilitación a corto y largo plazo, ya que a través de éste los daños y pérdidas ocasionadas por el terremoto no pueden evaluarse confiablemente. La tipología débil y/o favorable de construcción no puede identificarse, como tampoco muchos otros parámetros que controlan la apariencia y el génesis de los daños hasta el colapso.

Por esta razón, la visión clara de las pérdidas potenciales que puede sufrir la urbanización existente y planeada en caso de un terremoto de un período de retorno predeterminado puede obtenerse de los llamados mapas de distribución de daños o de vulnerabilidad, los cuales además de todos los elementos que ya están incorporados en los mapas de microzonificación sísmica estándar, incluyen parámetros que están controlando la respuesta dinámica y el génesis del daño al edificio, tales como: (1) intensidad y

duración del movimiento del terreno como parámetros de movimiento del terreno; (2) patrones del periodo fundamental de los edificios y amortiguación como parámetros que describen las propiedades dinámicas de una estructura incluyendo la información sobre los sistemas estructurales, el número de pisos (altura), materiales de construcción utilizados, edad, etc; y (3) ductilidad y cantidad de respuestas como representativas del grupo de parámetros relacionados con la capacidad estructural y otros efectos que pueden aparecer cuando las estructuras tienen comportamientos diferentes al rango lineal.

En la elaboración de estos "mapas de distribución de daños dependiendo del tipo estructural" se debe seguir en forma consistente la siguiente secuencia de estudio:

- Zonificación de la región/ciudad y clasificación con inventario de la propiedad del material (elementos bajo riesgo) dentro de cada zona;
- Predicción de los parámetros de movimiento del terreno, en este caso particular, los espectros de respuesta efectiva promedio o respuesta efectiva, que afecta el potencial de daño por terremoto en cada zona; y
- Predicción de las pérdidas en cualquier elemento individual amenazado para cada zona, así como predicción de pérdidas acumuladas para todos los elementos amenazados considerados en la región/ciudad.

y se deben desarrollar separadamente las funciones de vulnerabilidad adecuadas para cada uno de los elementos en riesgo identificados con base en estudios empíricos, teóricos y experimentales. El siguiente conjunto de mapas podrá elaborarse teniendo la anterior información:

- Mapas de pérdidas específicas regionales/urbanas de los elementos seleccionados bajo riesgo;
- Mapas de distribución de daños a nivel regional/urbano para cada elemento amenazado y mapas sobrepuestos presentando el daño acumulado para cada elemento amenazado;

lo cual ofrecerá información detallada sobre:

- Cifras acumuladas del potencial de pérdida regional del tipo de construcción adoptado en la urbanización (viejos núcleos urbanos y nuevos desarrollos);
- Estimativos sobre las pérdidas totales físicas y funcionales que sufrirá la región/ciudad como consecuencia de un terremoto de magnitud predeterminada o escenario de amenaza sísmica justificado por el nivel de desarrollo económico;
- Estimativos de la vulnerabilidad de los grupos de sistemas estructurales existentes adoptados en vivienda moderna o nue-

vos desarrollos;

- Información sobre la conveniencia, aplicabilidad y necesidad de mejorar los estándares existentes de construcción, reglamentos, códigos, etc.
- Mapas de pérdidas específicas urbanas/regionales para los elementos amenazados seleccionados;

Con estas bases, el trazado y distribución de actividades humanas, planeación de desarrollo a nivel regional o local deberá decidirse aceptando un compromiso entre exposición a amenaza sísmica y las necesidades económicas y sociales.

#### 7. RESULTADOS: IMPLEMENTACION EN LA PLANEACION DE LOS USOS DEL SUELO, LA PLANEACION URBANA DETALLADA Y EL DISEÑO

El nivel de conocimiento actual considera que los procedimientos de zonificación y microzonificación sísmica se han desarrollado con el fin de estimar la amenaza sísmica para propósitos de planeación urbana y regional así como para determinar los niveles de las fuerzas de los movimientos para el diseño sismorresistente.

Para estos propósitos, el mapa de microzonificación sísmica deberá elaborarse basándose en la síntesis de todos los estudios geofísicos, sismológicos, ingeniería sismología, morfométricos, hidrogeológicos, y demás y presenta los resultados de la microzonificación de los terrenos para diferentes periodos de retorno característicos de la amenaza sísmica tal como, 50, 100, 200, etc, años.

Esta es una de las entradas básicas para la elaboración de un mapa de usos del suelo adecuados para urbanización que debe elaborarse con base en el siguiente conjunto de mapas:

1. Mapa morfométrico
2. Mapa hidrogeológico
3. Mapa geológico-ingeniería
4. Mapa de estabilidad del terreno
5. Mapa de capacidad de resistencia del subsuelo
6. Mapa de microzonificación sísmica
7. Mapa del potencial de licuación

La actual práctica de planeación en Yugoslavia toma este mapa como base para la elaboración de planes urbanos maestros y detallados. De acuerdo con esto, el área urbana se zonifica en terrenos que son:

- Categoría I - Sin restricción alguna para la urbanización
- Categoría II- Con ligeras restricciones para la urbanización
- Categoría III- Con considerables restricciones para la

urbanización  
Categoría IV- Desfavorable para la urbanización

Sin embargo, tal como se mencionó, la información sobre la tipología de construcción urbana existente o planeada, sus características y daño potencial no se implementan a través del proceso de microzonificación y en consecuencia, tampoco la elaboración del mapa de usos del suelo adecuados para urbanización. Durante la elaboración de los planes de desarrollo físico y planes urbanos maestros en la República de Montenegro se intentó aclarar estos puntos e incorporar la información anterior en el proceso de planeación maestra y urbana. Implícitamente se entiende que además de la lista de mapas, el mapa de terrenos adecuados para la urbanización deberá también basarse en el "Mapa de Distribución de Daño Esperado" elaborado para las distintas clases de tipología de construcción existentes. Esta información incluye el mapa de usos del suelo adecuados para la urbanización, el cual no sólo ofrecerá datos sobre terrenos favorables o no para urbanizar, sino también datos sobre si determinada tipología de construcción que se adaptará a la urbanización es adecuada. Además, los mapas de distribución esperada del daño indicarán la distribución local y concentración del daño, delineando así las áreas donde aparecerán los principales problemas en los edificios existentes durante un terremoto. Igualmente, establecerá las medidas y actividades anteriores al terremoto y la prioridad a la que deben planearse para una efectiva mitigación del riesgo sísmico.

**SISTEMA NACIONAL PARA LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES  
SOCIEDAD COLOMBIANA DE INGENIEROS**

**SEMINARIO**

**DESASTRES SISMICOS EN GRANDES CIUDADES  
"Enseñanzas en Mitigación y Operativos de Emergencia"**

**PROYECTO INTEGRAL PARA LA MITIGACION DEL RIESGO SISMICO  
DE CALI**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
Hansjürgen Meyer  
Facultad de Ingeniería  
Observatorio Sismológico  
del Sur-Occidente-OSSO  
Director  
Cali-Colombia**

## PROYECTO INTEGRAL PARA LA MITIGACION DEL RIESGO SISMICO DE CALI

Relator: Hansjürgen Meyer<sup>(1)</sup>  
Participantes: Hansjürgen Meyer<sup>(1)</sup>, Andrés A. Velásquez<sup>(1)</sup>, Samir González<sup>(1)</sup>,  
Jorge A. Mejía<sup>(1)</sup>, Jose A. Jaramillo<sup>(1)</sup>, Gustavo A. Londoño<sup>(1)</sup>,  
Harold Cárdenas<sup>(1)</sup>, Germán Villafañe<sup>(1)</sup>, Miguel Charry<sup>(2)</sup>,  
Hipólito Galvis<sup>(3)</sup>, Oscar Latorre<sup>(4)</sup>, Octavio Mesa<sup>(4)</sup>, Omar Darío  
Cardona<sup>(5)</sup>, Jorge E. Hurtado<sup>(6)</sup>, Julio Kuroiwa<sup>(6)</sup>, José Grases<sup>(6)</sup>

- (1): Universidad del Valle - Facultad de Ingeniería
- (2): Universidad del Valle - Facultad de Arquitectura
- (3): Corporación Autónoma Regional del Cauca - CVC
- (4): Asociación de Ingenieros Estructurales del Valle
- (5): Oficina Nacional de Prevención y Atención de Desastres,  
Presidencia de la República
- (6): UNDRO

### INTRODUCCION

La ciudad de Cali, cuya población se está aproximando a los dos millones, está ubicada en la región de mayor amenaza sísmica de Colombia y necesita medidas específicas y amplias para la mitigación del riesgo.

El siguiente es el relato de un proyecto que aún está en pleno desarrollo y que aspira a abarcar todas las acciones necesarias para reducir el riesgo sísmico en la ciudad de Cali, desde la evaluación de la amenaza hasta el diseño de medidas para reducir la vulnerabilidad de vidas, bienes y servicios. También es el relato de un proyecto de gran cobertura en cuanto a participación y aportes; no hubiera sido posible sin el consenso, la capacidad y los esfuerzos de muchas personas e instituciones.

El término 'integral' se ha entendido entonces en dos sentidos en éste proyecto: por un lado, la integración de objetivos que, si bien todos son del amplio tema de la prevención de desastres sísmicos, demandan competencias muy diversas y frecuentemente tienen su marco contractual individual; por otro lado la acción mancomunada de personas y organismos que cubren una amplia gama de funciones y actividades.

El objetivo general de este proyecto es obviamente de carácter social; se cumple a través de objetivos parciales de carácter científico, técnico y administrativo.

Desde sus inicios, en 1983, los alcances de este proyecto se han ampliado sucesivamente. En su primera fase cubría aspectos de amenaza y planes de prevención y contingencia, principalmente. Luego se extendió también a la reducción del riesgo actual.

Desde el primer momento, el trabajo científico y técnico se realizó en interacción con la administración municipal y, desde 1986, con participación directa del 'Comité Operativo de Emergencias'. Muchos de los resultados parciales del proyecto se han aplicado, tales como los planes de contingencia y la delimitación de zonas de riesgo geológico.

Nuestro proyecto se enmarca y explica en la tradición de una ciudad que hace más de 30 años tuvo su primera edificación con diseño sismo-resistente, que hace más de 12 años creó el primer comité operativo de emergencia municipal de Colombia, que hace 21 años realizó su primer mapa geológico urbano y que, en general, no se ha limitado a atender sólo sus problemas evidentes, inmediatos y muy recurrentes.

### LA CIUDAD Y SU ENTORNO

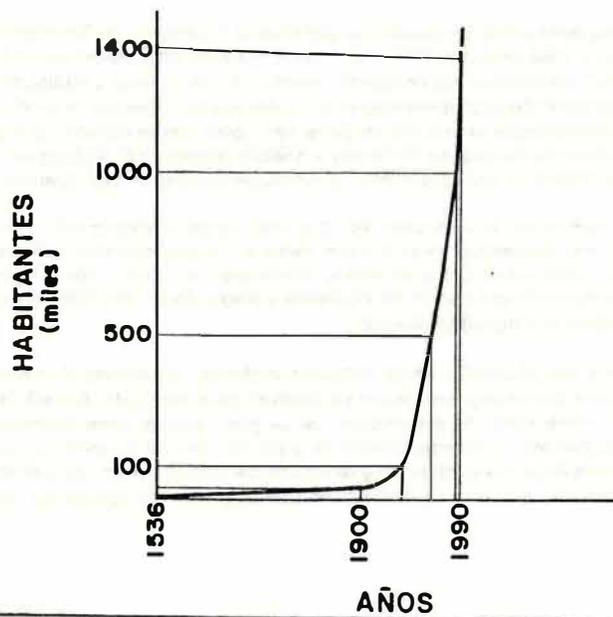
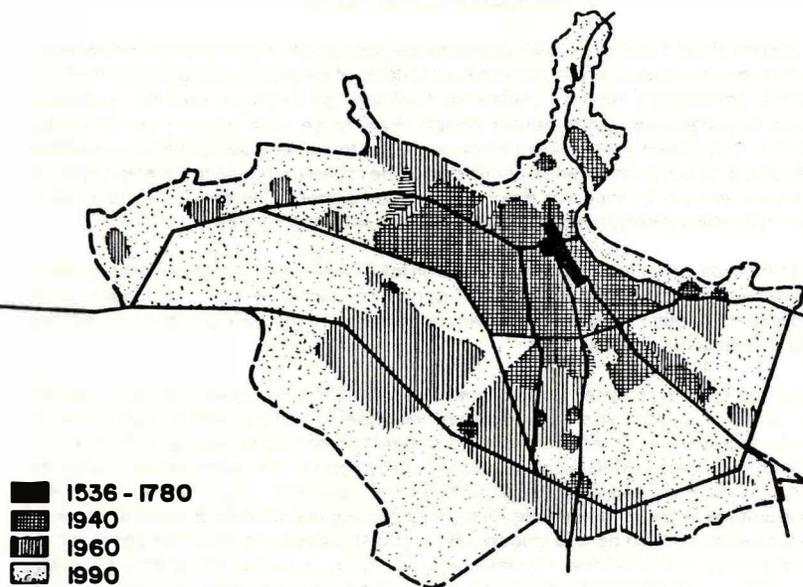
Cali es una ciudad que despertó tarde al desarrollo. Fundada hace 454 años, ha pasado desapercibida la mayor parte de su historia, al lado de otras ciudades del suroccidente de Colombia. Hace poco más de medio siglo, ligado primordialmente al avance de la agroindustria y al cruce de grandes rutas del flujo de viajeros y mercancías, empezó a crecer vertiginosamente, hasta llegar a la ciudad actual, cuyo número de habitantes se está acercando a los dos millones (Fig. 1), con una de las tasas de crecimiento urbano más altas de Latinoamérica. Ha vivido la mayoría de los desastres sísmicos siendo aún una pequeña aldea, y en la memoria colectiva sólo se encuentra uno que otro terremoto asustador y algunos daños menores.

Sin embargo, Cali está ubicada geológicamente en una franja de compresión con todos los fenómenos violentos que le son típicos, aquella generada por la convergencia de las placas tectónicas de Nazca y Suramérica, situación que también se refleja en el mapa de amenaza sísmica del país, el cual señala a todo el occidente como zona de alto riesgo sísmico (García et al., 1984). Las fuentes sísmicas que la pueden afectar son varias y de muy diversas características en cuanto a distancia, profundidad, potenciales magnitudes y recurrencia, desde las fallas locales superficiales, aún poco conocidas en su comportamiento, hasta fuentes con demostrado potencial de magnitudes extremas, a pocos centenares de kilómetros de distancia. Por otro lado, la pronunciada topografía y el clima tropical han estado creando condiciones geológicas superficiales que favorecen la modificación de las ondas sísmicas y la generación de fenómenos de segundo orden (deslizamientos, licuefacción, etc.).

Principalmente en las últimas décadas, la ciudad que a comienzos del presente siglo sólo abarcaba terrenos con suelos firmes, se ha extendido a terrenos que incluyen casi toda la gama de posibilidades en cuanto al comportamiento dinámico y potencial de efectos de segundo orden, desde los muy recientes depósitos de arena en las áreas ribereñas del río Cauca y de sus afluentes, hasta las colinas del W, con extensas áreas rocosas pero también en gran parte laderas inestables por su cobertura con suelos tropicales.

La ciudad tuvo sus primeras edificaciones con estructura de concreto reforzado hace menos de 70 años. La construcción en altura empezó a extenderse en los años 50; hoy en día es una mezcla de todos los tipos estructurales, estilos arquitectónicos, materiales de construcción, antigüedades y calidades.

# CALI - CRECIMIENTO URBANO



## EVOLUCION DEL PROYECTO

Como características básicas de este proyecto integral, cuyos orígenes están íntimamente ligados con la sensibilización que generaron a todo nivel desastres cercanos como el del N del Valle del Cauca / Antigua Caldas en 1979 y el de Popayán en 1983, podemos mencionar la progresiva convergencia cooperativa de un gran número de personas, instituciones y organismos, la integración entre sectores técnico-científicos y político-administrativos, el aprovechamiento y orientación de diversos proyectos y actividades a los objetivos de éste, la sucesiva ampliación de los alcances, el énfasis en resultados parciales aplicables y el aprovechamiento óptimo de recursos locales.

Si bien en muchos aspectos críticos, como fueron las primeras etapas de instrumentación y asesorías especializadas, se contó con el apoyo de instituciones internacionales y de otros países, en ningún momento faltó el mayor empeño por resolver las necesidades del proyecto con recursos locales.

Este proyecto empezó a tomar forma a finales del año 1983. En aquella época la ciudad adoptó como obligatoria para el territorio municipal - incluso adelantándose a la legislación nacional por un año - la norma sismo-resistente propuesta por la 'Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica', la misma que luego se convertiría en el Código de Construcción Sismo-Resistente - CCCSR-84, el Decreto Ley #1400 de 1984. Simultáneamente el Departamento de Planeación Municipal promovía la realización de un estudio de riesgo sísmico para la ciudad (Meyer, 1984), iniciado en 1985 con participación de la Universidad del Valle (dirección técnica) y de la Corporación Autónoma Regional del Cauca - CVC, y COLCIENCIAS aprobaba a la Universidad del Valle un proyecto para realizar observación e investigación sísmológica en el SW del país (Meyer, 1989). A éste programa se unieron luego, en un convenio de cooperación (1987-1991), el Cuerpo Suizo de Socorro, el Servicio Sísmológico Suizo, la Universidad de Ginebra, la CVC y el servicio geológico nacional, Ingeominas.

Otro paso muy importante fué la vinculación del Comité Operativo de Emergencias del Municipio, el cual en 1986 conformó el 'Comité Interinstitucional de Evaluación de Riesgos en Cali - CIERCALI', abriéndose así un nuevo compás en este cuerpo coordinador, hasta entonces centrado en la atención de emergencias y desastres, iniciando la promoción de medidas preventivas para la reducción de desastres como nueva política, cuya primera expresión fué el 'Atlas de Amenazas Naturales y Artificiales para Cali' (Velásquez, 1987) y la elaboración del 'Plan General para la Atención de Emergencias en Cali' (Galarza, 1989).

También fué un avance en la evolución del proyecto, como manifestación de cambios hacia una actitud más preventiva en su política frente a riesgos naturales, que a partir de 1987 el Gobierno Municipal iniciara el apoyo continuado al OSSO, con asignaciones anuales en el presupuesto del Fondo de Vigilancia y Seguridad - VISECALI, en el marco de una nueva política, la 'Seguridad Integral'.

En 1988 la historia del proyecto - hasta entonces dedicado a precisar el conocimiento local y regional de la amenaza y a acciones preventivas en el marco del 'Comité Operativo de Emergencias', tales como la elaboración de un plan general para la prevención y atención de emergencias - verdaderamente se parte en dos, al iniciarse un programa orientado en primera línea a la evaluación y reducción del riesgo sísmico de los elementos existentes y expuestos, ó sea la ciudad actual. Como uno de los temas del programa

'Mitigación de Riesgos en Colombia', éste proyecto, el 'Estudio Piloto de Vulnerabilidad Sísmica para Cali', coordinado por la Oficina Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (Presidencia de la República) y UNDRR y cofinanciado por el Gobierno Canadiense (ACDI), no sólo complementa diversas actividades de la evaluación de amenazas y acciones de mitigación, sino que también, y ante todo, se enfoca a estudiar los niveles de riesgo actuales y a diseñar medidas para su control, mediante análisis de vulnerabilidad, elaboración de escenarios de terremotos y el planeamiento del refuerzo de edificaciones. Con estos auspicios y por el carácter piloto de la nueva componente del proyecto, este se vincula directamente con el 'Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres'.

Con el proceso descrito se llegó a un conjunto de actividades en las cuales participan e interactúan directamente los más diversos sectores: técnico-científicos, organismos de prevención, organizaciones gremiales, autoridades civiles, los medios de comunicación y por supuesto la comunidad.

#### ENFOQUE Y METODOLOGÍA GENERAL

Evidentemente, la estructura general del proyecto no difiere de lo que es ya habitual en la reducción del riesgo sísmico en grandes ciudades. En el siguiente esquema se pueden apreciar las tres grandes áreas de actividad, relacionadas con el conocimiento del peligro natural como tal, con la evaluación de los elementos expuestos y vulnerables y la determinación del riesgo, y finalmente con el diseño de las diferentes medidas que se deben tomar para lograr la adecuada percepción del riesgo y la consciencia y conocimiento de las medidas individuales y colectivas apropiadas, para reducir la exposición y vulnerabilidad de vidas y bienes y para aumentar el nivel de preparación para la atención de futuros terremotos.

#### ESTRUCTURA DEL PROYECTO INTEGRAL

- I) EVALUACION DE LAS AMENAZAS
  - a) Evaluación de fuentes sísmicas (instrumental, histórica, geológica)
  - b) Revisión del catálogo sísmico
  - c) Predicción de recurrencias
  - d) Relaciones de atenuación
  - e) Microzonificación sísmica
  - f) Microzonificación de efectos inducidos (deslizamientos, licuación, etc.)
  - g) Revisión de los parámetros de diseño
- II) EVALUACION DE VULNERABILIDAD Y RIESGO
  - a) Inventario y clasificación de elementos expuestos
  - b) Selección y ajuste de métodos
  - c) Evaluación de vulnerabilidades
  - d) Elaboración de escenarios
  - e) Evaluación del riesgo sísmico
- III) MITIGACION Y PREPARACION
  - a) Elaboración y actualización de planes (prevención, contingencia y emergencia)
  - b) Programas de capacitación, educación e información pública
  - c) Planeamiento de la reducción de vulnerabilidades (reforzamiento, cambio de uso, etc.)
  - d) Planeamiento del desarrollo urbano en función del riesgo

Para muchas de estas acciones se han propuesto diversas técnicas y métodos. La selección de la metodología apropiada se ha hecho en éste proyecto generalmente con base en criterios de disponibilidad de recursos y necesidad de resolución, por ejemplo al favorecer por ahora en la microzonificación las medidas directas en superficie (observación de microvibraciones), en vez de dispendiosas técnicas de evaluación en subsuelo (perforaciones, sondeos, exploración geofísica, modelaje). Sin perder de la mira la finalidad del proyecto integral y manteniendo el rigor, se tuvo desde el principio como primera prioridad obtener resultados parciales aplicables. La secuencialidad y alto nivel de tecnificación, que es normal en los estudios de microzonificación actuales, aquí fueron dejados en segundo plano, ante la necesidad de iniciar las actividades cuanto antes y sin opciones a recursos voluminosos. Se podría decir que parte de la filosofía fué lograr, aún con escasos recursos, algunos avances que pudieran establecer una credibilidad y ayudar a crear opciones a recursos de mayor alcance.

En todo momento se trató de aprovechar al máximo la información disponible en muchos organismos, tales como los datos sobre características demográficas y físicas de la ciudad que ha generado Planeación Municipal, los estudios urbanísticos realizados en la Facultad de Arquitectura de UNIVALLE, el archivo de sondeos y perforaciones de la Corporación Autónoma Regional y de UNIVALLE, los mapas geológicos del Municipio y del Departamento y la información sobre aspectos de vulnerabilidad y riesgo ecopiada por el Cuerpo de Bomberos Voluntarios.

En la determinación de prioridades también se consideraron factores como la duración mínima de cada actividad, los recursos necesarios y su mayor ó menor condicionamiento de otras actividades.

Finalmente, siempre se tuvo en cuenta que dentro de esta problemática ninguna medida individual y aislada puede surtir efecto.

#### ACTIVIDADES EN CURSO

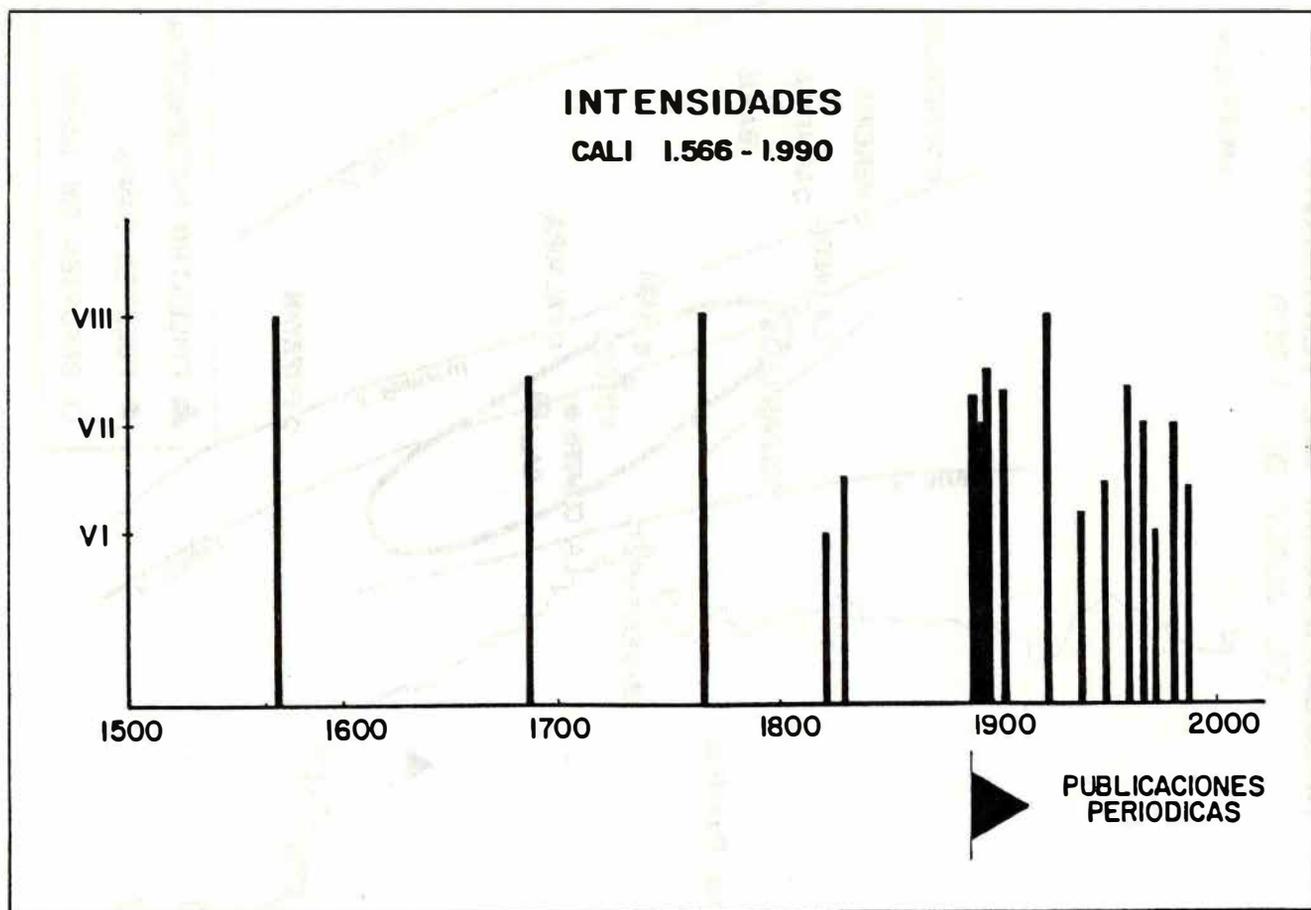
A continuación se describe, en síntesis, lo que se ha logrado avanzar en las diversas actividades arriba mencionadas y las experiencias generalizables que se han podido hacer.

##### 1) EVALUACION DE AMENAZAS

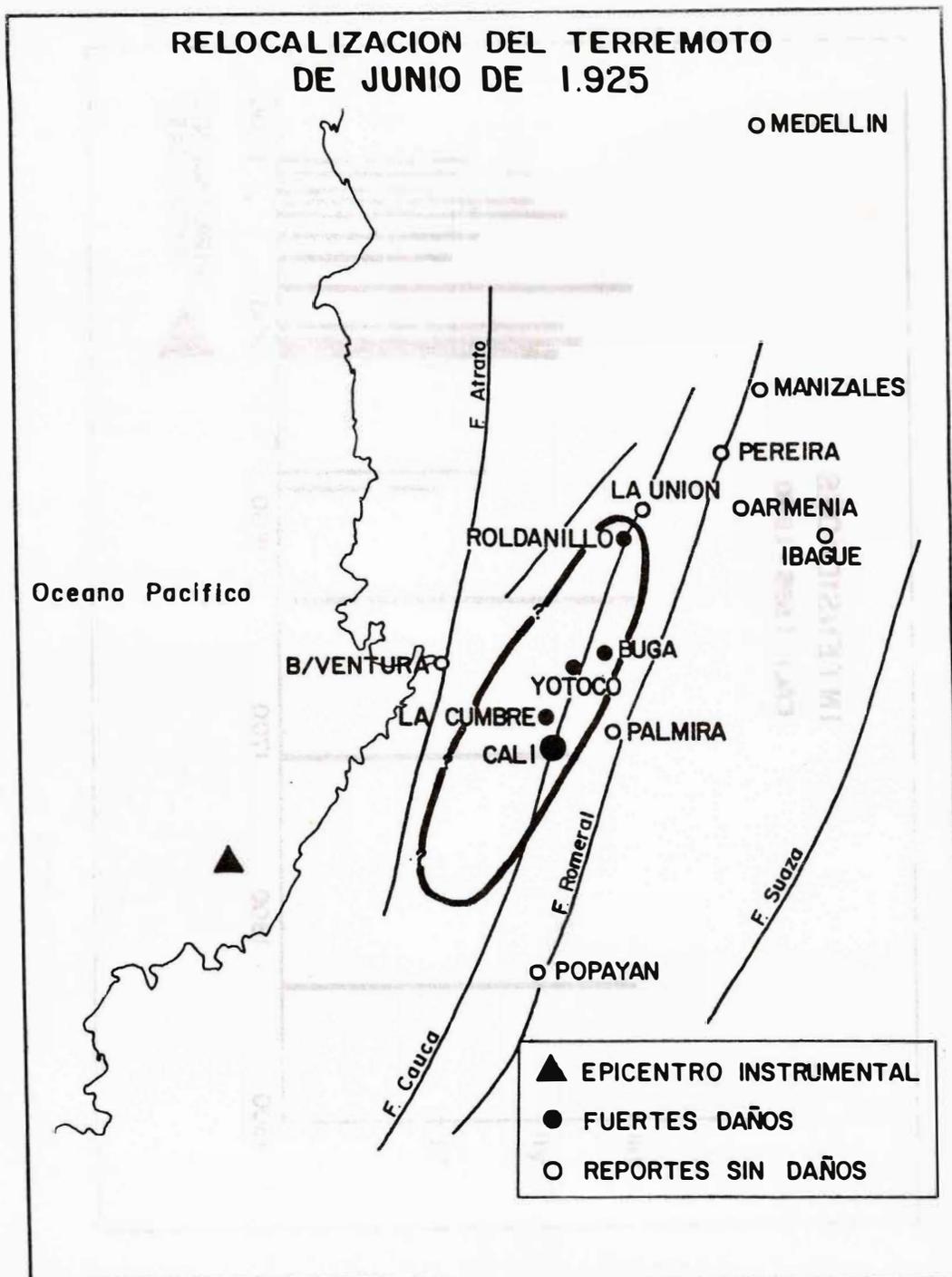
La evaluación completa de la amenaza demanda el estudio de las fuentes, es decir de la distribución de la actividad sísmica en el tiempo y en el espacio y sus probables magnitudes máximas, el estudio de la atenuación de la energía sísmica en sus trayectorias al sitio y la evaluación de las modificaciones que sufrirían las vibraciones sísmicas por causa de las condiciones geológicas y topográficas locales del sitio de riesgo. Este último es el que generalmente se denomina 'microzonificación'.

La primera parte, el estudio de las fuentes, conduce en primera instancia a la elaboración del 'catálogo sísmico'. Ante todo por la imposibilidad práctica de determinar el potencial sísmico a partir de sus manifestaciones precursoras, es necesario abarcar en éste catálogo un período de tiempo lo más largo posible, con cuya extrapolación se obtiene

-97-



# RELOCALIZACION DEL TERREMOTO DE JUNIO DE 1.925



luego la probable recurrencia de los eventos sísmicos. Por ésto se trata de incluir toda la información posible, mediante estudio geológico de fallas, búsqueda de registros históricos y detallada observación y análisis instrumental.

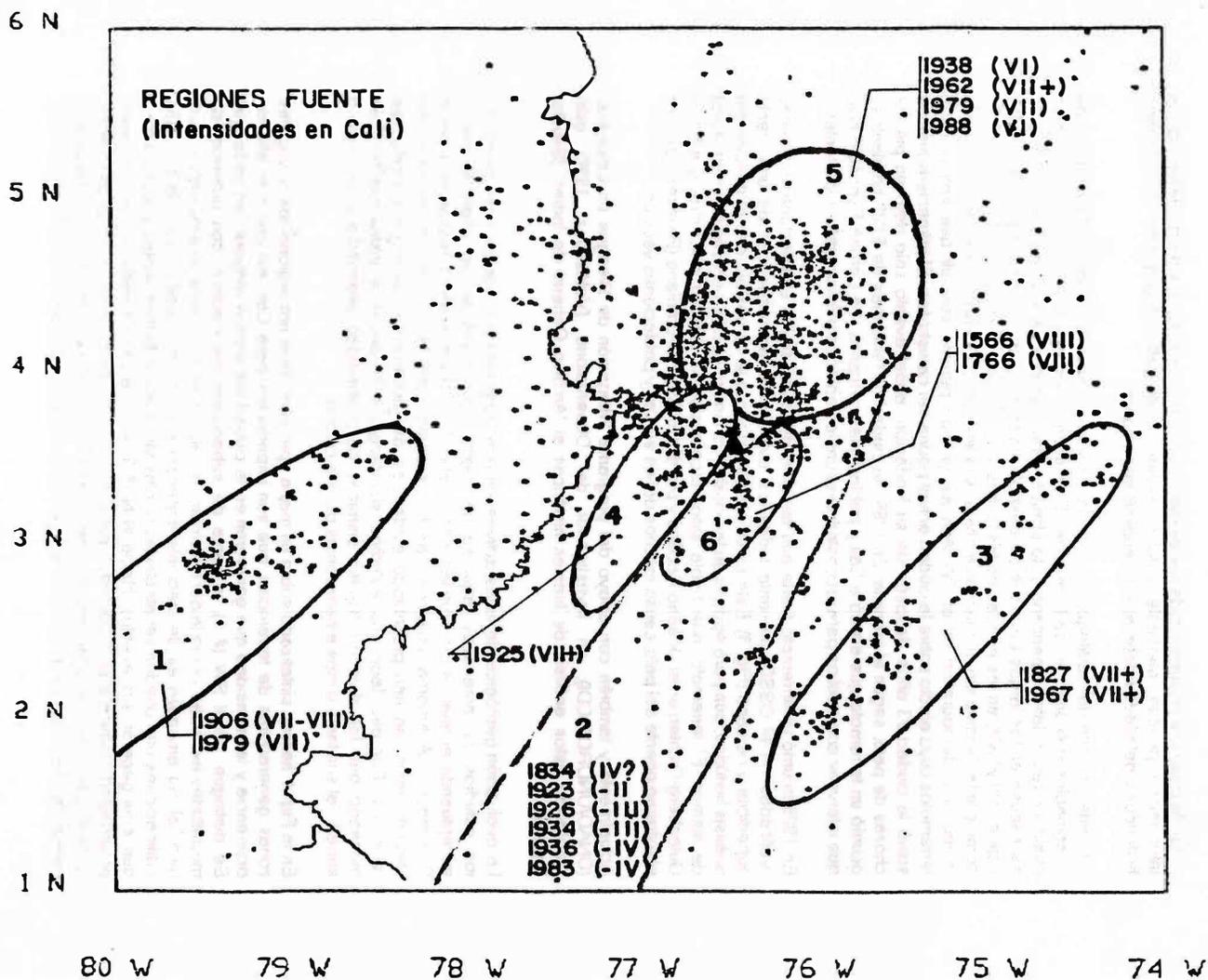
La parte histórica del catálogo que se está complementando tiene todas las deficiencias imaginables y seguirá teniendo muchas. Esta información es poco uniforme y como en cualquier región latinoamericana sólo abarca algo más de cuatro siglos y medio (Fig. 2). Es escasa en los largos períodos de despoblamiento y depresión socioeconómica, los siglos XVII y XVIII, en las épocas de las luchas de liberación y consolidación nacional, así como por la destrucción de muchos archivos y la linealidad que históricamente ha tenido la distribución demográfica en el SW. Aún así ya nos permite concluir que han ocurrido terremotos cuyo efecto sobre la ciudad actual podría ser catastrófico. El primer terremoto lo sufrió la ciudad 23 años después de su fundación; aquel evento sólo dejó en pie las chozas de paja, según el cronista. En 1766 - la ciudad no tenía más de 5.000 habitantes - ocurrió un terremoto que afectó a Cali y poblaciones cercanas. La Corona Española tuvo que intervenir con auxilios para reconstruir siquiera los edificios públicos más importantes.

En 1925 ocurrió un terremoto fuerte que también, después de las evaluaciones históricas realizadas en el OSSO, presenta todas las evidencias macrosísmicas de una fuente superficial y cercana (Fig. 3). Este es un ejemplo de lo que es posible con el método del análisis histórico, aún para épocas en las cuales ya funcionaba la localización instrumental de sismos. El terremoto, que había sido localizado por cálculo epicentral (Catálogo Gutenberg-Richter) en el Océano Pacífico y por el catálogo colombiano (Ramírez, 1974) en el extremo oriente del país, causó muchos daños en Cali y poblaciones vecinas.

Actualmente y también con apoyo del programa 'Mitigación de Riesgos en Colombia' (ONAD/UNDRO/ACDI), un investigador del Observatorio (Velásquez, 1990) está ampliando estos análisis de fuentes históricas al 'Archivo General de Indias' (Sevilla, España).

La evaluación geológica de fallas activas, en otras regiones una componente central de los estudios de amenazas, aquí se ha dejado por ahora en un segundo plano, exceptuando el análisis de aquellas más locales. Estudios anteriores, realizados para la Corporación Autónoma Regional en los sistemas de fallas más importantes del Departamento, no han presentado evidencias de movimientos sísmicos superficiales recientes. Por otro lado, los estudios sismológicos históricos e instrumentales han mostrado que las diversas fuentes sísmicas de profundidad intermedia y sin ruptura superficial son tanto o más amenazantes para la ciudad.

En la Fig. 4 hemos sintetizado sobre un mapa epicentral de la red regional las principales zonas generadoras de terremotos que son importantes para Cali, así como el año de ocurrencia y la intensidad que generaron en la ciudad los sismos mayores en cada una. Se distingue, en el SW (# 1), la franja de subducción del Pacífico, con potencial de magnitudes extremas, como la del terremoto de 1906, la tercera mayor en este siglo a nivel mundial. Su amenaza es de creciente importancia para Cali, donde cada día hay más edificaciones que pueden ser afectadas por las vibraciones fuertes, lentas y prolongadas que aquí generan sus eventos. Hacia el N (# 5) se localiza una vasta región con fuerte actividad sísmica a profundidades entre 80 y 120 km, en la llamada 'zona de Wadati-Benioff'. Esta fuente ha generado en promedio por década un evento con intensidades que pasan de VI en Cali. En el centro (# 4, 6) están las fuentes de sismos superficiales de los



sistemas de falla Cauca y Romeral; este último fué causa, por ejemplo, del sismo que semidestruyó a la cercana ciudad de Popayán en 1983 y cuyo potencial para Cali han revelado hasta ahora sobre todo los estudios históricos. En el SE de la región se localizan otras de las fuentes de gran peligro sísmico (# 2, 3), las fallas continentales entre las cordilleras Central y Oriental.

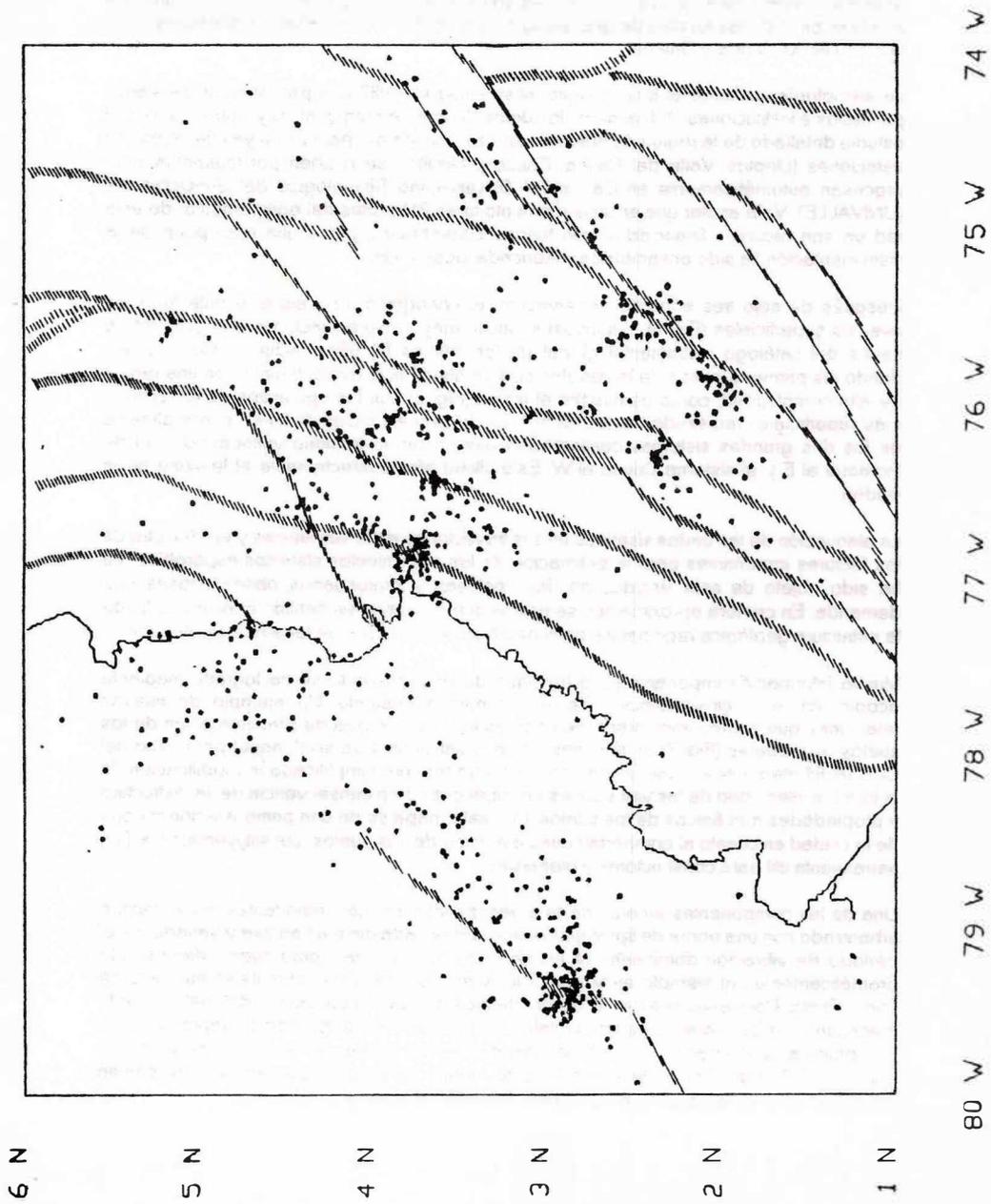
La sismología instrumental local y regional se inició en 1987 con participación de varios proyectos e instituciones. Actualmente los datos de esta red regional, cuyo propósito es el estudio detallado de la región de mayor amenaza sísmica del país y que ya cuenta con 10 estaciones (Deptos. Valle del Cauca, Cauca y Nariño), se reciben por telemetría y se procesan automáticamente en Cali, en el Observatorio Sismológico del Sur-Occidente (UNIVALLE). Vale anotar que en este momento unas 2/3 partes del equipamiento de esta red ya son recursos financiados con fondos colombianos y que una gran parte de la instrumentación ha sido ensamblada y fabricada localmente.

Después de sólo tres años de observación, la cartografía hipocentral, y ante todo los eventos superficiales (Fig. 5), ya muestra mucho mayor diferenciación que lo conocido a través del catálogo instrumental global de los últimos 80 años. Actualmente se están dando los primeros pasos de la correlación sismotectónica, evidentemente en una región de alta complejidad, como demuestra el mapa (Fig. 6) con los epicentros de los sismos más superficiales registrados en los últimos dos años y las trazas de fallas, principalmente de los dos grandes sistemas continentales que cruzan el territorio vallecaucano, el de Romeral al E y el sistema Cauca al W. Este último afecta directamente el territorio de la ciudad.

La atenuación de las ondas sísmicas en sus trayectorias entre sus fuentes y el sitio, otro de los factores importantes para la estimación de los movimientos sísmicos esperables, no ha sido objeto de este estudio, por las costosas y prolongadas observaciones que demanda. En primera aproximación se estima que es mayor en sentido E-W, en razón de la estructura geológica regional y a partir de análisis de efectos de terremotos históricos.

Mucha información importante para los fines de este proyecto se ha logrado mediante acopio, cruce y reinterpretación de la información existente. Un ejemplo de nuevas relaciones que se han encontrado de esta manera es el mapa de prezonificación de los suelos municipales (Fig. 7) en términos de los 'coeficientes de sitio', aquel parámetro del CCCSR-84 mediante el cual se tiene en cuenta de manera simplificada la modificación de la forma e intensidad de las vibraciones en superficie como consecuencia de la estructura y propiedades mecánicas de los suelos. Con este mapa se da una primera visión integral de la ciudad en cuanto al comportamiento dinámico de sus suelos, constituyéndose así en herramienta útil para constructores y urbanistas.

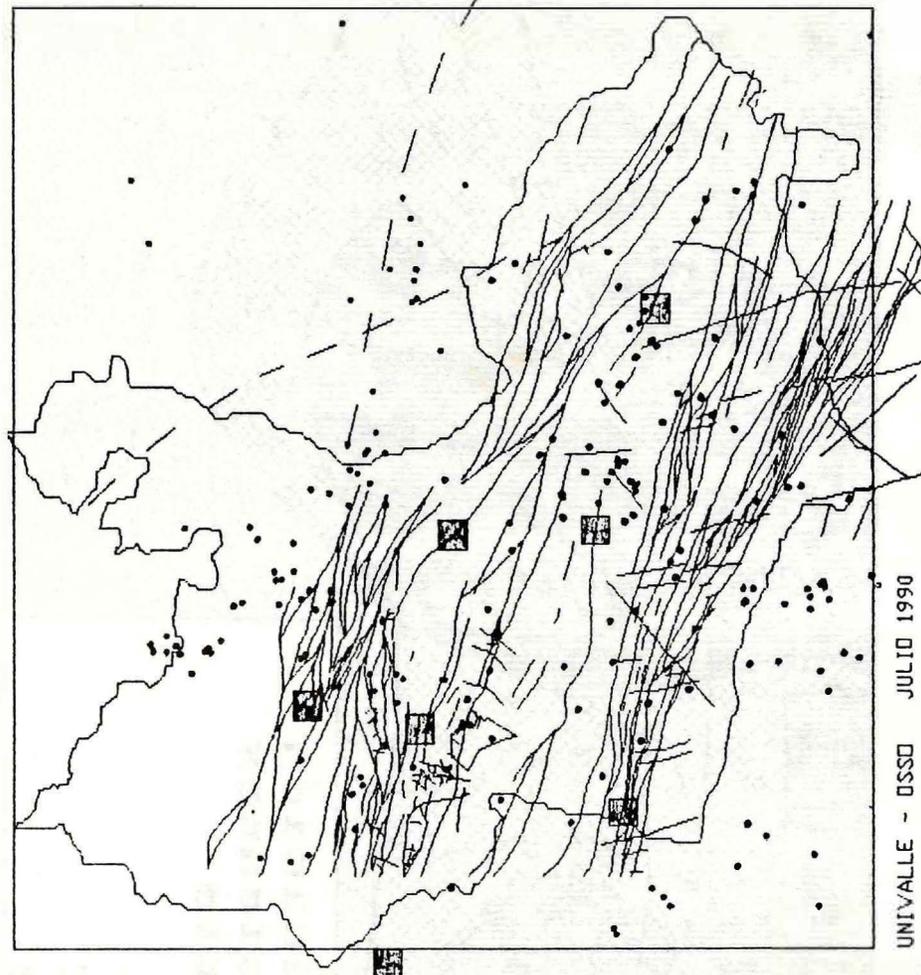
Una de las componentes locales de la amenaza sísmica más importantes, en un mundo urbanizado con una gama de tipologías estructurales cada día más amplia y variada, es el período de vibración dominante de los diversos terrenos, tal como quedó demostrado dramáticamente por ejemplo en México 1985 y en San Francisco, durante el terremoto de Loma Prieta. Para evaluar este parámetro, hemos iniciado la aplicación del método de la medición de microvibraciones ambientales, el cual conduce muy directa y rápidamente a una primera cuantificación del comportamiento de los suelos, en un rango de períodos entre 1 y 0.2 segundos. Este procedimiento, originado en el Japón, es hoy de amplia aplicación a nivel mundial en la microzonificación (Rodríguez & Singh, 1988).



5 N

4 N

3 N



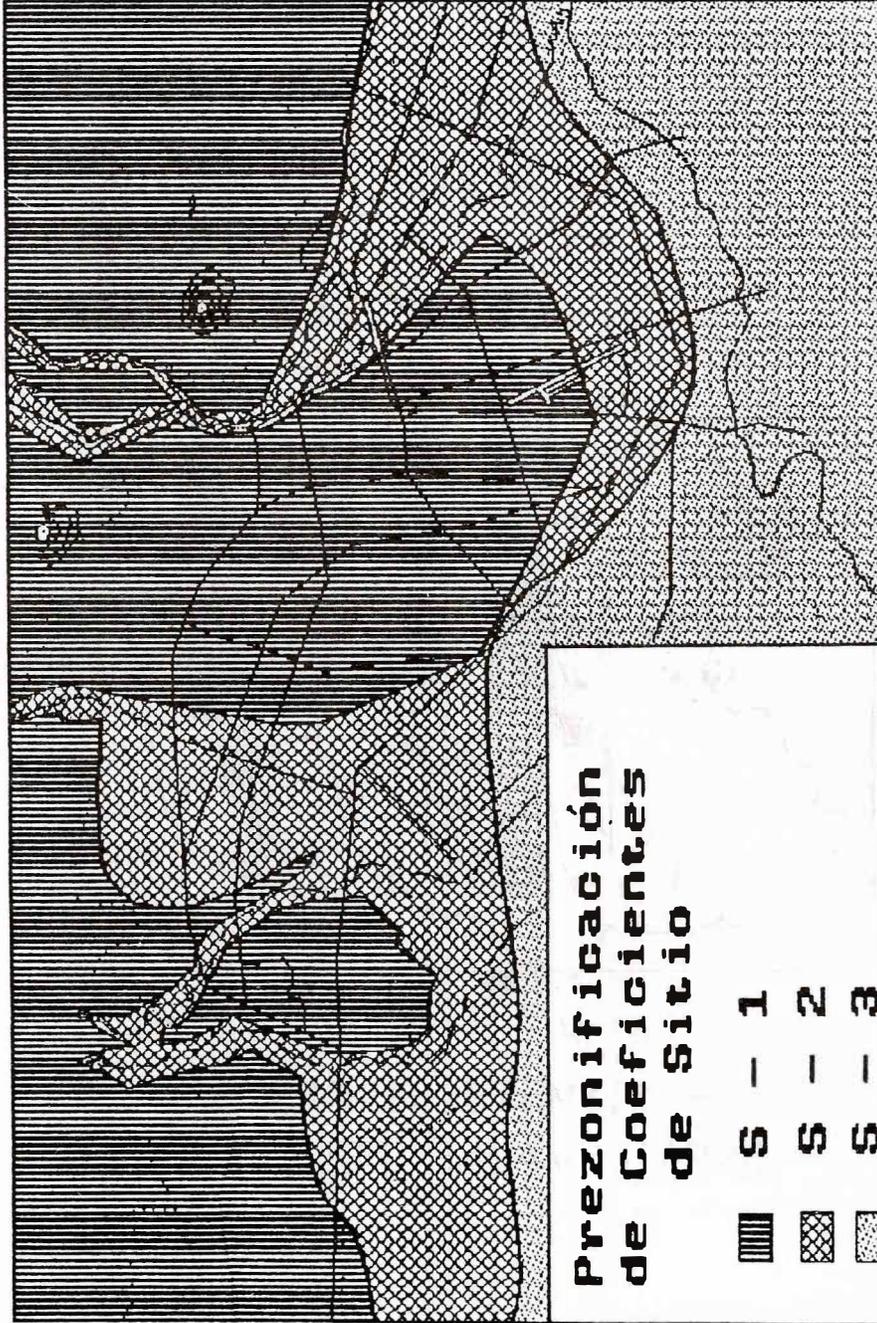
77 W

76 W

- SISMOTECTONICA -  
DEPTO. VALLE DEL CAUCA

TECTONICA ( 1 : 100.000 )  
Ingeominas / BGS

UNIVALLE - OSSO JULIO 1990



Como ejemplo de los resultados obtenidos hasta ahora con este método (Fig. 8), se han superpuesto tres espectros, dos correspondientes a movimientos fuertes, calculados (Córdoba & Gómez, 1987) a partir de datos del único acelerógrafo que hasta ahora ha funcionado en Cali y generados por dos terremotos de mediana magnitud a unos 140 km, así como un espectro de microvibraciones, medidos en el mismo sitio. Evidentemente, los periodos dominantes coinciden alrededor de 0.4" (2.5 Hz). Este valor corresponde a periodos identificados con suelos del tipo  $S_2$  del Código, ó sea medianamente consolidados.

Con las anteriores actividades, la prezonificación de coeficientes de sitio y la evaluación de los periodos dominantes a partir de microvibraciones, se inició en este proyecto lo que estrictamente se puede denominar como 'microzonificación', ó sea la delimitación de áreas en las cuales las propiedades mecánicas y la estructura del suelo modifican la forma espectral de la señal de manera uniforme, amplificándola significativamente en el peor caso.

Más adelante se procederá también a la evaluación de los 'factores de amplificación' de los terrenos urbanos, mediante análisis de las señales que generan en los diferentes tipos de suelo urbano los sismos locales y regionales, relativamente frecuentes. Vale anotar que con el mismo sistema instrumental y de procesamiento que se ha integrado y elaborado en el OSSO para estos dos tipos de evaluación, también se podrán hacer los estudios del comportamiento dinámico de edificaciones y estructuras, una parte de las actividades del análisis de vulnerabilidad.

Para la prezonificación de efectos inducidos ó de segundo orden, principalmente deslizamientos y licuefacción (Fig. 9), se aplicaron por ahora criterios simplificados, históricos, topográficos, geológicos y geotécnicos, incluyendo la información de sondeos disponible. Para iniciar la delimitación de las áreas con potencial de licuefacción (depósitos de arenas no consolidadas saturadas de agua), se han considerado hasta ahora su ubicación (llanuras de inundación) y topografía, la litología y espesor de las capas, así como datos de los niveles freáticos (Fig. 10), para lo cual también se evaluó información existente, los archivos de sondeos y perforaciones.

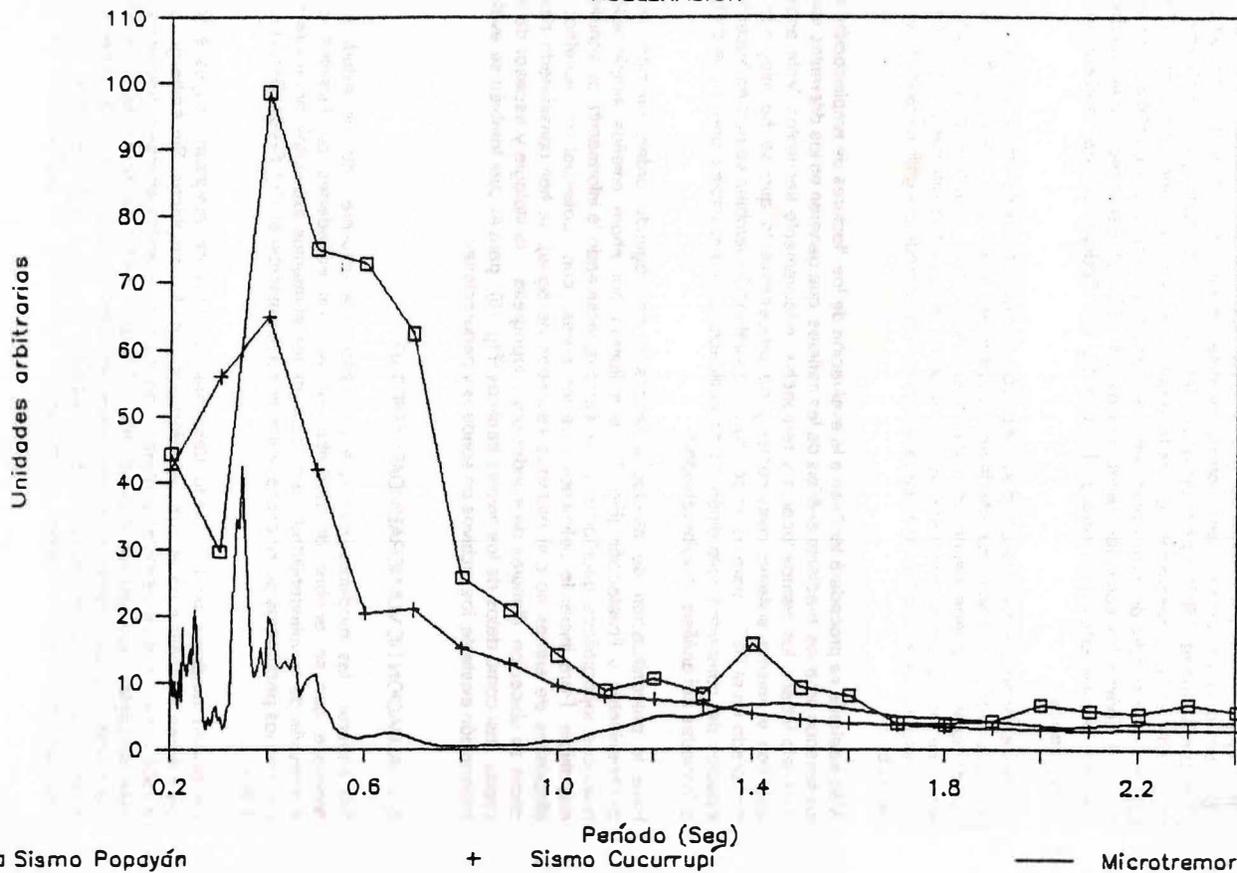
## II) EVALUACION DE VULNERABILIDAD Y RIESGO

Sin esperar las modificaciones que probablemente resultarán de los estudios de amenaza que se acaban de describir, se iniciaron actividades conducentes a la evaluación de la vulnerabilidad y del riesgo de los elementos expuestos, por ahora con base en los parámetros de amenaza regionales que prescribe el CCCSR-84 (García et al., 1984).

La ciudad moderna no ha sufrido desastres sísmicos de magnitud cuyos efectos permitieran el análisis de la vulnerabilidad por métodos empíricos. Sin embargo, para establecer el nivel de pérdidas probables en aquellos eventos sísmicos, relativamente más frecuentes, que generan intensidades del orden de VI y VII, hemos hecho análisis macrosísmicos de terremotos de esas características que ocurrieron en los últimos 30 años. Aparte de daños debidos a singularidades en una u otra edificación, sólo han resaltado como más o menos generalizados los efectos en edificaciones de gran

# ESPECTROS UNIVALLE

ACELERACION



volumen, estructura deficiente y poca densidad de muros, como iglesias antiguas, fracturamiento de muros en bloques de vivienda de 4 y 5 pisos, caída de fachadas sin amarre y enchapados, y daños en líneas vitales aéreas, éstos últimos debidos principalmente al efecto de 'péndulo invertido' de transformadores en postes.

Nuestra evaluación de vulnerabilidad ha estado centrada en métodos 'teóricos' (Cardona, 1989), con previo análisis, selección, ensayo y eventual ajuste de metodologías, entre las muchas que se han propuesto y practicado en diversos países. Evidentemente, la mayor dificultad en comparación con el diseño de edificaciones sismo-resistentes, más de logística que de método pero por supuesto de consecuencias sobre este último, es que la evaluación de vulnerabilidad debe ser hecha sobre un 'universo' grande, ó sea el volumen de edificaciones de la ciudad, incluyendo factores de riesgo como la densidad de edificaciones y habitantes, así como la zonificación de usos, entendiéndose como éstos la industria, la vivienda, el comercio, la administración y los servicios, y la estratificación socio-económica.

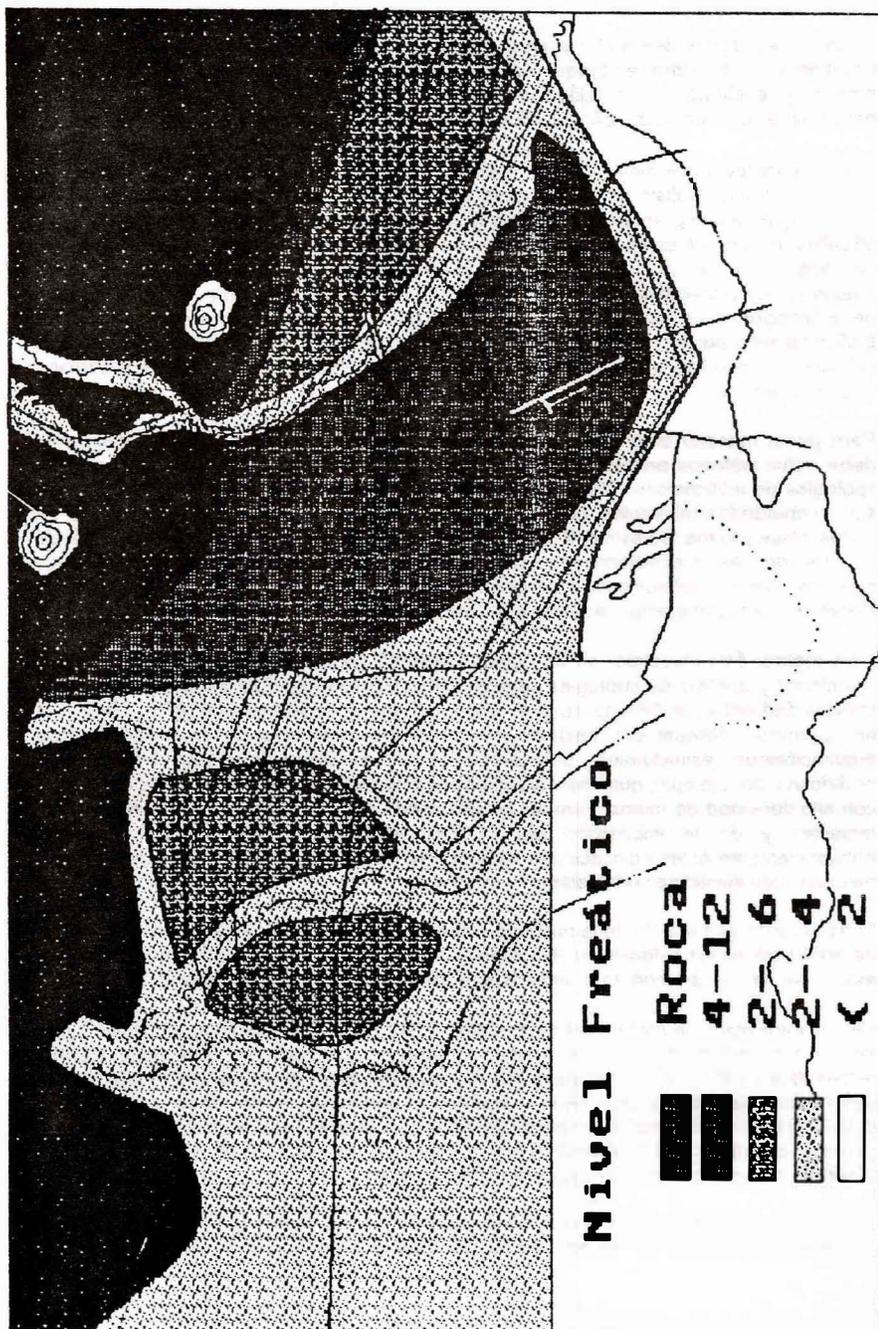
Para poder manejar esta gran cantidad de información, necesariamente la evaluación debe incluir métodos probabilísticos, recurriendo para el muestreo a la identificación de tipologías de edificaciones, caracterizadas cada una por la mayor similitud posible entre sus propiedades relevantes, tales como el tipo de estructura, materiales, densidad de muros, altura y forma. De esta tipificación se excluyen sólo aquellos elementos que son de un nivel de riesgo aceptable muy bajo, tales como hospitales, colegios, escenarios masivos, plantas telefónicas y eléctricas, ó muy singulares en su comportamiento dinámico, como por ejemplo edificaciones antiguas ó instalaciones industriales.

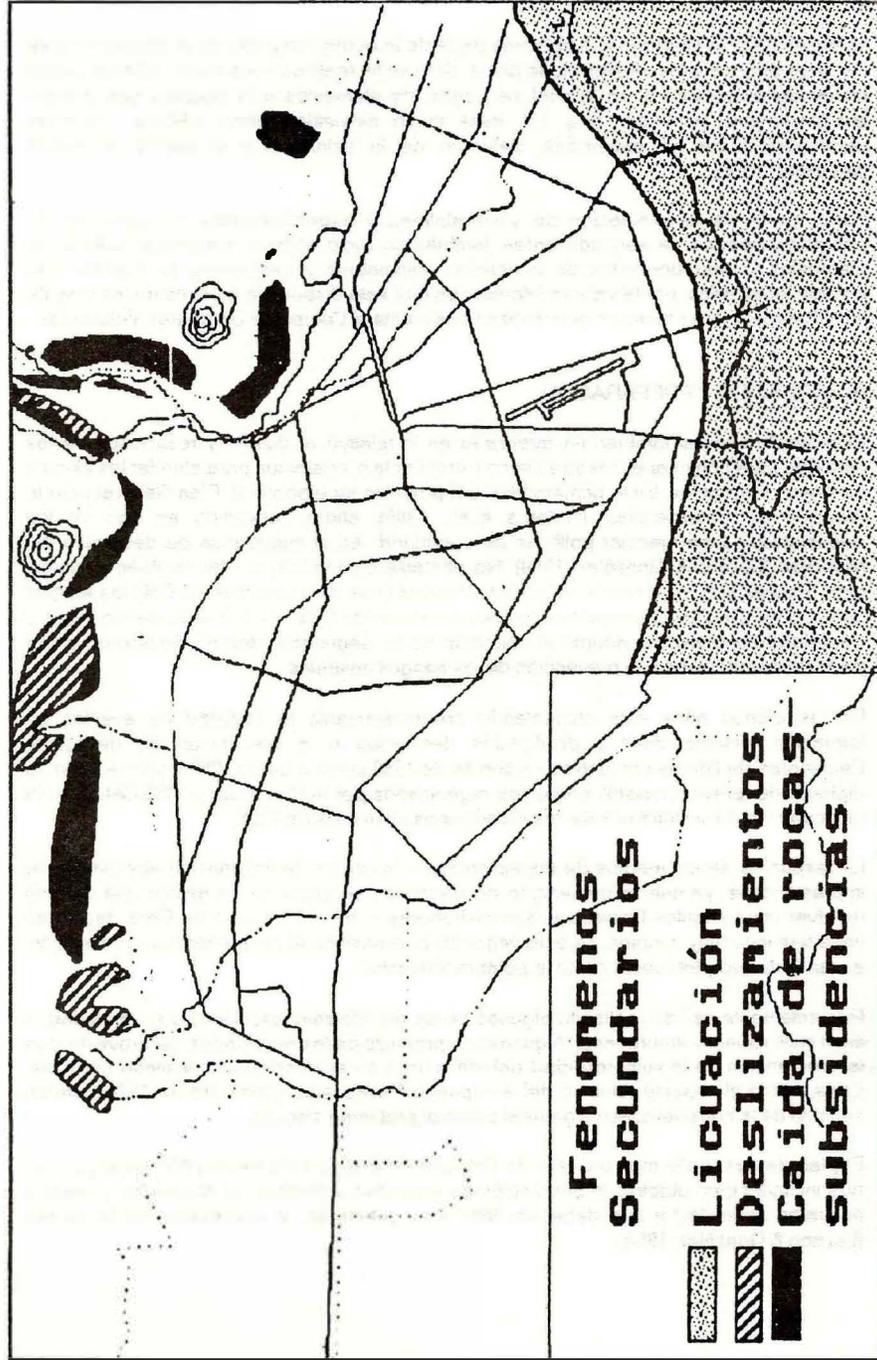
Para realizar éste muestreo se ha estado utilizando principalmente el acopio de datos, inventarios y análisis de tipologías urbanas realizados la Facultad de Arquitectura de la Universidad del Valle (Mosquera et al., 1984) y Planeación Municipal (DAPM, 1988), que han permitido delinear con bastante resolución las coberturas de los diversos tipos arquitectónicos y estructurales y otros parámetros de la vulnerabilidad (Fig. 11 y 12). Se ha podido ver, por ejemplo, que hasta los años sesenta fueron la norma casas de 1 y 2 pisos con alta densidad de muros, pero sin confinamiento. Sólo a partir de los terremotos más recientes y de la imposición del CCCSR, aún cuando esta norma no cubre obligatoriamente éstas edificaciones menores, se ha estado imponiendo la construcción de casas con estructuras reforzadas.

Considerando que el 90% de la población vive en casas de 1 y 2 pisos y que en éste tipo de edificaciones las estadísticas muestran el mayor número de víctimas (Grases, 1985), el estudio se ha concentrado en la primera fase ahí, el mayor conjunto de riesgo.

Para la evaluación de esta muestra (González, 1990) se ha aplicado un procedimiento que toma en cuenta si la edificación tiene confinamiento, calcula su coeficiente sísmico resistente a partir de la longitud de muros en cada dirección, su resistencia al corte y el peso promedio de las viviendas, y finalmente determina la demanda de ductilidad comparando este coeficiente sísmico resistente con el coeficiente sísmico exigido por el espectro de sitio, en el CCCSR-84. La estimación de las pérdidas probables se realiza utilizando como referencia una capacidad de ductilidad.

El análisis sistemático de edificios altos, muchos de los cuales fueron diseñados con aplicación del CCCSR-84, se ha dejado como un objetivo posterior, considerando que





actualmente solo albergan una pequeña parte de la población y que en su mayor parte se localizan sobre suelos relativamente duros. Sólo se ha realizado una evaluación de menor refinamiento, cualitativa, en la cual se juzgan los elementos más notorios que pueden conformar una 'patología' (Fig. 13), tales como asimetrías, pisos débiles, columnas recortadas, losas no aligeradas, deterioro de la estructura y ductilidad disponible (González, 1990).

Como parte de la evaluación de vulnerabilidad y específicamente del potencial de peligros y riesgos de segundo orden, también se inició el levantamiento y análisis de elementos como depósitos de materiales inflamables y explosivos, lo cual ha sido posible, entre otros, por la valiosa información que está disponible a través de las más de 40.000 inspecciones técnicas que realiza anualmente el Cuerpo de Bomberos Voluntarios.

### III) MITIGACION Y PREPARACION

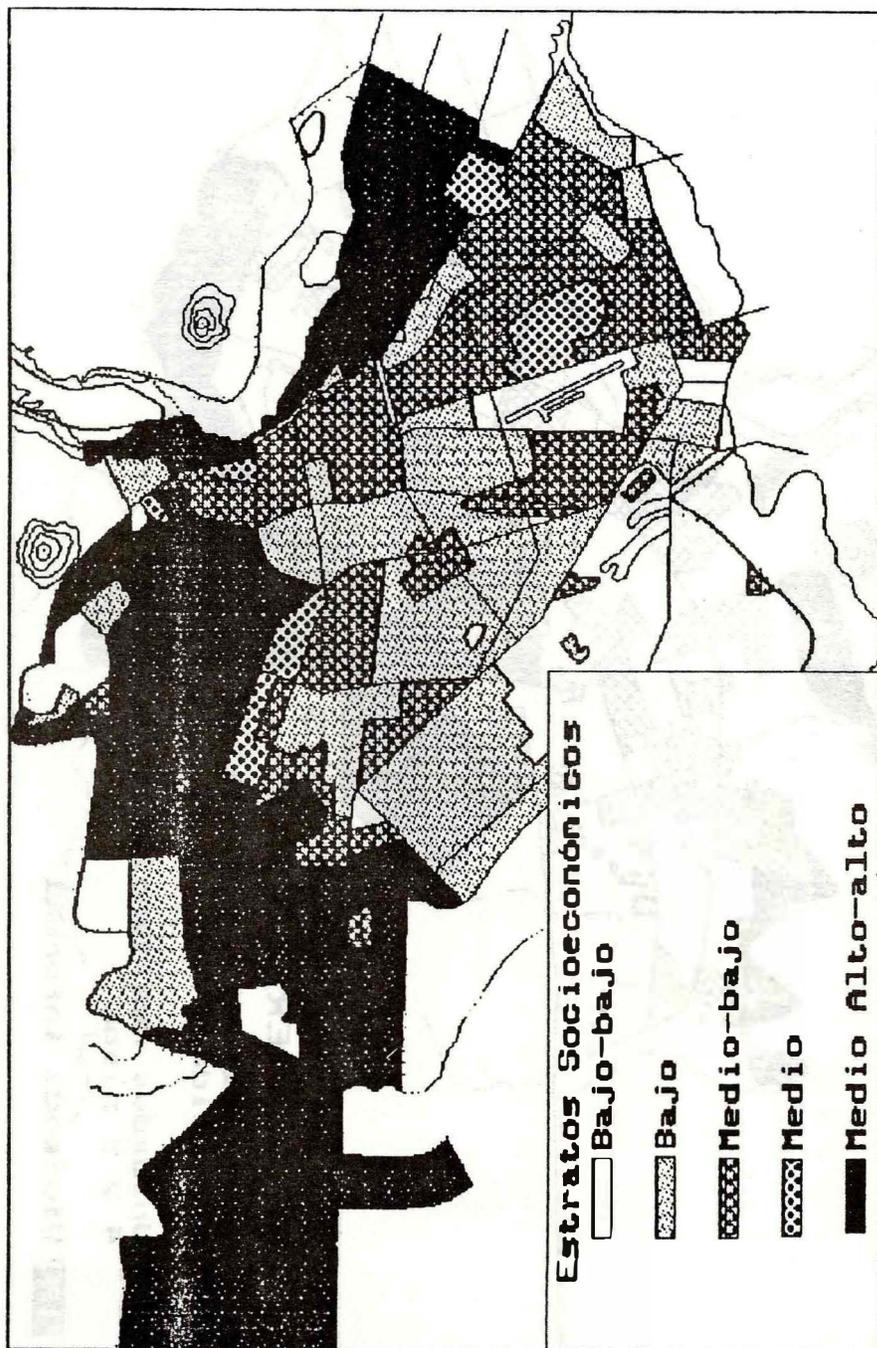
El proyecto integral también ha avanzado en lo relativo al diseño y realización de las medidas para controlar el riesgo sísmico y mejorar la preparación para atender los efectos de futuros terremotos. En la primera fase del proyecto se elaboró el 'Plan General para la Atención de Emergencias' (Galarza et al., 1989), ahora convertido en uno de los instrumentos para ejecutar políticas de seguridad en el nuevo plan de desarrollo del Municipio (Lozano & González, 1990). No obstante su nombre, el Plan también contiene, bien diferenciada, información sobre los diversos tipos de amenazas en Cali, los efectos que pueden causar y las medidas de control necesarias (Fig. 14). El Fondo de Vigilancia y Seguridad del Municipio adoptó el concepto de la 'Seguridad Integral', dedicando ahora parte de sus recursos a la prevención de los riesgos naturales.

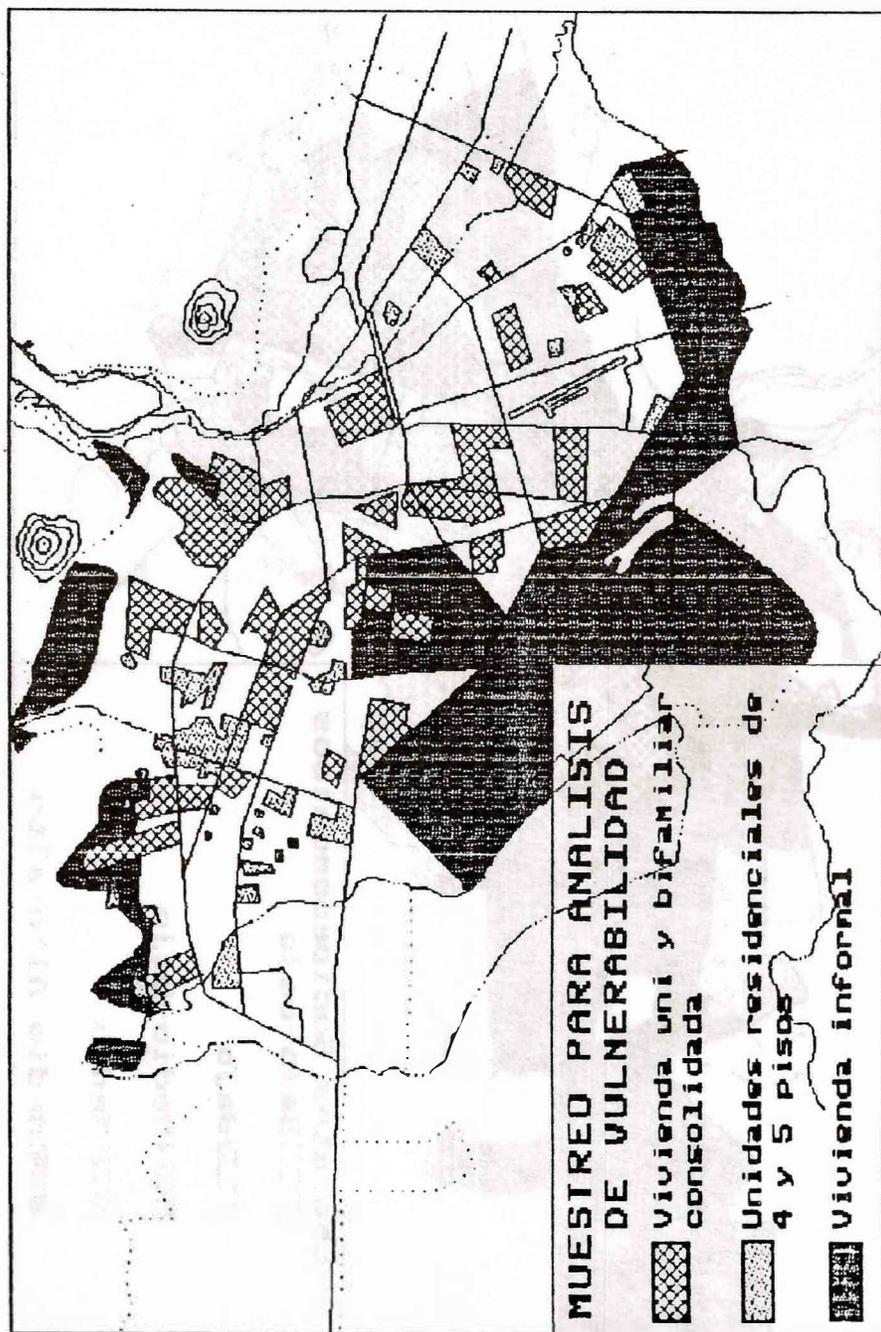
En los últimos años esta aumentando progresivamente la cantidad de eventos de formación, entrenamiento y divulgación dedicados a la prevención de desastres. Centenares de líderes comunales - a finales de 1990 serán más de 1990 - han recibido su diploma de 'prevencionista', en cursos organizados por la Cruz Roja y VISECALI, con la participación de instructores de las instituciones miembros del COE.

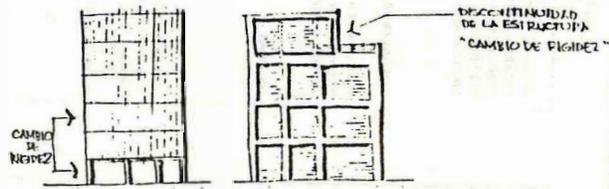
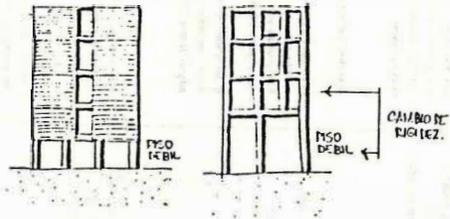
La respuesta de los medios de comunicación - la correa de transmisión absolutamente imprescindible, ya que la prevención de desastres sísmicos no es asunto que puedan resolver unos cuantos técnicos y administradores - ha sido excelente. Para decirlo en unos términos muy simples, se está llegando a un nivel en el cual el término 'prevención' es tan llamativo y frecuente como la palabra 'desastre'.

Recientemente se han realizado algunas obras de reforzamiento sísmico en la ciudad, a nivel institucional y empresarial. Algunas son producto de las actividades del proyecto, con la intervención de la vulnerabilidad debida a usos en el Hospital Universitario del Valle. Otras, como el reciente refuerzo del Aeropuerto Palmaseca, construido en 1970, pueden ser fruto de la conscientización general sobre el problema sísmico.

El plan de desarrollo más reciente de Cali, para los años 1990 hasta 2004, es el primero que incluye como objetivo la prevención de desastres y declara las amenazas y riesgos naturales como factor que debe ser tenido en cuenta en el crecimiento de la ciudad (Lozano & González, 1990).







PROBLEMAS EN EDIFICIOS DE CONCRETO .....

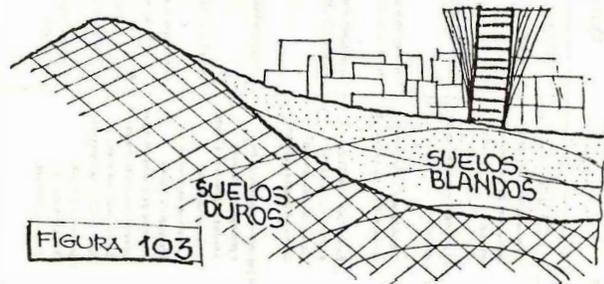


FIGURA 103

EVENTO: TERREMOTO

FASE I

MANIFESTACIONES	PREVENCIÓN	INST. RESPONSABLE
AUMENTO EN LA MAGNITUD DE DAÑOS Y NUMERO DE VICTIMAS Y DAMNIFICADOS	Inventario de edificios y elementos de infraestructura urbana	Planeación Municipal
	Mapa de microzonificación sísmica	UNIVALLE, OSSO
	Clasificación de edificios y estudios de vulnerabilidad	Planeación Municipal UNIVALLE, OSSO
	Evaluación del riesgo específico a distintas clases de edificios y de la infraestructura urbana	Planeación Municipal UNIVALLE, OSSO
	Evaluación del riesgo de contagión y otros efectos secundarios como Deslizamientos	Bomberos Voluntarios UNIVALLE, OSSO
	Lluvia de suelos	Bomberos Voluntarios
Escape de gases	EMCALI, acueducto y alcantarillado	
Ruptura de redes de agua potable y alcantarillado	EMCALI, energía	
Suspensión de energía	Tránsito Municipal, DATT	
Suspensión del transporte público y privado	EMCALI - Teléfonos	
Suspensión de comunicaciones	TELECOM	

EVENTO:

FASE II

CONSECUENCIAS	CONTROL DE IMPACTO	INST. RESPONSABLE
SUSPENSIÓN DE COMUNICACIONES, DAÑOS REDES ACUEDUCTO, ENERGIA, ALCANTARILLADO	Recuperación de redes telefónicas y radiocomunicación, redes energía, acueducto y alcantarillado	EMCALI, teléfonos acueducto, energía, alcantarillado TELECOM Empresas privadas mantenimiento
DESPLAZAMIENTOS	(Ver deslizamientos)	
RUPURA Y CAIDA DE PUENTES CON REPRESAMIENTOS	(Ver represamiento e inundaciones) Reconocimiento aéreo de ríos y quebradas	EMAVI Patrulla Aérea del Pacífico
VICTIMAS	Evaluación, rescate, identificación y clasificación según tarjeta internacional	Defensa Civil Cruz Roja Bomberos Voluntarios Policia Metropolitana Policia Militar
HERIDOS, LESIONADOS CONGESTION EN LOS SERVICIOS DE SALUD	Primeros auxilios Remisión a instituciones de salud	Cruz Roja Defensa Civil Bomberos Voluntarios
DAMNIFICADOS	Censo Instalación y administración de albergues temporales	Cruz Roja Defensa Civil Policia Metropolitana
	Dotación básica personal	Cruz Roja Defensa Civil VISECALI

-114-

Hace un año, también por primera vez, una ordenanza municipal prohibió, previo concepto técnico del Observatorio Sismológico, el poblamiento de una colina que en el curso de éste estudio había sido reconocida como área con potencial de deslizamiento.

Recientemente el Observatorio fué solicitado para asesorar al nuevo Plan Vial Municipal, el primero de la ciudad que considerara en su diseño las amenazas naturales. Esta nueva actividad en el proyecto integral será un gran paso hacia la mitigación del riesgo sísmico a escala de planificación urbana. La realidad histórica de la ciudad moderna ha demostrado que es la extensión de la red vial urbana, además de la cobertura de servicios públicos y la construcción de equipamiento colectivo como universidades y escenarios masivos, lo que realmente fomenta y dirige el desarrollo urbano desde el nivel político-administrativo.

Un proyecto como este generalmente también tiene resultados intangibles. Un ejemplo muy perceptible de esto y quizás el más importante de los resultados hasta ahora, porque es la base para toda acción mitigadora, es un progresivo y amplio cambio de mentalidad de lo que podríamos llamar una actitud fatalista ó negligente por ignorancia técnica ó, en su expresión más positiva y responsable, como actitud 'socorrista', hacia una mentalidad que comprende claramente las posibilidades, ventajas y por ende también la necesidad de reducir los probables efectos de amenazas por medio de medidas anticipadas.

#### CONCLUSIONES

Aun cuando falta mucho para poder pensar en una culminación de este proyecto, creemos que es válido y útil tratar de deducir algunas conclusiones, no sólo para orientar su continuación, sino también para beneficio de otros propósitos y proyectos similares, en otras ciudades de nuestro medio.

Un resultado general importante es la progresiva convergencia e imbricación entre la labor técnico-científica, la visión y voluntad político-administrativa y la aceptación comunitaria. Sin ésta, la más avanzada evaluación de amenaza y riesgo no lograría su finalidad.

La mitigación del riesgo sísmico urbano es un complejo juego entre variables técnico-científicas, legales, administrativas, de mercado, de manejo de información, etc. Quien pretenda hacer una contribución técnica debe ser consciente del objetivo social de su trabajo y traducir permanentemente sus propósitos, medios y resultados y a la vez tratar de entender el sistema político-administrativo, gremial y comunitario del que espera que asimile esa nueva información, una condición que además esta relacionada con las múltiples alternativas que generalmente se tienen para realizar los objetivos específicos en el campo de la prevención.

Uno de los factores importantes para la orientación y avances han sido las oportunidades de trabajo interdisciplinario que sólo ofrece el medio universitario. Relaciones como aquella entre investigadores activos en la Ingeniería Civil, Arquitectura Urbana y Ciencias de la Tierra han enriquecido la visión, los conceptos y los modelos que maneja el proyecto y, por supuesto, también sus resultados.

Si bien es innegable que un proyecto de mitigación de riesgo sísmico urbano más o menos completo demanda generalmente grandes inversiones sobre períodos bastante largos, y éste solo hecho probablemente en muchas ocasiones ha frenado buenos

propósitos y capacidades, una de las experiencias alentadoras de este programa ha sido que el primer paso se puede dar con la voluntad y con la información disponible en cualquier ciudad, por decirlo de manera simple, con 'papel y lápiz', y que después de los primeros resultados el apoyo mayor no se hará esperar.

## AGRADECIMIENTOS

Todos los participantes y de manera especial el Observatorio Sismológico de la Universidad del Valle expresan su sincera gratitud a todas las personas, instituciones y organismos que han dado su confianza y apoyo a este proyecto: COLCIENCIAS, la Alcaldía de Santiago de Cali, a través del Fondo de Vigilancia y Seguridad y del Depto. de Planeación Municipal, el Comité Operativo de Emergencias, la Corporación Autónoma Regional del Cauca - CVC, la Oficina Nacional para la Prevención y Atención de Desastres de la Presidencia de la República, la Oficina del Coordinador de las Naciones Unidas para la Atención y Mitigación de Desastres - UNDRR, el Cuerpo Suizo de Socorro, el Servicio Sismológico Suizo (Escuela Politécnica Federal - Zürich), la Universidad de Ginebra, la Agencia Canadiense para la Cooperación Internacional, la 'Office of Foreign Disaster Assistance' (USAID) y la Fundación 'Partners of the Americas', la Fundación Carvajal, y la Fundación para la Educación Superior - FES. Reconocemos el entusiasmo y la dedicación de los estudiantes de Ingeniería Civil y de Arquitectura de la Universidad del Valle como uno de los mayores estímulos en éste proyecto. Para los participantes del proyecto será inolvidable la primera reunión de coordinación de la segunda fase del proyecto, presidida por Dr. Michel Fournier d'Albe (q.e.p.d.), de larga y trascendente trayectoria en el fomento de las Ciencias de la Tierra y de la prevención de desastres desde las Naciones Unidas.

## BIBLIOGRAFIA

- Cardona, O.D. (1989). "Enfoque metodológico para la evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo sísmico". Memorias, II Congreso Internacional sobre Desastres. La Habana, Cuba.
- Córdoba, S., H. Gómez (1987). "Acelerogramas, espectros de respuesta y variaciones temporales de las frecuencias de vibración de sismos colombianos". Trabajo de Grado en Ingeniería Civil (dir. G. García Moreno). Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Minas. Medellín.
- Departamento Administrativo de Planeación Municipal (1988). "Plan de Desarrollo del Municipio de Cali - Cali y sus barrios, áreas, población y vivienda". Subdirección de Informática y Sistematización, Cali.
- Galarza, M.T., A. Velásquez, P. Fernández de G., B. Lenis, A.L. Merchán, A. Morcillo, N. Carrera (1989). "Plan General para la Atención de Emergencias en Cali". edit. H. Meyer y A. Velásquez. Comité Operativo de Emergencias del Municipio de Cali, Fondo FES Emergencia Ciudadana.
- García, L.E. (1984). "Estudio General de Riesgo Sísmico de Colombia". Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS, Bogotá.
- González, S. (1990). "Estudio Piloto de Vulnerabilidad Sísmica para Cali". Informe final de actividades presentado a ONAD/UNDRR/ACDI, UNIVALLE - Observatorio Sismológico, Cali.
- Grases, J. (1990). "Evaluación de los efectos económicos de los terremotos - Metodología y resultados" Informe Proyecto SISRA, vol. 13, A/B, Centro Regional de Sismología para América del Sur - CERESIS, Lima.
- Leimo, J., M. Rodríguez, S.K. Singh (1988). "Natural Period of Sites in the Valley of Mexico from Microtremor Measurements and Strong Motion Data". Earthquake Spectra, vol. 4, no. 4, p. 805.
- Lozano, M.A., A. González (1990). "La prevención y atención de desastres en el plan de desarrollo de Cali". Departamento Administrativo de Planeación Municipal, Cali.
- Meyer, H. (1984). "Estudio de Riesgo Sísmico para el Municipio de Cali - Primera Etapa, Propuesta Técnica". UNIVALLE, Cali.
- Meyer, H. (1989). "Sistema Regional de Observación e Investigación Sismológica para el Suroccidente Colombiano". Informe final presentado a COLCIENCIAS, UNIVALLE - Observatorio Sismológico, Cali.
- Mosquera, G. et al. (1983). "Morfología, Desarrollo y Autoconstrucción en Cali, Diagnóstico Preliminar". UNIVALLE - Facultad de Arquitectura. Publicación "Investigaciones No. 4", Universidad de Medellín e Institute of Housing Studies (BIE), 1984. Holanda.
- Ramírez, J.E. (1974). "Terremotos en Colombia". Instituto Geofísico de los Andes Colombianos e Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", Bogotá.
- Velásquez, A. (1987). "Atlas de amenazas naturales y artificiales de Cali". Comisión Integral de Evaluación de Riesgos de Cali - CIERCALI, Comité Operativo de Emergencias, UNIVALLE - Observatorio Sismológico, Cali.
- Velásquez, A. (1990). "Estudios históricos de eventos incluido examen del Archivo General de Indias en Sevilla, España". Proyecto presentado al Programa de Mitigación de Riesgos en Colombia. UNIVALLE - Observatorio Sismológico.