



INVESTIGACION

BASE DE DATOS PARA LA ESTIMACION DE RIESGO SISMICO EN LA CIUDAD DE MEXICO

A lo largo de su historia, la ciudad de México ha sido frecuentemente afectada por temblores que han dejado pérdidas enormes en vidas y bienes. Sólo en este siglo los sismos de 1907, 1911, 1941, 1957, y 1985 han producido cuantiosos daños

Existe una notable diferencia entre las intensidades sísmicas que se presentan en distintas zonas de la ciudad y en consecuencia del tipo de daños verificados. Desde hace tiempo se comprobó que las elevadas intensidades sísmicas se asocian con amplificaciones producidas por suelos blandos, resto de los antiguos lagos sobre los que se asienta parte de la ciudad.

Los daños ocurridos en 1985 evidenciaron además que, en la zona del lago, existen diferencias importantes en las características de los movimientos sísmicos y por tanto que el riesgo sísmico de cada zona depende del tipo de movimientos que en ella se producen y del tipo de construcción asentada

A partir de 1985 se incrementaron los esfuerzos por comprender todas las facetas del fenómeno sísmico y mejorar la seguridad sísmica de las edificaciones. La acción más relevante fue la instalación de la Red Acelerográfica de la ciudad de México que a la fecha cuenta con 110 instrumentos digitales operados por cuatro instituciones. Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (II-UNAM), Centro de Instrumentación y Registro

Sísmico de la Fundación Javier Barros Sierra (CIS), Fundación Ingenieros Civiles Asociados (ICA) y el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), que en conjunto han producido centenares de registros sísmicos en sitios con diferentes características de suelo

También en esa fecha (1985) se iniciaron varios proyectos para investigar la vulnerabilidad sísmica de las estructuras ubicadas en la zona blanda del D.F., que dieron pie a cambios en el Reglamento para las Construcciones del D.F.

Esas experiencias y algunas anteriores han hecho posible que la estimación de los movimientos del suelo y el comportamiento de estructuras durante sismo proporcionen diferentes fuentes de información que permiten estimar cuantitativamente el riesgo sísmico que enfrentan las zonas de la ciudad como consecuencia de grandes temblores originados en las costas del pacífico

Dentro de esa línea de trabajo, tres instituciones (CISyII-UNAM) encabezadas por el CENAPRED, han desarrollado un modelo de estimación de intensidades sísmicas y pérdidas económicas esperadas en la ciudad de México por efectos de terremotos que se generen en la costa del pacífico. El CENAPRED realizó el diseño general del sistema, la base de datos sobre construcciones en el D.F., el sistema de información geográfica y el modelo de estimación de daños; el CIS y el II-UNAM el

modelo de estimación de intensidades sísmicas con el patrocinio de la Secretaría General de Obras del Departamento del Distrito federal

El modelo procesa entre otras informaciones cantidad y características de las construcciones, propiedades de los suelos, intensidades sísmicas esperadas y daños esperados en las construcciones de la ciudad. Los datos se almacenan en computadora para formar un sistema de información geográfica. De esa forma pueden obtenerse mapas que muestran el nivel de daño con resoluciones de 500 m. Los daños pueden estimarse en forma individual -para cada una de las 14 clases de estructuras que se consideran en el estudio- o de manera acumulada, es decir, sumando los daños de todas las construcciones. La estimación puede hacerse para diversos escenarios, el análisis podría resultar de gran utilidad para el manejo de un eventual desastre en vista de que se conocerían de antemano las zonas más propensas a ser dañadas.

El sistema genera también mapas que muestran los distintos niveles de intensidad sísmica que se experimentarían en diversas zonas del D.F. como resultado de la ocurrencia de un temblor costero. En el modelo la intensidad está expresada en términos de cantidades directamente relacionadas con el comportamiento de las estructuras ante sismo. Por esta razón, el análisis de la distribución de intensidades esperadas ante temblores futuros permitiría saber con precisión *en qué zonas de la ciudad son más vulnerables ciertos tipos de estructura. Este conocimiento sería útil para fines de reglamentación de la construcción y planeación de uso del suelo.*

El modelo de cálculo de daños esperados, se inicia estimando el tamaño de los movimientos del terreno que se producirían durante un temblor en un punto de la ciudad (la estación acelerográfica de la Ciudad Universitaria en nuestro caso). Sin embargo, de conocerse el tamaño de los movimientos del terreno en otros sitios del D.F., ese cálculo también sería factible. En

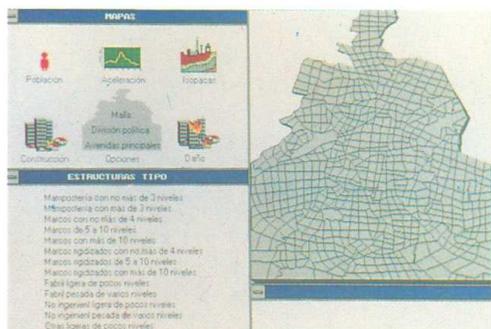


Figura 1



Figura 2

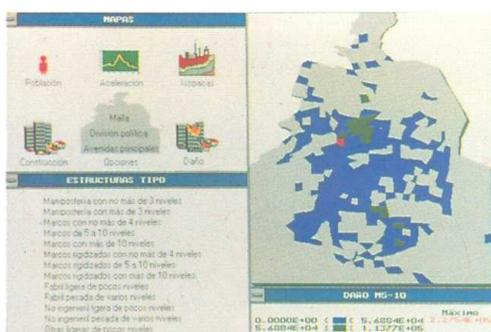


Figura 3

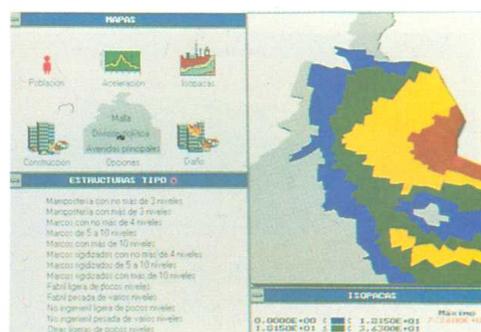


Figura 4

las 14 clases. Para este fin se realizó un levantamiento basado en planos catastrales, fotografías aéreas y visitas de campo. En virtud de las limitaciones de tiempo y de personal, este levantamiento sólo fue exhaustivo para algunas celdas consideradas típicas, y para el resto se aplicaron las densidades de construcción determinadas para alguna de las primeras. Cabe hacer notar que en el caso de edificaciones de más de un nivel, la cantidad de construcción determinada corresponde a toda el área cubierta. Por esta razón, en algunos casos, el área construida puede ser superior al área en planta de una celda. También como parte del levantamiento, se asignó a las construcciones de cada clase y celda una de cuatro posibles calidades.

En la figura 2 se presenta un mapa que muestra la distribución geográfica de la cantidad total de construcción en el D.F., es decir, el número de metros cuadrados construidos, independientemente del tipo estructural que proporcione resistencia sísmica. En la figura 3 se muestra un mapa con la densidad de construcción de estructuras a base de marcos con altura de entre 5 y 10 niveles.

b) Espesor de la capa más superficial de arcilla blanda y período predominante de vibrar del suelo.

Estas variables son las que en mayor grado determinan las características del movimiento del terreno en cada celda. La combinación de ambas gobierna la magnitud de amplificación de las ondas sísmicas, mientras que el periodo predominante determina cuáles serán las clases de estructura que se verán sometidas a movimientos de mayor peligro. En la figura 4 se presenta la distribución geográfica del espesor de la capa de arcilla. Nótese que las zonas de mayor espesor, al oriente y sureste de la ciudad, corresponden con las zonas de mayor profundidad de los antiguos lagos. En estas regiones se presentan también los periodos de vibración más largos.

c) Función de amplificación de las ondas sísmicas.

Para cada celda se determinó una función que mide cuánto se amplifican los movimientos sísmicos con respecto a los que se presentan en la zona de terreno firme de la ciudad. Estas funciones fueron calculadas con base en los registros sísmicos obtenidos en los últimos

consecuencia el modelo puede proporcionar información preliminar, pero muy rápida, de los daños producidos por un temblor. Para esto bastaría con procesar la información de las estaciones acelerográficas conectadas a un "sistema de información temprana", a fin de determinar el tamaño del temblor. Este dato sería introducido al sistema de información geográfica que se encargaría de estimar las intensidades sísmicas en toda la ciudad y luego calcular los daños. Se considera que el sistema sería capaz de generar un mapa de daños en unos cuantos minutos.

DESCRIPCION DEL MODELO Y ALGUNOS RESULTADOS

La zona estudiada se muestra en la figura 1; comprende la parte más poblada del D.F. Esta zona fue dividida en 751 celdas del orden de

500 metros. La división trató que en cada celda los tipos y edades de las construcciones fuesen homogéneos, utilizando como fronteras de celda los límites naturales existentes, como calles y parques.

Para cada celda se determinaron las siguientes cantidades:

a) Cantidad y Calidad de la Construcción.

Para fines de nuestro estudio las construcciones del D.F. se dividieron en 14 clases, atendiendo al tipo de estructura que resiste la fuerza sísmica. Se supuso que todas las estructuras de una misma clase poseen características dinámicas similares. En estas circunstancias, se determinó el número de metros cuadrados que se encuentran cubiertos en cada celda por estructuras de cada una de

años y la información geotécnica descrita en el inciso anterior.

Las variables descritas en a), b) y c) son atributos de cada celda que no cambian de temblor a temblor, por lo menos en el corto plazo. Las cantidades de construcción son necesarias para estimar las pérdidas económicas, mientras que las restantes se utilizan en la estimación del movimiento del suelo, tal como se describe a continuación:

En el modelo que se expone, un escenario sísmico queda definido al postular la magnitud de un temblor hipotético y la distancia entre la ciudad de México y el área de ruptura del temblor. Dadas estas dos variables, es posible estimar el tamaño del movimiento sísmico en un sitio de terreno firme del D.F., mediante relaciones semiempíricas. En vista de que se dispone de funciones de amplificación entre este sitio y las 751 celdas de que consta el modelo, es posible también determinar el tamaño de los movimientos del terreno que se presentarán en cada celda.

El tamaño de los movimientos del terreno se expresa en términos de espectros de respuesta de aceleraciones, que son cantidades estrechamente ligadas al comportamiento de las estructuras. En la figura 5 se presenta un mapa con la distribución de la aceleración máxima del terreno, en la dirección EW, para un temblor como el del 19 de septiembre de 1985.

Técnicamente, la aceleración máxima del terreno es la ordenada del espectro de respuesta para estructuras con periodo nulo. En las figuras 6 se presenta un mapa similar para ordenadas del espectro de respuesta correspondientes a dos segundos de periodo en la dirección NS. Nótese que las intensidades sísmicas son máximas cuando coinciden el periodo predominante del suelo y el periodo al que se miden las aceleraciones.

Una vez que se dispone de la cantidad de construcción por clase estructural y de una medida de la intensidad sísmica en cada celda durante el temblor postulado, procede calcular el daño esperado a las edificaciones. Para este propósito se derivaron relaciones intensidad-daño empíricas, a partir de estimaciones de las pérdidas económicas experimentadas durante temblores previos, particularmente los eventos del 14 de marzo de 1979 y 19 de septiembre de 1985.

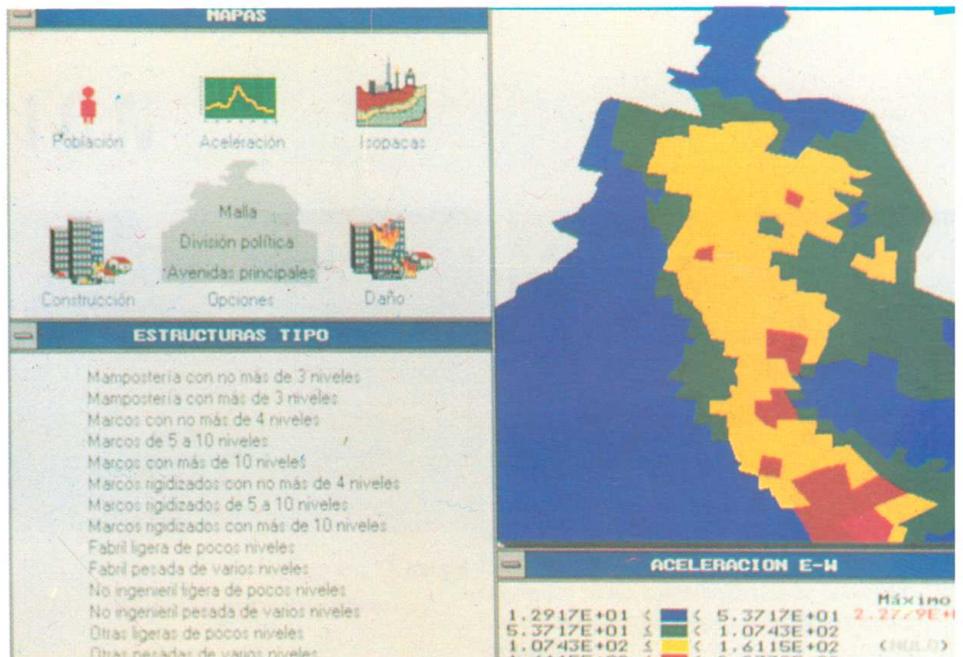


Figura 5

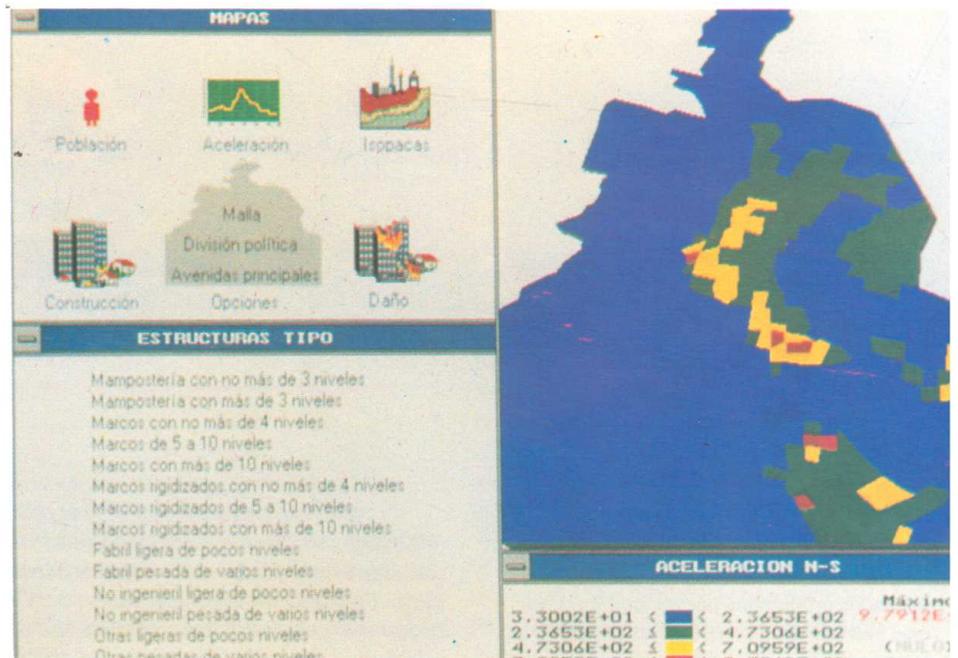


Figura 6

Estas estimaciones se basaron en información recopilada por las compañías de seguros y en los levantamientos de daños llevados a cabo después de los sismos de 1985. Las pérdidas económicas se expresan, en primera instancia, en términos de un índice de daño, cuyo valor esta entre 0 (pérdidas nulas) y 1 (pérdida total), que expresa qué fracción del valor de las construcciones se perdió. Así, por ejemplo, un valor de 0.2 para el índice de daño de cierta clase de estructuras en una celda dada, implica una pérdida económica

cuyo monto es igual al 20% del valor de las construcciones consideradas en dicha celda. Posteriormente, este índice de daño es multiplicado por el área cubierta con estructuras de la clase considerada en el sitio que se estudia. De esta manera, el daño queda expresado en términos de un área equivalente perdida; el valor monetario de la pérdida podría entonces obtenerse multiplicando el área equivalente perdida por el valor de reconstrucción de un metro cuadrado del tipo de construcción considerada. Nótese que el

concepto de área equivalente es sólo un artificio para poder agregar pérdidas económicas. Hablar de una pérdida de 150,000 m² no significa necesariamente que en efecto se perdieron 150,000 m² de construcción; significa que el valor de la pérdida es igual al valor que tendría construir un área de esta cuantía. Esto es de especial importancia en zonas de daño moderado, en las cuales las pérdidas no están asociadas al colapso de ninguna estructura. Nótese también que el valor de reconstrucción para una clase de edificios variará según la zona de la ciudad, ya que la clasificación adoptada atiende a las características estructurales y la gama de costos para una misma clase es muy amplia.

En la figura 7 se presenta un mapa con la distribución de daños totales calculados para un temblor como el de 1985. Nótese, al comparar esta figura con las figuras 5 y 6, que las zonas de máximo daño no necesariamente coinciden con las de máxima intensidad sísmica. Los patrones de daños están gobernados tanto por la distribución de intensidad sísmica cuanto por la cantidad de construcción y la vulnerabilidad de las clases estructurales predominantes en cada zona. En la figura 8 se presenta otro ejemplo de mapa de daños calculados para marcos con alturas de entre 5 y 10 niveles. Las diferencias en los montos del daño en diferentes clases estructurales reflejan, por una parte, las diferentes cantidades de construcción de cada tipo, y por otra, las diferentes vulnerabilidades sísmicas de los sistemas estructurales.

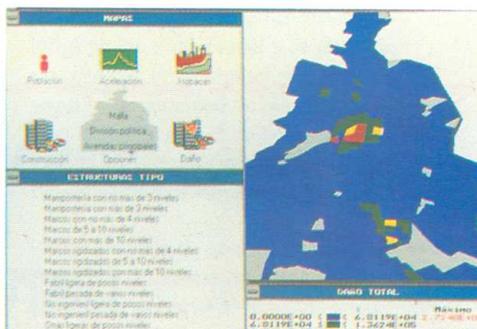


Figura 7

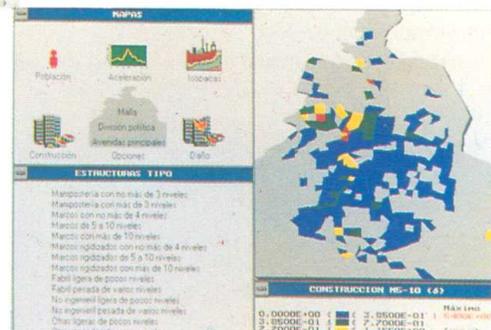


Figura 8

COMENTARIOS FINALES

En su versión actual, el modelo está restringido al análisis de grandes temblores originados en la costa del Pacífico. Aunque históricamente estos son los eventos que han producido los máximos daños, debe tenerse en mente el potencial destructivo de temblores de origen local. En estos casos, la distribución de daños podría diferir sustancialmente.

Los daños que pueden estimarse con este modelo están basados en el desempeño de las estructuras durante temblores pasados. La vulnerabilidad presente de las estructuras es probablemente menor a la que se ha considerado, por varias razones: a) los edificios más vulnerables se derrumbaron durante el temblor de 1985; b) las edificaciones importantes que sufrieron daños severos durante este temblor han sido reforzadas; y c) los edificios nuevos están siendo diseñados para resistir fuerzas sísmicas superiores. Por otra parte, otros edificios que sufrieron daño moderado en 1985, y que no fueron reforzados, son, seguramente, más vulnerables de lo que eran antes de 1985. Si nuestra conjetura es cierta, los estimadores de daño que presentamos son conservadores.

Se considera que el modelo desarrollado podría ser de utilidad para las autoridades metropolitanas en sus funciones de planeación de uso del suelo y manejo de emergencias. Además, la resolución espacial con que pueden estimarse los movimientos del terreno ante temblores futuros abre las puertas a una zonificación sísmica más detallada para el D.F.

Dr. Mario Ordaz Schroeder, Dr. Roberto Meli, M.J. Carlos Montoya D., M.J. Lorenzo D. Sánchez y Luis Eduardo Pérez Rocha.- Área de Riesgos Geológicos del CENAPRED