

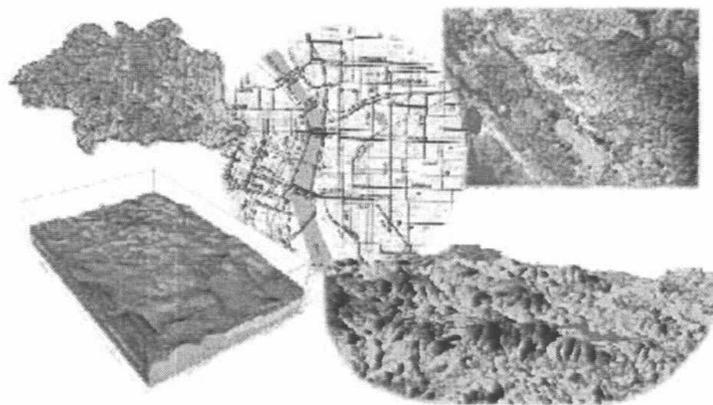
características regionales y requerimientos de información de los usuarios. El sistema contemplará la vulnerabilidad de las principales estructuras existentes, edificios, hospitales, puentes y en una primera etapa se implementará el método para el cálculo de vulnerabilidad sísmica de edificios.

Este sistema representará un beneficio importante para la sociedad, ya que servirá de apoyo a las autoridades en la toma de decisiones referentes a la planeación urbana, prestación de servicios, protección civil, prevención de desastres, atención posterremotos, entre otras.

## **I. INTRODUCCIÓN:**

El riesgo sísmico, definido como la probabilidad de sufrir pérdidas sociales y económicas ante la ocurrencia de un terremoto, contiene numerosos elementos a considerar: sismológicos, tectónicos, estadísticos, estructurales, urbanísticos, etc. que son necesarios de cuantificar y de controlar sus posibles incertidumbres (Tinoco, 2004). El factor inicial del riesgo es la posibilidad de que puedan suceder terremotos importantes en una determinada zona, representada mediante la peligrosidad sísmica. Los datos de partida y los métodos de cálculo pueden ser muy variables, dependiendo de tipo de análisis que se considere y del riesgo que socialmente se pretenda asumir. Otro elemento del riesgo a tener en cuenta es la capacidad de una estructura de sufrir daños como consecuencia de un determinado terremoto. Algunos edificios pueden ser muy vulnerables ante movimientos fuertes del suelo, siendo necesario evaluarse mediante estudios de la respuesta dinámica de la estructura o a partir de análisis estadístico de los datos obtenidos con terremotos reales

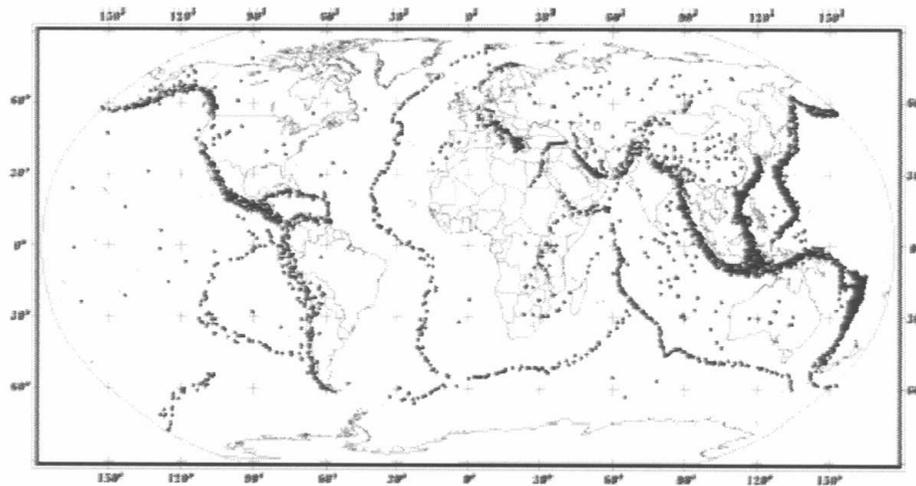
Una herramienta relativamente reciente en estudios de riesgo sísmico son los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Estos sistemas han venido a facilitar la implementación de las metodologías de análisis, el manejo de la información y, sobre todo, la visualización de los resultados, gracias a su capacidad georeferencial, lo que permite modelar los elementos de la zona de estudio de una forma más real (figura 1). Además, la poderosa estructura en la que están contruidos los SIG facilita el manejo de los datos de una manera sencilla y rápida.



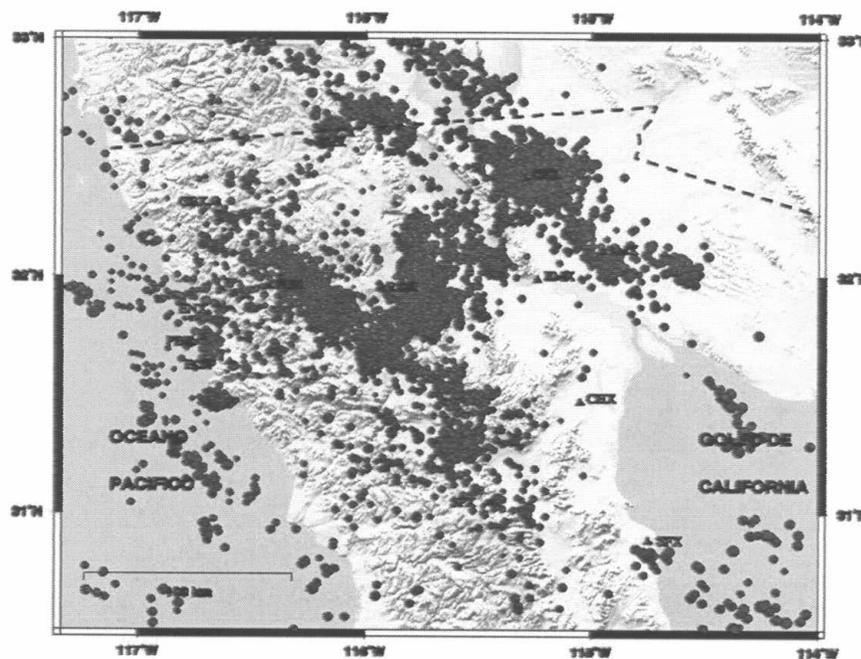
**Figura 1:** Algunas formas de representar la información geográfica por medio de un SIG.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La región del noroeste de México presenta alto índice de sismicidad como lo muestra el mapa de sismicidad global que se muestra en la figuras 2 y 3, es por ello que es imperante determinar el peligro sísmico de dicha región, un estudio de peligrosidad sísmica global muestra en la figura 4 una visión general del problema.



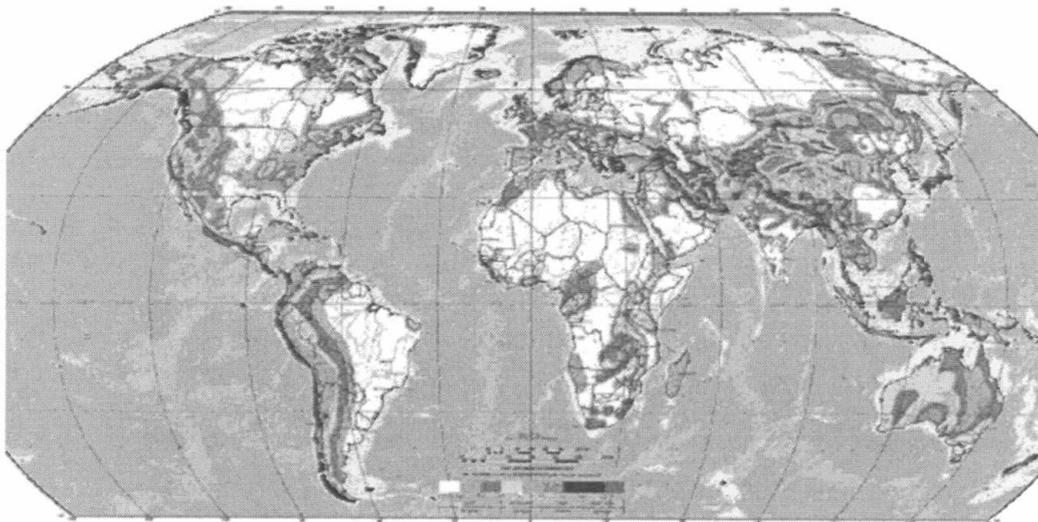
**Figura 2.** Mapa de sismicidad global. Se muestran los terremotos ocurridos a partir de 1966, con magnitud superior a 6 en la escala de Richter (Bolt, 1999).



**Figura 3.** Mapa de localización de epicentros de sismos registrados por CICESE entre 1973, 1999.

Disminuir el peligro sísmico no es posible porque depende de cuestiones naturales, pero si es posible determinar la vulnerabilidad de estructuras tales

como edificios de tal manera que se conozca el riesgo de sufrir consecuencias sociales y económicas ante un terremoto. Esto significa que el problema debe ser atacado de manera local, así lo demuestran estudios realizados en la zona urbana de Barcelona (**Mena, 2003**), con ello se han sentado las bases para su adecuación en otras ciudades como es el caso del municipio de Ensenada, BC, México. Además, de que existen muchas áreas de mejora y de oportunidad en atención a las necesidades de integración de bancos de información geográfica para este tipo de aplicaciones, como lo han expresado comunidades gubernamentales, académicas y científicas de la región.



**Figura 4.** Mapa de Peligrosidad Sísmica global (GSHAP, 1999).

Aunado a lo anterior, hay cuestiones de tipo socioeconómico tal como el tipo de construcción, se tiene que en Baja California se cuenta con un porcentaje de viviendas construidas con materiales resistentes por debajo de la media nacional (Ver tabla 1), de acuerdo a estadísticas de INEGI sobre calidad de materiales en viviendas por entidad federativa (INEGI, 2000).

Entidad federativa	Viviendas a	Porcentaje de viviendas		
		Con recubrimiento en pisos b	Con materiales durables en techos c	Con materiales durables en muros d
Estados Unidos Mexicanos	21 513 235	86.7	64.2	79.3
Baja California	559 402	95.8	34.5	67.8
NOTA:	En las distribuciones se excluyó el no especificado.			
a	La información corresponde al total de viviendas particulares de acuerdo con los tabulados básicos censales (se excluyen los refugios y viviendas sin información de ocupantes).			
b	El recubrimiento en los pisos puede ser: firme o cemento, mosaico, madera u otro.			
c	Se consideran materiales durables en los techos: losa de concreto, tabique, ladrillo y terrado con viguería.			
d	Se consideran materiales durables en los muros: tabique, ladrillo, block, piedra, cantera o cemento.			

**Tabla 1:** Calidad de materiales en las viviendas por entidad federativa (INEGI, 2000)

### III. OBJETIVOS:

Existen varios estudios científicos de aplicación de SIG al cálculo del riesgo sísmico en diversas partes del mundo. Se pretende adecuar las metodologías y

aplicarlas en la región, para ello se hará un análisis de los SIG existentes, se diseñará, desarrollará e implementará un sistema adecuado a las características regionales y requerimientos de información de los usuarios. Como resultado se se obtendrá un mapa de vulnerabilidad sísmica de edificios importantes de la zona urbana del municipio de Ensenada B.C. México, utilizando un SIG.

#### **IV. IMPORTANCIA DEL PROYECTO:**

Este sistema representará un beneficio importante para la sociedad, ya que servirá de apoyo a las autoridades en la toma de decisiones referentes a la planeación urbana, prestación de servicios, protección civil, prevención de desastres, atención posterremotos, entre otras.

#### **V. LIMITACIONES DEL PROYECTO:**

Sólo se determinará el índice de vulnerabilidad sísmica en algunos edificios importantes de la zona urbana del municipio de Ensenada, BC, México. Cuando se disponga de una base de datos catastral digitalizada se podrá extender el estudio.

Además, de que no se incluirán los hospitales, debido a que tales estructuras requieren de una atención especial.

Se empleará el método italiano de benedetti y petrini para la determinación del índice de vulnerabilidad..

## VI. MÉTODO PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SÍSMICA:

Existen diversos métodos de evaluación de la vulnerabilidad sísmica de los edificios, un tipo de método es el basado en características generales de la estructura, para su cálculo se efectúa una puntuación de ciertos elementos a considerar del edificio.

### Método del índice de vulnerabilidad (Benedetti y Petrini, 1982)

Este método aplica para estructuras de mampostería no reforzada y de concreto reforzado, emplea una escala numérica, la cual se muestra a continuación en las tablas 2 y 3:

Clave	Parámetro	KiA	KiB	KiC	KiD	Wi
1	Tipo y Organización del Sistema Resistente	0	5	20	45	1.00
2	Calidad del Sistema Resistente	0	5	25	45	0.25
3	Resistencia Convencional	0	5	25	45	1.50
4	Posición del edificio y de la cimentación	0	5	25	45	0.75
5	Forjados Horizontales (lozas de piso)	0	5	15	45	1.00
6	Configuración en planta	0	5	25	45	0.50
7	Configuración en altura	0	5	25	45	1.00
8	Conexiones entre elementos críticos	0	5	25	45	0.25
9	Elementos estructurales de baja ductibilidad	0	15	25	45	1.00
10	Elementos no estructurales	0	0	25	45	0.25
11	Estado de conservación	0	5	25	45	1.00

**Tabla 2.** Escala numérica del índice de vulnerabilidad Iv de los edificios de mampostería no reforzada (Benedetti and Petrini, 1984).

Clave	Parámetro	KiA	KiB	KiC	Wi
1	Tipo y Organización del Sistema Resistente	0	1	2	4.00
2	Calidad del Sistema Resistente	0	1	2	1
3	Resistencia Convencional	-1	0	1	1
4	Posición del edificio y de la cimentación	0	1	2	1
5	Forjados Horizontales (lozas de piso)	0	1	2	1
6	Configuración en planta	0	1	2	1
7	Configuración en altura	0	1		2
8	Conexiones entre elementos críticos	0	1	2	1
9	Elementos estructurales de baja ductibilidad	0	1	2	1
10	Elementos no estructurales	0	1	2	1
11	Estado de conservación	0	1	2	1

**Tabla 3.** Escala numérica del índice de vulnerabilidad Iv de los edificios de concreto reforzado (Benedetti and Petrini, 1984).

A cada parámetro se le atribuye, durante las investigaciones de campo, una de las cuatro clases A, B, C, D (A: óptimo, D: pésimo) siguiendo una serie de instrucciones detalladas con el propósito de minimizar las diferencias de apreciación entre los observadores. A cada una de estas clases le corresponde un valor numérico  $K_i$  que varía entre 0 y 45, como se observa en la tabla anterior.

Por otra parte, cada parámetro es afectado por un coeficiente de peso  $W_i$  que es variable. Este coeficiente refleja la importancia de cada uno de los parámetros dentro del sistema resistente del edificio según la opinión de expertos.

De acuerdo con la escala de vulnerabilidad de Benedetti-Petrini, el índice de vulnerabilidad se obtiene mediante una suma ponderada de los valores numéricos que expresan la "calidad sísmica" de cada uno de los parámetros estructurales y no estructurales que, se considera, juegan un papel importante

en el comportamiento sísmico de las estructuras de mampostería no reforzada y concreto reforzado.

El índice de vulnerabilidad VI se define por la siguiente expresión

$$VI = \sum_{i=1}^{11} K_i W_i$$

Podemos determinar la siguiente clasificación de acuerdo al porcentaje obtenido:

- Vulnerabilidad <15%: Baja
- 15% = Vulnerabilidad <35%: Media
- Vulnerabilidad = 35%: Alta