

Aplicación de SIG para la evaluación de la amenaza sísmica y el riesgo asociado: Kathmandu, Nepal

1 Introducción

Cees van Westen (E-mail : westen@itc.nl)

Siefko Slob (E-mail: Slob@itc.nl)

Lorena Montoya de Horn (E-mail: montoya@itc.nl)

Luc Boerboom (E-mail: boerboom@itc.nl)

Ruben Vargas (E-mail: vargasfranco@itc.nl)

International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, ITC
P.O. Box 6, 7500 AA Enschede, The Netherlands

Promover y acelerar los esfuerzos orientados a la mitigación del riesgo sísmico en países en vías de desarrollo, requiere como condición básica el que tanto los ciudadanos como los agentes del gobierno a nivel local y regional adquieran conciencia de la vulnerabilidad de sus ciudades frente a la amenaza sísmica. Estos actores deberían tener un conocimiento claro de los daños ocasionados por eventos históricos y diseñar planes de contingencia y recuperación para ser implementados en caso de que ocurra un nuevo evento. Este proceso podría marcar el inicio de trabajos orientados al diseño de las líneas estratégicas para la mitigación del riesgo en estas ciudades.

La iniciativa de las Naciones Unidas hacia “ciudades mas seguras contra sismos” denominada **RADIUS** (Risk Assessment Tools for Diagnosis of Urban areas against Seismic Disasters), ha sido desarrollada, entre otras, basada en la experiencia de la ciudad de Kathmandu.

Cualquier ejercicio detallado para la estimación de daños asociado a un sismo, típicamente realizado en países desarrollados, es complejo y requiere de gran cantidad de datos así como de personal especializado para el logro de resultados significativos. Uno de los métodos, disponibles al público, para la evaluación de pérdidas por sismos es el método HAZUS, desarrollado por el US National Institute for Building Science (NIBR) y the Federal Emergency Management Agency (FEMA). Para mayor información visite www.fema.gov/hazus

Adicionalmente, las metodologías y datos usados en la estimación de daños por terremotos son, en general, para una región específica y no pueden ser directamente aplicados en otros países o regiones. La herramienta RADIUS ha sido diseñada de manera simple de tal forma que puede ser fácilmente usada por planificadores (decision-makers) y autoridades municipales. Esta herramienta requiere únicamente información demográfica básica como datos de entrada para generar resultados interesantes, usando un simple computador de uso personal. Un sismo es un fenómeno complejo de modelar. Con el propósito de simplificar y acelerar los cálculos, el modelo adoptado por la herramienta RADIUS es simplificado. Expertos deben usar este programa únicamente para la estimación preliminar de daños en caso de sismo. Validación de resultados y estudios mas detallados son requeridos para complementar los resultados preliminares.

En este ejercicio usaremos la metodología simplificada RADIUS para el cálculo de los daños asociados a la ocurrencia de un terremoto en la ciudad de Kathmandu, en Nepal.

Advertencia

El material en este ejercicio es disponible solo para ser usado con propósitos de capacitación. Los resultados no pueden ser usados en la planificación real de la ciudad de Katmandú. El método RADIUS solo debe ser usado para evaluación preliminar de daños por sismos. El planteamiento del ejercicio y los datos usados en el análisis SIG podrían contener errores.

El SIG que será utilizado en este ejercicio es ILWIS 3.11 (Integrated Land and Water Information System), desarrollado por el International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC). Información: www.itc.nl

Agradecimientos

Quisiéramos agradecer the Nepalese Society for Earthquake Technology (NSET), el departamento de SIG (GIS Section), el Department of Information & Communication, Kathmandu Metropolitan City y the International Center for Integrated Mountain Development (ICIMOD) por suministrar los datos utilizados en el ejercicio (SIG datos y sensores remotos)

Iniciando



- Situado en Windows explorer cree un directorio de trabajo en el disco duro
- Extraiga los datos del archivo *Datos caso estudio Kathmandu.ZIP* desde el directorio `:\Casos de estudios SIG\04 Amenaza y Riesgo sismica\Caso de estudio Kathmandu\Datos SIG ILWIS` a el nuevo directorio
- Haga doble-click en el icono del programa ILWIS y vaya al directorio de trabajo que creo.

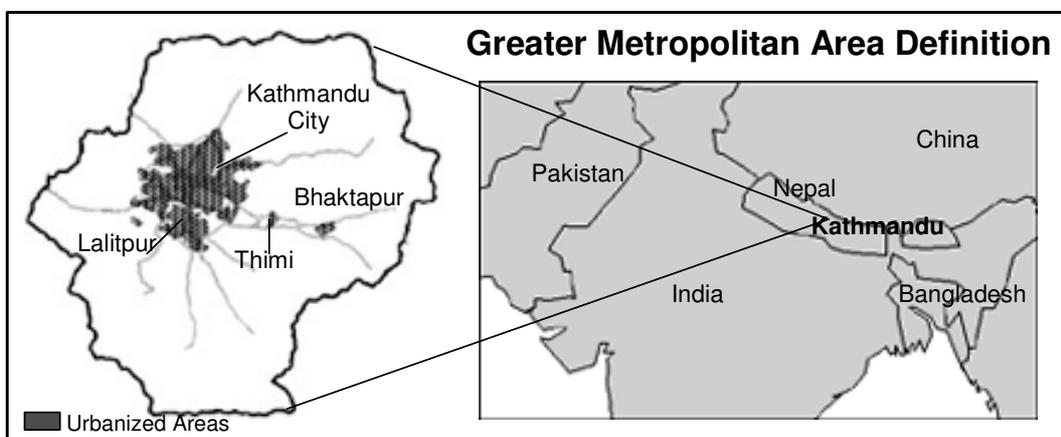
1.1 Objetivos:

Los objetivos de este ejercicio son:

- Familiarizar al estudiante con la ciudad de Kathmandu, y los problemas relacionados con la amenaza sísmica;
- Familiarizar al estudiante con los datos que serán utilizados en el ejercicio de estimación de perdidas asociadas con la ocurrencia de terremotos. Los datos utilizados están relacionados con la amenaza, elementos expuestos y vulnerabilidad. Los datos han sido generados utilizando SIG y sistemas de teledetección (RS)
- Presentar el centro de datos (data warehouse) generado por el International Center for Integrated Mountain Development (ICIMOD) relacionado con datos SIG para la región del Himalaya, incluyendo Kathmandu.

1.2 Introducción: Descripción de la ciudad

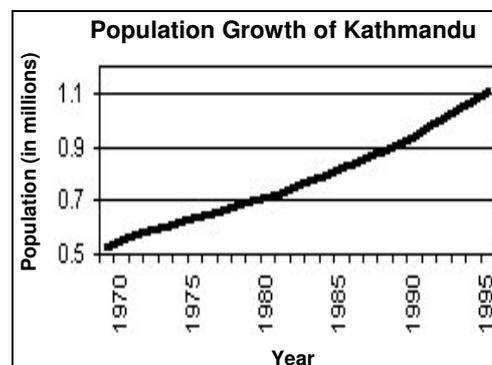
(Fuente: Documentos RADIUS: Understanding Urban Seismic Risk Around the World: A Comparative Study : <http://www.geohaz.org/radius/>)



Kathmandu, la capital de Nepal, esta localizada en un valle fértil en los Himalayas a mas de 1,350 metros sobre el nivel del mar. Dentro de la ciudades vecinas están Patan y Bhaktapur. Localizada en el centro de Nepal, es el centro administrativo y comercial del país.

Aspectos Generales – datos 1995

Población (en millones): 0.238
 Área Urbanizada (km²): 73.8
 Ingreso Per capita GDP (US\$): 347



Principales desarrollos del codigo sismico

1994 – código sísmico formulado, pero todavía no implementado.

Ejemplos de sismos destructivos en el siglo pasado:

1934 – Sismo Bihar-Nepal, 8.4 escala Richter, en Kathmandu 20% de las edificaciones fueron destruidas y 40% sufrieron daños

Desarrollos importantes hacia el manejo del riesgo sísmico han sido :

- √ Red de monitoreo sísmico
- √ Estudios para la estimación de perdidas (1998)
- Regulación y zonificación del uso del suelo para disminuir niveles de exposición a la amenaza sísmica
- .Formulación de planes de respuesta en caso de emergencia y planes de recuperación

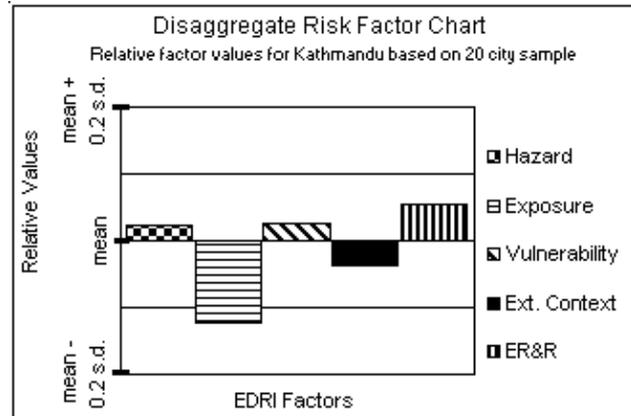
Descripción del riesgo asociado a un evento sísmico

De acuerdo con el análisis EDRI (20-muestras en la ciudad, escaladas con respecto a la media de la muestra total), el riesgo asociado a un evento sísmico en la ciudad de

Kathmandu esta dado principalmente por limitaciones en su capacidad de respuesta y recuperación, y por factores de vulnerabilidad y amenaza.

Amenaza

El tercer aspecto más importante en la definición del riesgo sísmico para la ciudad de Katmandú es el factor amenaza. Esto debido principalmente a que una gran parte del área urbanizada de la ciudad se localiza sobre suelos con un alto potencial de licuefacción. De hecho, de la muestra de 20 ciudades, Kathmandu es la que tiene un mayor porcentaje (37%).



Exposición (elementos expuestos)

El factor exposición contribuye en menor proporción en la definición del riesgo sísmico para Kathmandu, en gran parte debido al tamaño pequeño de la ciudad (Kathmandu tiene approx. 200,000 unidades de vivienda en 107.5 km² de área urbanizada).

Vulnerabilidad

El segundo factor en importancia en la definición del riesgo, relativo al promedio de la muestra, es el factor vulnerabilidad. La razón principal es la carencia de una regulación específica sobre la implementación del código sísmico (aunque el código fue formulado en 1994, todavía no ha sido implementado). Adicionalmente, más del 95% de las edificaciones y estructuras no cumplen las especificaciones del código sísmico Indio, el cual es utilizado hasta el momento en Nepal. Otros factores que contribuyen con la vulnerabilidad en Kathmandu son el bajo ingreso de los pobladores y el rápido desarrollo urbano.

Contexto externo

Debido al tamaño relativamente pequeño de la ciudad, factores de carácter externo no contribuyen de manera significativa en la definición del riesgo para esta muestra de ciudades.

Atención de emergencias y recuperación

Se consideran como los factores más importantes en la definición del riesgo sísmico para Katmandú, esto es debido principalmente a la carencia de planificación y recursos en la ciudad (equipos e instalaciones, recursos económicos y humanos). Los planes de atención y recuperación de la ciudad de Kathmandu son caracterizados como no adecuadamente formulados o no implementados.

Organizaciones y entidades relacionadas con el manejo del riesgo en la ciudad

- Gobierno nacional: Consejo nacional de construcción
- Gobierno local: Unidad de manejo de desastres de la ciudad metropolitana de Kathmandu
- No-gubernamentales: National Society for Earthquake Technology (NSET)- Nepal, Nepal Red Cross Society
- Otros: Comité nacional IDNDR

Ejemplos de esfuerzos hacia la administración del riesgo

- Creación de la sociedad nacional de tecnología y sismos (National Society for Earthquake Technology ,NSET)- Nepal
- Proyecto para el manejo de riesgos naturales en el Valle de Kathmandu (Valley Earth Risk Management Project, KVERMP)

1.3 Evaluación de los datos a utilizar

Tiempo requerido: 1 hora

Los datos a utilizar son un conjunto de mapas en formato vectorial y raster.

Datos básicos (base data)

- Mapa digital de elevación del terreno para Nepal: **Contour Nepal** (mapa vector, segmentos)
- Mapa digital de elevación del terreno para Katmandu: **Contour Kathmandu** (mapa vector, segmentos)
- Modelo digital de elevación del terreno: **Elevation** (map raster)
- Imágenes Satelitales: **IKONOS_pan** (ano 2002),

Datos sobre la amenaza

- Catalogo sísmico Nepal: **Earthquake catalog** (mapa de puntos y tabla)
- Mapa geológico valle de Kathmandu: **Geological units** (mapa de polígonos)
- Centro de la ciudad: **City Center** (mapa de puntos)
- Fallas y lineamientos: **faults** (mapa de segmentos)
- Localización de perforaciones: **Boreholes** (mapa de puntos)
- Deslizamientos: **Landslides** (mapa de segmentos)
- Profundidad del nivel freático: **Watertable** (mapa de segmentos)
- Espesor de la cobertura superficial, suelos (en metros): **Soilthick** (mapa raster)
- Mapa de formaciones superficiales (derivado del mapa geológico Geological units): **Geolsoil** (mapa de polígonos)
- Mapa de unidades geológicas: **Geological units** (mapa de polígonos)
- Mapa de intensidad sísmica: **mmi1934** (raster map)

Datos sobre elementos en riesgo

- Mapa de distritos: **Area_type** (mapa de polígonos y tabla)
- Datos sobre población: **VDC** (mapa de polígonos)
- Información sobre edificaciones: **existing_bldg** (mapa de polígonos)
- Usos del suelo: **Land-use** (polígonos)
- Vías: **Roadtype** (mapa de segmentos)



- Verifique el contenido de los mapas. Para ello despliegue los mapas en formato vectorial (polígonos, puntos y segmentos) sobre el mapa **topomap Katmandu** y utilice la herramienta “Pixel Information window”. Recuerde incluir los mapas vectoriales en la “ventana de información” (pixel information window)

1.4 Análisis del catalogo sísmico

Tiempo requerido: 3 horas

Objetivos:

- Evaluar el catalogo sísmico con respecto a los datos sobre localización, magnitud y profundidad de los sismos
- Visualizar sismos utilizando criterios de magnitud y profundidad
- Desarrollar relaciones entre profundidad y magnitud
- Definir la distancia de los epicentros con respecto a la ciudad de Kathmandu
- Evaluar la integridad del registro de sismos.
- Cálculo de Aceleración máxima (PGA) en roca en Kathmandu para varios de los sismos en el catalogo.

Datos requeridos:

- Catalogo sísmico para Nepal: `Earthquake catalog` (mapa de puntos y tabla)
- Mapa de fallas para Nepal : `faults` (mapa de segmentos)
- Centro de la ciudad, Kathmandu: `City Center` (mapa de puntos)

1.4.1 Visualización de sismos de acuerdo a su magnitud.



- Haga doble click en el icono que representa el mapa de puntos `Earthquake catalog`.
- En la ventana que aparece click en `OK`.

Como usted puede apreciar, todos los terremotos están representados con el mismo tipo y tamaño de símbolo.



- Haga doble click en un punto sobre el mapa. La información sobre el sismo seleccionado aparecerá en una ventana adicional, llamada Atributos (`Attributes`).
- Modifique el tamaño de la ventana de tal manera que pueda leer toda la información disponible.
- Haga lo mismo con otros sismos.
- Cual es el significado de los diferentes atributos?

Usted también puede visualizar el catalogo simbolizando los sismos de acuerdo con su magnitud. Para ello utilizaremos la columna `Msfinal`.



- Seleccione el mapa (`Earthquake catalog`) en el “layer management” (parte izquierda del mapa) o en la ventana principal y haga click con el botón derecho del mouse, seleccione la opción “Display options”. La ventana “display options” aparece de nuevo.

- Seleccione “Attribute”, y seleccione el atributo *Msfinal*.
- Haga Click en la opción Symbol. La ventana de dialogo “Symbol dialog box” aparece.
- Cambie el color de la línea, utilice rojo
- Seleccione la opción “stretch”. Digite los valores mínimo 3 y máximo 8.4. Seleccione el tamaño del punto “Size (pt)” entre 3 y 20. Presione OK dos veces

El catalogo sísmico es ahora visualizado en forma de puntos con diferentes tamaños. El tamaño del símbolo varía de acuerdo a la magnitud del sismo.



- Experimente un poco mas con estas opciones, e.g. despliegue el catalogo de acuerdo con:
 - Magnitud: muestre solo aquellos cuya magnitud es mayor que 5
 - Localice el terremoto de 1934 cuya magnitud fue de 8.4. Anote la localización de este terremoto:
X =
Y =
Profundidad =
Distancia desde Kathmandu =
 - Despliegue los sismos de acuerdo a la fecha en que ocurrieron (año): despliegue aquellos con $M > 5$ que ocurrieron entre 1800 y 1950,
 - Despliegue los sismos de acuerdo a la profundidad
- Cierre el mapa de puntos Earthquake catalog.

Algunas veces puede ser mejor evaluar la información en las tablas y no en un mapa.



- Abra la tabla Earthquake catalog.
- Haga Click en el icono de gráficos . Seleccione la columna *Year* como eje X- y *Msfinal* como eje Y-. El grafico es desplegado, pero bastante distorsionado
- Haga doble click sobre el eje X-en la ventana izquierda. Una nueva ventana se abre, en ella usted puede cambiar la escala. Escoja 1800 como el mínimo y, cambie el intervalo a 25. Ahora es mas fácil visualizar la relación entre el año de ocurrencia “years”y la magnitud *Msfinal*. Es también posible observar que para un cierto número de eventos, no hay información disponible sobre su magnitud. El catalogo sísmico es incompleto.
- Despliegue también la profundidad (depth) contra la magnitud. A que profundidad se localizo el sismo de magnitud 8.4 ocurrido en 1934?
- Experimente un poco generando nuevos gráficos.
- Cierre la ventana de gráficos.

1.4.2 Cálculo de la distancia de los epicentros a la ciudad de Katmandu

Uno de los aspectos que es importante conocer para estimar la probable aceleración máxima del suelo causada por terremotos, es la distancia de Kathmandu con respecto a los epicentros de los terremotos registrados históricamente. Con el propósito de evaluar dicha distancia procederemos primero a crear un mapa de distancia a partir del centro de la ciudad de Kathmandu. Posteriormente este mapa es utilizado para estimar la distancia de cada terremoto en el catalogo con respecto al centro de la ciudad.



- Rasterice el mapa de puntos *City center*. Seleccione en la ventana principal *Operations, Rasterize, Point To Raster*. En la ventana que aparece seleccione *Point Map: City center*. Asigne al mapa de salida el nombre *City_center*
- Seleccione el icono para crear una nueva georeferencia. Asigne el nombre *City_center* a la nueva georeferencia. Seleccione *Coordinate system Unknown*. Tamano del pixel (Pixelsize): 1000 m. Escriba como rangos para los valores de X y Y:
 Min XY : (-27172.95,2768900.41)
 Max XY: (1101242.77,3544768.40)
 Click Ok en el cuadro de dialogo para crear la georeferencia.
 Click ok en cuadro de dialogo para rasterizar el mapa de puntos.
- El mapa creado contiene un píxel con el centro de la ciudad, los demás píxeles tiene valor indefinido (?).
- Corra el programa para el cálculo de distancia utilizando el mapa *City center*. Seleccione *Operations, Raster Operations, Distance Calculation*. Seleccione como *Source Map* el mapa *City_center*. Asigne al mapa que va a crear el nombre: *Distance* . Use una precisión de 1, click Ok.
- Despliegue el mapa de epicentros “*Earthquake catalog*” sobre el mapa de distancia. Ahora usted puede leer para cada sismo la distancia con respecto a Kathmandu.
- Cierre la ventana del mapa.
- Haga click en el botón derecho del mouse sobre el mapa “*Earthquake catalog*”, y seleccione abrir como una tabla “open as table”. Asegúrese de seleccionar la opción “command line” disponible en el menú “view “
- En la línea de comando de la tabla, escriba:

$$\text{Distance}=(\text{mapvalue}(\text{distance},\text{coordinate}))/1000$$
- Cierre el mapa de puntos (tabla) y abra la tabla “*Earthquake catalog*”. Utilice la operación “Join” (bajo el menú “columns”) para incorporar los valores de distancia calculados en el paso anterior (columna “distance”, en el mapa “*Earthquake catalog*”) a la tabla “*Earthquake catalog*”.

Ahora usted conoce para cada sismo la distancia con respecto al centro de la ciudad de Kathmandu. A que distancia de la ciudad ocurrió el terremoto de magnitud 8.4 registrado en 1834?

1.4.3 Ejercicio Adicional: calcule la relación $\text{Log } N(M) = a - bM$

En este ejercicio adicional, usted puede utilizar el catálogo sísmico con el propósito de estimar la relación $\text{Log } N(M) = a - bM$. $N(M)$ es el número de sismos ocurridos en una región, en un periodo de tiempo especificado con una magnitud (M) mayor o igual que M . a y b son las constantes que tienen que ser determinadas.



- Abra la tabla “Earthquake catalog”. Ordene los registros de la tabla de manera ascendente utilizando la columna `Msfinal` (seleccione de el menú “Columns”, la opción “Sort”, column).
- Cree una columna cuyo valor único (para todos los registros) sea 1: Escriba en la línea de comando.


```
~ One=1
```
- Cree una columna en la cual usted convierte los valores de la columna `MsFinal` de valor numérico a texto (Strings): escriba en la línea de comando


```
~ Msfinalstr = string(msfinal)
```
- Haga doble click en el encabezado de la columna `Msfinalstr` y convierta el dominio a clases, Utilice el botón que aparece en la parte inferior de la ventana (create domain from string). Asigne como el nombre `Msfinalstr` al dominio creado
- Calcule el acumulado de la columna `One`, y almacene el resultado en una tabla independiente. Seleccione *Columns, Aggregation*. Seleccione *Column (one), function (sum), group by (Msfinalstr)*. Denomine la columna a crear: `CumOne`. Denomine la tabla (output table) a crear **Cum_sismos**
- Cierre la tabla “earthquake catalog”. Abra la tabla `Cum_sismos`. Usted vera que hay 418 registros en la base de datos con una magnitud de 0 (no datos). Estos registros no deben ser considerados en el análisis. Para eliminarlos usted puede utilizar la siguiente expresión. Escriba en la línea de comando de la tabla `Cum_sismos` (use mínimo de 1 como rango de valores):


```
~ CumOne1 = iff (cumone=418,?, cumone)
```
- El valor **CumOne1** calculado corresponde al número de eventos (sismos) registrados para cada valor de magnitud M , excluyendo aquellos con valor cero.
- Para calcular N (numero de sismos con magnitud mayor a M), procedemos de la siguiente forma:
 - Ordene los registros de la tabla de manera ascendente utilizando el dominio de la tabla
 - Escriba en la línea de comando


```
CumSismos = ColumnCumulative(CumOne1)
```
 - Esto es el acumulado de la columna `CumOne`
- Calcule el máximo valor de `CumSismos`. Escriba en la línea de comando `? max(CumSismos)`. anote el resultado (el resultado debe ser 672)
- Ahora puede calcular N , escriba en línea de comando:

N = 672-CumSismos

- Ahora puede calcular N, escriba en línea de comando:

$$\mathbf{LogN = Log(N)}$$

- Para obtener el valor de magnitud **Msfinal** en la tabla, utilice la operación “aggregation”. Cierre la tabla Cum_sismos y abra la tabla “earthquake catalog”. Seleccione Columns, “agregate”. Seleccione column “MSFINAL”, seleccione “function maximum”. Seleccione en la opción “group by” la columna Msfinalstr. Escriba como “output table” la tabla Cum_sismos. Escriba como “output column” MsFinal. Click Ok. Abra de nuevo la tabla Cum_sismos y verifique los valores obtenidos en la nueva columna MsFinal.
- Despliegue la columna `Msfinal` como eje X- y la columna `LogN` como eje Y-. Calcule la función “Least square fit” utilizando una función polinomio con 2 términos
- Que puede concluir acerca de los valores a y b? Y que mas puede decir con respecto al ajuste de la curva?
- Cierre el mapa y la tabla.

1.5 Método RADIUS

La iniciativa de las Naciones Unidas hacia ciudades seguras contra terremotos llamado **RADIUS** (Risk Assessment Tools for Diagnosis of Urban areas against Seismic Disasters), ha sido desarrollado con base en la ciudad de Kathmandu.

Bosquejo general

El procedimiento utilizado en el análisis es descrito en los siguientes pasos:

- **Paso 1:** Definir el escenario sísmico. Localización de epicentro, magnitud y profundidad
- **Paso 2:** Calcular la atenuación utilizando la función de Joyner & Boore (1981)
- **Paso 3:** Calcular la amplificación debido a las condiciones locales del suelo utilizando el mapa de suelos.
- **Paso 4:** Convertir valores de aceleración máxima del suelo (PGA) a valores de la escala Modificada de Mercalli (MMI)
- **Paso 5:** Aplicar funciones de vulnerabilidad según tipo de edificación
- **Paso 6:** Aplicar funciones de vulnerabilidad según tipos de infraestructura
- **Paso 7:** Aplicar funciones de vulnerabilidad para muertes esperadas

En caso de poseer información adicional sobre costos y PGA para diferentes periodos de retorno, el análisis podría ser extendido con los siguientes pasos:

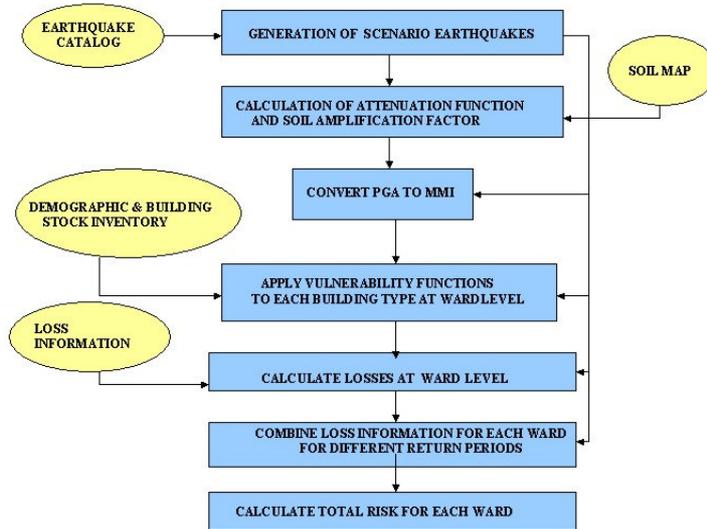
- **Paso 8:** Aplica información sobre costos a las edificaciones y combinarlas con los datos sobre vulnerabilidad para calcular perdidas para diferentes periodos de retorno.
- **Paso 9:** Combinar información sobre perdidas para diferentes periodos de retorno y calcular el riesgo agregando las perdidas para los periodos considerados.
- **Paso 10:** Combinar información y preparar una síntesis

El diagrama en la parte inferior presenta el método de manera esquemática..

Para mayor información sobre RADIUS, El lector es referido a las siguientes paginas web:

<http://geohaz.org/radius/> o <http://www.unisdr.org/unisdr/radiusindex.htm>

Figura: Diagrama de flujo esquemático de la metodología RADIUS



2. Cartografía de elementos en riesgo (elementos expuestos)

Este ejercicio trata el tema de la preparación de los datos espaciales necesarios para realizar una evaluación del riesgo para edificaciones y obras de infraestructura. El trabajo se dividirá entre los participantes, al final las diferentes partes se unirán para producir un mapa único. Dadas las limitaciones de tiempo, en este ejercicio solo se cubrirá una porción de la ciudad. El diagrama de flujo-presentado en la Figura 1 ilustra los procedimientos que son necesarios para generar la base de datos espacial requerida en el mapeo de los elementos expuestos a una determinada amenaza (elementos bajo riesgo).

2.1 Digitalización en pantalla de información sobre las edificaciones a partir de una imagen satelital

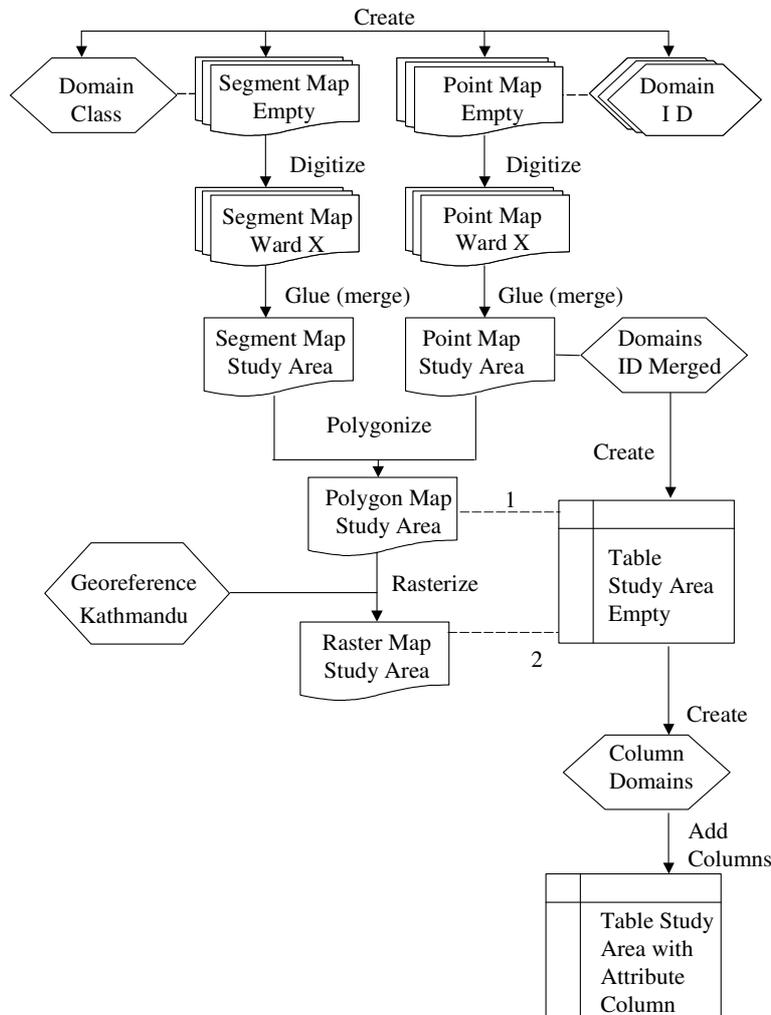


Figure 2.1: diagrama de flujo de las operaciones para el desarrollo de una base de datos espacial utilizada en la cartografía de elementos en riesgo

Tiempo requerido: 2 horas

Objetivos:

- Digitalizar en la pantalla las unidades homogéneas (homogéneo por lo que se refiere al tamaño y modelo de las edificaciones) que pueden identificarse en la imagen del satélite.
- Generar un mapa de segmentos y un mapa de puntos, que se combinarán en la creación de un mapa de polígonos.
- Generar una tabla para almacenar la información que será recolectada en el campo.

Datos necesarios:

- Imagen satelital: **IKONOS_pan** (año 2002), (imagen raster)
- Mapa de vías: **Roadtype** (segmentos)
- Mapa de barrios: **Área-type** (mapa de polígonos y tabla)



- Abra la imagen raster **Ikonos_pan**. revise sus propiedades (seleccionando sus propiedades en el menú File) y asegúrese de que el mapa utiliza la georeferencia **Ikonos**.
- En el menú **Layer** , vaya a **Add Layer** y seleccione el mapa de vías **roadtype** . Repita el mismo procedimiento para agregar el mapa de polígonos **Area-type**, marque *Boundaries Only*, seleccione *Boundary Color* rojo y *Boundary Width* de 2).
- Ahora es posible leer la información sobre los diferentes barrios. Seleccione un barrio para digitalizar. Discuta con el instructor cual debe ser digitalizado (4,5 y 7 son posibles opciones). Asegúrese que usted esta digitalizando un barrio diferente al de sus compañeros, ya que la idea es terminar el ejercicio preparando un mapa único usando las diferentes partes preparadas por cada equipo (o participante)
- El paso siguiente es crear un mapa de segmentos que será utilizado para digitalizar las unidades de “edificaciones homogéneas”. En el menú *File* del mapa, seleccione *Create* , *Segment map*. Denomine el mapa a crear **HomUnitsXX**, donde **XX** se refiere al identificador o número del barrio. Cree un nuevo dominio tipo *class* con el nombre **HomUnitLines**. Observe que si usted trabajando una parte de un barrio, usted debe agregar las iniciales de su nombre a los segmentos creados de tal manera que sea posible distinguirlos de los segmentos creados por otro colega trabajando en otra parte del mismo barrio. (e.g. **LMHomUnitsXX**).
- Cuando el dominio **HomUnitLines** abra agregue dos clases, del menú *Edit* seleccione *Add Item*. Adicione la clase “**Ward boundaries**” (para las fronteras de los barrios), repita el procedimiento y agregue la clase **Homogeneous units** (para las fronteras de las unidades homogéneas). Cierre el dominio, clic OK en la ventana *Create Segment Map* .
- El paso siguiente consiste en digitalizar sobre la pantalla las fronteras de los barrios y de las unidades homogéneas al interior de estos. Dada la resolución de la fotografía aérea disponible, es posible distinguir entre áreas construidas y no construidas. En algunos casos debido a la presencia de ciertos patrones espaciales es posible obtener mayor nivel de detalle en la subdivisión. Asegúrese de no cruzar o ir mas allá del limite del barrio asignado, de esta manera se evitara interferir con el trabajo realizado por otro grupo.



- Cuando haya terminado de digitalizar un segmento, selecciónelo con la herramienta *Select Mode* (la mano) y asigne la clase correcta para dicho segmento. Luego seleccione el icono *Insert Mode* (el lápiz) y digitalice el siguiente segmento o grupo de segmentos.
- Cuando termine de digitalizar los segmentos seleccione el menú *File*, seleccione *Exit Editor* y luego seleccione *Create Point Map*. Denomine el mapa **HomUnitsXX** (o **LMHomUnitsXX**). Cree un nuevo dominio tipo *Class* con el nombre **HomUnitLabelsXX** (o **LMHomUnitsXX**). Cierre el dominio y la ventana *Create Point Map*.
- Digitalice un punto al interior de cada una de las unidades homogéneas utilizando la herramienta *Insert Mode* (el lápiz). Si todavía no ha agregado ninguna clase en el dominio entonces seleccione *new* y entre el nombre del área. Cada uno del puntos debe tener un identificador único: la primera parte corresponde al código de barrio asignado por la municipalidad de Kathmandu, la segunda corresponde aun número secuencial que usted utiliza para identificar cada unidad homogénea (e.g **01-001** o **LM01-001**). Cuando termine de digitalizar los puntos seleccione *File* y luego *Exit Editor*.
- El paso siguiente es poligonizar el mapa de segmentos **HomUnitsXX**. En la ventana del mapa vaya al menú *Edit* seleccione *Edit Layer* y escoja *seg HomUnitsXX* (o *LMHomUnitsXX*). Luego en el menú *File* seleccione la operación *Polygonize* . Seleccione el dominio **HomUnitLines** (o **LMHomUnit**) y escriba como nombre para el mapa de polígonos **HomUnitsXX**. (recuerde que usted realiza este procedimiento para asegurarse de que le entregara a sus compañeros su mapa de segmentos libre de errores de digitalización). Si el programa detecta algún error, este indicara el tipo de error y su localización. Si hay errores en su mapa de segmentos, estos deben ser corregidos. Utilice las herramientas *Select Mode*, *Move Points*, *Insert Mode* y *Split/Merge* para corregir los errores. Cuando termine, en el menú *File* seleccione *Exit Editor*.

La siguiente fase consiste en la generación de un mapa único en cual se integra el trabajo realizado por los diferentes grupos. Para lograr esto usted debe copiar los mapas de segmentos y puntos, creados anteriormente, a un directorio o fólder común y luego copiar los mapas creados por los otros equipos o colegas en el directorio personal. La razón por la cual el mapa de polígonos no es utilizado es que ILWIS puede unir mapas de puntos, segmentos o raster pero no mapas de polígonos.

Es aconsejable no utilizar el explorador de Windows para copiar los mapas creados en ILWIS. La herramienta de ILWIS para copiar archivos es mucho mas conveniente en este caso: usted debe seleccionar el mapa que desea copiar y el programa reconoce automáticamente todos los archivos vinculados con dicho mapa (georeferencia, dominio, representación, tablas, etc.) y los copia al mismo tiempo que copia el archivo principal.



- Asegúrese de copiar los mapas generados por sus colegas en su directorio local: mapas de segmentos y puntos.
- En la ventana principal vaya al menú *Operations* , escoja *Vector Operations* y seleccione *Points* y *Glue maps*. El programa solo permite unir un máximo de 4 mapas a la vez. Seleccione los mapas de puntos que usted desea unir, asigne un nombre al mapa de salida y a su dominio (asegúrese de marcar la opción *New Domain*). Observe que no solo los mapas son unidos, sino que también los identificadores de cada unidad serán unidos en un dominio único. Cuando haya terminado click el botón *Show* para ver los resultados.
- Repita el procedimiento para unir los mapas de segmentos.
- Una vez haya unido todos los mapas de segmentos y los mapas de

puntos puede proceder con la poligonización, para ello repita el procedimiento descrito anteriormente. Otra forma de llevar a cabo esta operación es la siguiente: seleccione el mapa en la ventana principal, presione el botón derecho del mouse, seleccione *vectorize*, *vector to polygons*; en el cuadro de dialogo seleccione el mapa de puntos (el general) como *label points*. Es posible que tanto el mapa de segmentos que usted creó o los creados por sus colegas todavía tengan errores, si esto ocurre usted recibirá un mensaje de error. Usted puede tratar de poligonizar el mapa nuevamente, esta vez seleccionando la opción *Auto Correction*, sin embargo algunos tipos de errores solo pueden ser corregidos manualmente utilizando las herramientas del editor de segmentos. Asigne el nombre **HomUnits** al mapa de salida.

- Luego rasterice el mapa de polígonos. Seleccione el mapa **HomUnits** en la ventana principal. haga clic sobre el mapa con el botón derecho y seleccione *Polygon to Raster*. Seleccione la georeferencia **Kathmandu** y denomine el mapa de salida **HomUnits**.

Usted sabe ahora como distribuir trabajo entre un grupo de interpretes y como preparar un mapa final ensamblando las diferentes partes trabajadas de manera individual. Usted es también conciente de la importancia de definir previamente reglas o procedimientos claros para llevar a cabo el proceso de digitalización de tal manera que se evite la presencia de áreas sin información o problemas de inconsistencia entre los trabajos individuales. En algunos caso, por ejemplo, estos problemas podrían evitarse digitalizando sobre los bordes de las aceras (área peatonal) y no en el centro de la vía. En otros casos, se podría definir digitalizar un poco mas allá del centro de la vía. Este tipo de reglas deben ser definidas con base en los objetivos generales del proyecto, la escala de la fotografía y la resolución de la imagen utilizada. Otro factor que debe ser considerado al definir dichas normas es el tamaño del píxel que será utilizado durante la fase de análisis. Si se decide utilizar un tamaño de píxel grande, algunos de los errores de digitalización serán eliminados en la conversión de polígono a raster.

2.2 Generación de tablas y columnas de atributos (pre-fieldwork)

En la fase anterior se prepararon los mapas de elementos expuestos o bajo riesgo. La fase siguiente consiste en preparar las tablas necesarias para almacenar los atributos de los elementos bajo riesgo.

Tiempo requerido: 1 hora



- En la ventana principal seleccione el mapa raster **HomUnits**, con el botón derecho haga clic sobre este mapa y seleccione *Properties*. Tick sobre *Attribute Table* y seleccione el icono *create table*. Seleccione el dominio del mapa **HomUnits** y denomine la nueva tabla **HomUnits**.
- Después de que la tabla abra, usted puede agregar las columnas relacionadas con la información sobre los diferentes atributos (utilice los nombres sugeridos en la tabla presentada mas adelante para las columnas y los dominios). En el menú *Columns* de la tabla seleccione *Add column*. Llame la primera columna **WardName**. Seleccione el dominio **WardName** (recuerde que este dominio esta en otro fólder). Observe ahora que si usted quiere agregar un valor en uno de los campos, usted puede seleccionar el requerido de una lista de barrios y no tiene que escribir nuevamente dicho nombre.
- Nota: en el caso de que varias personas realicen la recolección de datos en campo y luego estos datos van ser reunidos en una tabla

única, se debe asegurar que cada uno de las personas encargadas de recoger la información utiliza los mismos nombres para las columnas y para los dominios de cada una de ellas.

- Estos formatos pueden entonces ser utilizados en el campo para recoger información sobre los diferentes tipos de edificaciones (o unidades homogéneas).

El mapa raster y la(s) tabla(s) asociadas pueden ser usadas en el campo, con la ayuda de un computador portátil (computador de mano), para capturar la información sobre los diferentes atributos de las unidades homogéneas. ArcPad, de ESRI, es un ejemplo de un paquete de software que permite el uso de las herramientas de un SIG en un computador de bolsillo (portátil).

Tenga presente que si la recolección de datos en el campo es realizada por diferentes equipos, y si durante el trabajo de campo usted decide subdividir un área o revisar un límite, Usted tendrá que hacer ediciones en los mapas individuales (segmentos y puntos) en vez de hacerlo en el mapa final único. Esto implicaría que después del trabajo de campo usted tendría que unir los mapas de segmentos individuales, los mapas de puntos así como las diferentes tablas. Obviamente tendrá que, además, poligonizar y rasterizar de nuevo.

Note que si usted fuera a utilizar este conjunto de datos para hacer las inferencias sobre la densidad de población, usted necesitaría registrar tanto las clases de uso de suelo detalladas (por ejemplo la Escuela Primaria) así como las clases Generales (por ejemplo educacional). Las clases detalladas son importantes para los propósitos de planes de emergencia. La clasificación general podría guardarse en una tabla separada y podría unirse dentro de la tabla principal en caso de ser requerido.

Note que esta sección es solo una demostración. Nosotros no usaremos la base de datos que usted preparó en los próximos ejercicios sobre la valoración de la vulnerabilidad.

Variable	Tipo	Min	Max	Precisión
Barrio	Dominio de clases existente WardName del mapa de polígonos HomUnits	-	-	-
Landuse(uso de suelo)	Dominio de clases "Landuse" (uso de suelos) con las clases siguientes: <ul style="list-style-type: none"> • Residencial • Comercial • Industrial • Educacional • Otra institución • Recreacional • Agricultura • Vacante 	-	-	-
BuildingType (tipo de edificio)	Dominio de clases "Type" (tipo) con las clases siguientes: <ul style="list-style-type: none"> • Madera • Piedra • Unreinforced masonry • Reinforced concrete frame • Concrete shear walls 	-	-	-
Age (edad)	Dominio de Clases "Age" (edad) con las siguientes clases: <ul style="list-style-type: none"> • 0-5 años • 6-10 años • 10-25 años • > 25 años 	-	-	-
NrOfFloors (numero de pisos)	Valor	0	50	1
IncomeGroup (ingresos)	Dominio de clases "IncomeGroup" (ingresos) con las clases: <ul style="list-style-type: none"> • Alto • Moderado • Bajo 	-	-	-

2.3 Digitalización en pantalla del desarrollo urbano visible en la imagen satelital

En este ejercicio se pretende cartografiar los cambios en el desarrollo urbano de una área específica a través de la foto- interpretación de imágenes satelitales multi-temporales (tres periodos diferentes) . Observe que usted puede empezar con la imagen mas antigua (KVR1000) y diseñar su interpretación basado en esta imagen, como también puede hacerlo empezando con la imagen mas reciente. Solo un sector de la ciudad ha sido seleccionado con propósitos del ejercicio.

Tiempo requerido: 1 hora

Objetivos:

- Digitalizar en pantalla las áreas donde se observa desarrollo urbano basado en el análisis de la imagen satelital.
- Generar un mapa de segmentos y un mapa de puntos (etiquetas de los polígonos), que serán usados para crear un mapa de polígonos.

Datos requeridos:

- Imágenes satelitales: **KVR1000** (año 1991), **IKONOS_pan** (año 2002), **Quickbird** (año 2003)



- En la pantalla principal, seleccione la imagen **Quickbird**, con el botón derecho del mouse seleccione *properties*, verifique que el mapa usa la georeferencia **Quickbird**.
- Abra la imagen **Quickbird**. En el menú *File*, seleccione *Create, Segment Map*. Denomine el mapa de salida **Growth** y seleccione el icono *Create domain* para crear un nuevo dominio tipo *Class*. Denomine el nuevo dominio **Growth**. En el editor del dominio, seleccione **Add Item** del menú **Edit** . Escriba **Built-up boundary** para la clase a crear. Cierre el dominio.
- El editor de segmentos se abre. Digitalice (delinee) el perímetro de las áreas urbanizadas. Cuando termine de digitalizar un segmento que se cierra sobre si mismo, seleccione la clase del menú *Edit* que aparece de manera automática. En el caso de segmentos individuales, una vez usted termina de delinearlos selecciónelos con la herramienta *Select Mode* (el lápiz) y asigne el nombre de la clase a la que pertenece. Cuando termine con la digitalización vaya al menú *File* , seleccione *Exit Editor*.
- El paso siguiente es crear el mapa de puntos que será utilizado para asignar las etiquetas a cada uno de los polígonos que serán creados. En el menú *File* seleccione *Create Point Map*. Denomine el mapa de salida **Built_Period** y cree un nuevo dominio *class* seleccionando el icono *Create* . Denomine el nuevo dominio **Built_Period**. En el editor del dominio, del menú *Edit* , seleccione *Add Item* y entre la clase **Built before 1991**. Entre dos clases mas: **Built after 2002** y **Built between 1991 and 2002**. Cierre el dominio y la ventana *Create Point*.
- El editor del mapa de puntos se abre. Digitalice un punto al interior de cada una de las áreas construidas. Seleccione la clase apropiada de las opciones disponibles en el menú. Cuando termine seleccione el menú *File, Exit Editor*. Cierre la ventana.
- En la ventana principal, abra el mapa **Ikonos_pan** y agregue el mapa de segmentos **Growth**. En el menú *Edit*, seleccione *Edit Layer* escoja el mapa **Growth**. Digitalice los segmentos necesarios para delimitar nuevos desarrollos urbanos (no olvide asignar la clase correspondiente). Cuando termine con los segmentos, cree el mapa de puntos correspondiente. Repita el mismo procedimiento para la imagen satelital KVR1000 (año 1991).
- Poligonice el mapa de segmentos resultante y utilice el mapa de puntos para definir los nombres de los polígonos (label points). Si encuentra algún error de digitalización soluciónelo y proceda con la poligonización.

2.4 Base de datos sobre edificaciones para la ciudad (completa)

En la parte final de este ejercicio trabajaremos con la información de uso del suelo y edificaciones existente. A partir de ahora, usted trabajara con la totalidad de la ciudad y no con una pequeña parte. El diagrama de flujo en la Figura 2 ilustra el procedimiento de reclasificación e integración de datos necesarios para completar el ejercicio.

La información disponible es bastante general dado que los barrios son unidades bastante grandes. Sin embargo, el mapa de uso del suelo permite delimitar las áreas al interior de los barrios donde las edificaciones están concentradas, y en consecuencia mejorar la confiabilidad de los resultados. Considerando lo anterior, debido al nivel de detalle y el tamaño de los barrios, se podría argumentar que esta evaluación del riesgo no es adecuada para el nivel urbano (ciudad) sino para un nivel mas general regional o metropolitano.

Tiempo requerido: 1 hora

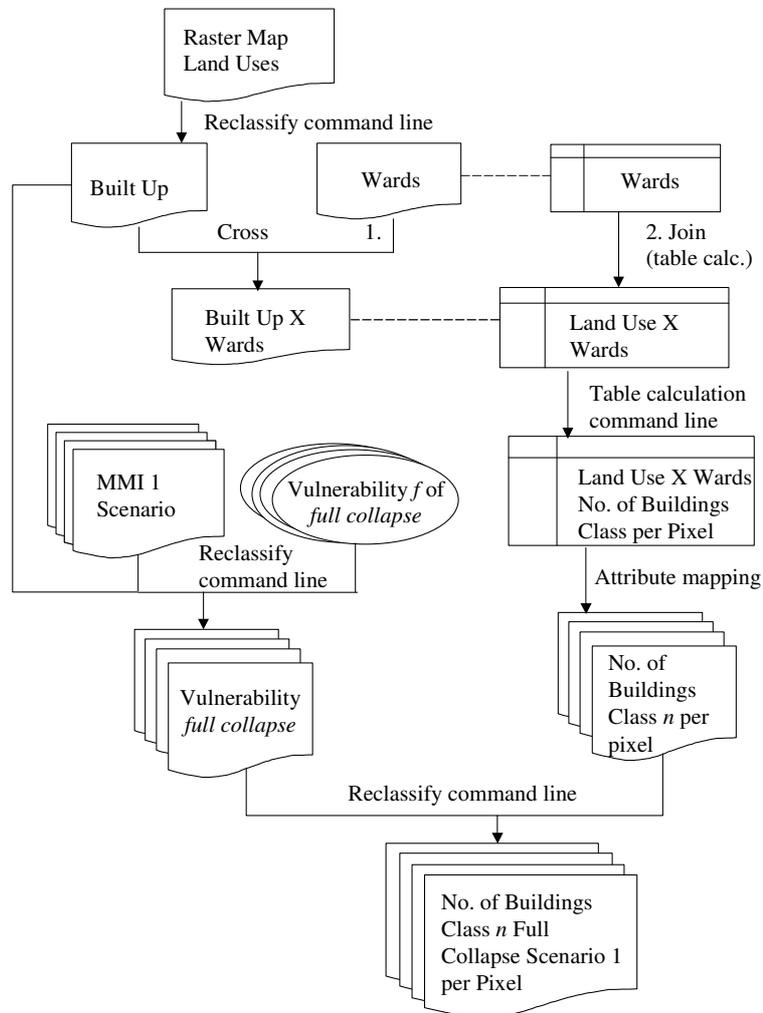


Figure 2: diagrama de flujo del procedimiento de Reclasificación e Integración de datos

Datos requeridos:

- Mapa de usos del suelo: **Land-use** (mapa raster y tabla de atributos asociada)
- Mapa de barrios: **Wards** (mapa raster y tabla de atributos asociada)



- Primero se debe reclasificar el mapa de usos del suelo para extraer los píxeles donde se localizan las edificaciones. En la ventana principal seleccione del menú *File, Create, Table*. Denomine la tabla de salida **Built** y seleccione el dominio *Class LanduseClass*. En la ventana de la tabla seleccione el menú *Columns, Add Column*. Denomine la nueva columna **Built** y seleccione el icono para crear un nuevo dominio. En la ventana *Create Domain* seleccione *Class*, denomine el nuevo dominio **Built**. En el editor del dominio, seleccione *Edit y Add Item*. Agregue solo la clase **Built**. Cierre el dominio y la ventana *Add Column*. Luego, en la tabla **Built**, reclasifique las siguientes usos del suelo con la clases **Built** (dejando los otros como indefinidos?): *airport, commercial, industrial, industrial2, residential, government, institutional y residential*.
- A continuación usted debe importar la columna **Built** en la tabla **Land-use**. Abra la tabla **Land-use** y del menú *Column* seleccione *Join*. Seleccione la tabla **Built** y la columna **Built**. Asigne el mismo nombre **Built** a la nueva columna. Luego cierre la tabla y cree un mapa de atributos a partir de esta nueva columna: seleccione en la ventana principal *Operations, Raster Operations, Attribute Mapping*. denomine el mapa resultante **Built**.

Usted puede ahora eliminar del análisis aquellas áreas donde no hay edificaciones y centrar la atención en las áreas urbanas. Sin embargo, dado que la información disponible sobre edificaciones y sobre población se encuentra a nivel de barrio, es necesario utilizar la operación “cross” utilizando los mapas **Built y Ward**. recuerde que el resultado de la operación “cross” es una tabla y opcionalmente un mapa.



- En la ventana principal seleccione *Operations, Raster Operations, Cross*. Seleccione los mapas **Built y Wards**. Denomine la tabla y el mapa resultante (asegúrese de seleccionar la opción *Output Map*) **BuiltXWards**. Observe que cuando la tabla **BuiltXWards** abre solo contiene tres columnas, una contiene el identificador (un dominio Identifier) del mapa **Ward**, la segunda contiene el identificador (en este caso un dominio class) del mapa **Built** y la tercera muestra el número de píxeles para cada una de las combinaciones posibles.
- Para continuar con el análisis, es necesario importar en esta tabla algunas de las de columnas de atributos de la tabla **Wards**. En la ventana de la tabla seleccione el menú *Columns*, escoja *Join* e importe una por una las siguientes columnas: **Population, Brickmud, Stone, Adobe, Brickmudwall, Brickcement, Rconcretelow y Rconcretehigh**. Utilice los mismos nombres para las columnas creadas en la tabla **BuiltXWards**.

El próximo paso es calcular la cantidad de población y edificaciones (por tipo de edificación) para cada píxel. Si usted no ejecuta esta operación, podría obtener resultados equivocados dado que el tamaño de los barrios varía desde 2.52 hasta 3518 hectáreas!. También se requiere importar (join) el área de cada barrio en la tabla **BuiltXWards**.



- Asegúrese de abrir la tabla **BuiltXWards** . Del menú **Columns**, seleccione *Join*, tabla **Wards**, columna **Area**. Denomine la columna **AreaWards**.
- Convierta los valores a valores por píxel. Escriba en la línea de comando de la tabla la siguiente formula:

$$\text{Population_pp} = (\text{Population} * (\text{Area} / \text{AreaWards})) / \text{Npix}$$

- Ahora es posible crear un mapa de atributos utilizando la columna recién creada. En la ventana principal, seleccione *Operations, Raster Operations, Attribute Mapping*. Seleccione la tabla **BuiltXWards**, y la columna **Population_pp**. Denomine el mapa resultante **Population_pp**.
- Ejecute la misma operación para cada tipo de edificación, por ejemplo:
Stone_pp = (Stone*(Area/AreaWards))/Npix
- Para el tipo de edificación **Rconcretelow**, denomine la columna de salida **Building2_pp** y para **Rconcretehigh**, denomine la columna **Building3_pp**.

Por motivos del análisis de vulnerabilidad, las edificaciones **Stone, Adobe, Brickmud, Brickcement y Brickmudwall** serán reagrupadas en una sola clase. Escriba en la línea de comando de la tabla la siguiente formula:
**Building1=Stone_pp+Adobe_pp+Brickmud_pp+Brickcement_pp+Bri
dmudwall_pp**

Ahora usted dispone de los mapas de atributos de los elementos bajo riesgo (expuestos).

3. Evaluación de la amenaza sísmica

Un método frecuentemente utilizado en la evaluación y mapeo de la amenaza sísmica es la zonificación de la amenaza. Esto significa, la división de un área en sub-áreas que presentan el mismo nivel de amenaza. En general existe dos tipos de zonificación: Macro zonificación y micro zonificación.

Macro zonificación es un método que zonifica la amenaza es una escala pequeña. Usualmente se basa la información sobre recurrencia de los sismos y la magnitud esperada. En este método no se consideran las condiciones locales.

Micro zonificación es un método que zonifica la amenaza a una escala mayor. Esto permite la incorporación de la información sobre las condiciones locales del sitio de interés en la evaluación de la amenaza.

En este ejercicio se utiliza un SIG para la evaluación de la amenaza sísmica usando dos métodos diferentes:

- Un método simple, utilizando la metodología RADIUS, en el cual valores de aceleración máxima del suelo (Peak Ground Acceleration, PGA) son calculados para un evento específico (scenari earthquake), y la amplificación debida al suelo es tratada simplemente utilizando factores de multiplicación. Este método solo brinda una aproximación muy general con respecto a la magnitud de la amenaza
- Un segundo método, en el cual se observa con mayor detalle el espectro de respuesta local y se calcula la frecuencia natural del suelo. Estos valores son utilizados para delimitar áreas susceptibles de experimentar mayores valores de amplificación de la vibración sísmica en frecuencias específicas, las cuales corresponden con las frecuencias naturales de ciertos tipos de edificaciones.

En un proyecto real de micro zonificación sísmica el segundo método debe ser extendido por medio del calculo de los espectros de respuesta para diferentes columnas de suelo, utilizando registros de movimientos fuertes, y descripciones detalladas de las columnas de suelo y sus propiedades. Esto requeriría una cantidad considerable de datos y tiempo, lo cual no es posible de realizar en este caso de estudio. En este ejercicio **no** trataremos en detalle las condiciones geológicas del Valle de Kathmandu. Para este ejercicio es importante saber que el valle de Kathmandu ha sido “rellenado” por depósitos aluviales, lacustres y coluviales. El valle esta rodeado por empinadas vertientes del Himalaya. En general, Ciudades grandes como Kathmandu tienden a ser construidas sobre zonas relativamente planas. Sin muchas excepciones, zonas planas típicamente están asociadas con la presencia de depósitos de suelos (sedimentos blandos). Los mayores daños ocurridos en las edificaciones altas en Ciudad de México en 1985, por ejemplo, fueron debidos principalmente al hecho de que la ciudad ha sido construida sobre una capa muy gruesa de depósitos sedimentarios blandos de origen lacustre.

3.1 Calculo de PGA en roca para Kathmandu utilizando los terremotos del catalogo sísmico.

Objetivo:

- Cálculo de PGA en roca para Kathmandu utilizando los terremotos del catalogo sísmico.

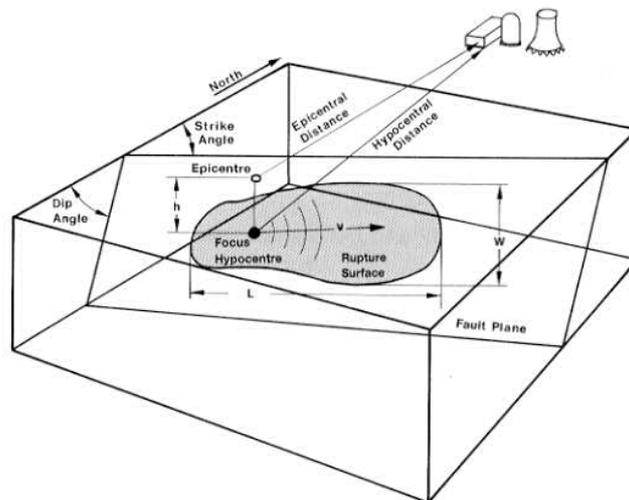
Tiempo requerido: 1 hora

Este ejercicio es la continuación del ejercicio 1, en el cual usted trabajo con la información del catalogo sísmico de Nepal. En este ejercicio usted necesitara el mapa de distancia calculado en el ejercicio número 1.

Datos requeridos:

- Catalogo sísmico de Nepal: Earthquake catalog (mapa de puntos y tabla)
- Mapa de fallas de Nepal : faults (mapa de segmentos)
- Centro de la ciudad de Kathmandu: City Center (mapa de puntos)

Dado que ahora sabemos, para los sismos registrados en el catalogo sísmico, la distancia con respecto a la ciudad de Kathmandu, así como también la magnitud y la profundidad (solo para aquellos para los cuales hay información disponible), es posible hacer el cálculo de la aceleración máxima en roca esperada en Kathmandu como resultado de estos eventos. Los datos de entrada para el cálculo de un escenario sísmico son localización, profundidad, magnitud y tiempo de ocurrencia del evento (hora durante el día o la noche en que sucede el evento) (ver figura)



La relación entre PGA, distancia epicentral o hipocentral y Magnitud puede ser estimada utilizando una función de atenuación. En el método RADIUS, el valor de PGA puede ser calculada utilizando una de las tres formulas de atenuación presentadas a continuación: Joyner & Boore (1981), Campbell (1981) or Fukushima & Tanaka (1990). Ver tabla siguiente para la descripción de las funciones.

Table 3 --- Attenuation Equations		
AttnID	Source	Attenuation Equation
1	Joyner & Boore - 1981	$PGA=10^{(0.249*M-\text{Log}(D)-0.00255*D-1.02)}$, $D=(E^2+7.3^2)^{0.5}$
2	Campbell - 1981	$PGA=0.0185*EXP(1.28*M)*D^{(-1.75)}$, $D=E+0.147*EXP(0.732*M)$
3	Fukushima & Tanaka - 1990	$PGA=(10^{(0.41*M - \text{LOG}10 (R + 0.032 * 10^{(0.41*M)}) - 0.0034*R + 1.30)})/980$
Note:		E----Epicentral distance R----Hypocentral distance

The MMI will be calculated by the formula:
 $\log(PGA*980)=0.30*MMI+0.014$
 or $MMI=1/0.3*(\log10(PGA*980)-0.014)$
 by Trifunac & Brady (1975). PGA unit is G.

En este ejercicio utilizaremos la función de Joyner & Boore – 1981. La formula es:

$$PGA=10^{(0.249*M-\text{Log}(D)-0.00255*D-1.02)}$$

$$D=(E^2+7.3^2)^{0.5} \text{ (distancia hipocentral)}$$

E = Distancia Epicentral

M = Magnitud del sismo

El mapa de distancia fue previamente calculado en el ejercicio 1.

☞

- Abra la tabla `Earthquake catalog`. Calcule una nueva columna llamada `D`, escriba la siguiente formula en la línea de comando:

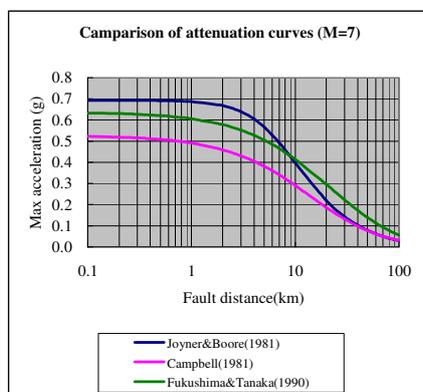
$$D=(\text{distance}^2+7.3^2)^{0.5}$$
- Luego calcule PGA usando la formula:

$$PGA=10^{(0.249*M_{\text{final}}-\text{Log}(D)-0.00255*D-1.02)}$$
- Haga un gráfico y despliegue distancia contra PGA.
- También despliegue los valores de PGA para los eventos sísmicos en el mapa, y agregue el mapa de distancia `Distance`.

Que se puede concluir acerca de los valores de PGA que pueden ser esperados en la ciudad de Katmandú, según los cálculos basados en el catalogo sísmico?

Son estos valores realistas?

Que se puede concluir acerca de la integridad del catalogo.....



3.2 Generando mapas de PGA para la ciudad de Kathmandu

Tiempo requerido: 2 horas

Objetivos:

- Seleccionar un escenario sísmico, para el cual serán calculados valores de PGA in roca
- Usar la información sobre formaciones superficiales para definir los rangos de amplificación asociadas a condiciones locales del suelo
- Generar el mapa de PGA para la ciudad
- Evaluar la posibilidad de la ocurrencia de deslizamientos asociados al movimiento telúrico
- Evaluar la posibilidad de licuefacción

Datos requeridos:

- Mapa geológico: `Geological units` (mapa de polígonos)
- Mapa de deslizamientos: `Landslides` (mapa de polígonos)
- Profundidad del nivel freático: `Watertable` (mapa de segmentos)
- Modelo de elevación digital del terreno: `Elevation` (mapa raster)

Además del catalogo sísmico (el cual es incompleto), podemos utilizar otras fuentes de información, específicamente resultados del Programa de Evaluación Global de la Amenaza Sísmica (Global Seismic Hazard Assessment Program, GSHAP). El Programa de Evaluación Global de la Amenaza Sísmica fue lanzado en 1992 por el Programa Internacional para La Litosfera (International Lithosphere Program, ILP) con el apoyo del International Council of Scientific Unions (ICSU), y presentado como un programa piloto en el marco del Decenio Internacional Para la Reducción de Desastres Naturales auspiciado por la Naciones Unidas (International Decade for Natural Disaster Reduction, UN/IDNDR). Con el propósito de mitigar el riesgo asociado con la recurrencia de terremotos, el GSHAP promueve un enfoque homogéneo, coordinado regionalmente para la evaluación de la amenaza sísmica. Los beneficios del programa se traducirían en una evaluación mas confiable de la amenaza sísmica nacional y regional, la cual seria utilizada por los encargados de la toma de decisiones e ingenieros en la formulación de los planes de uso del suelo y en diseño y construcción de edificaciones mas seguras.

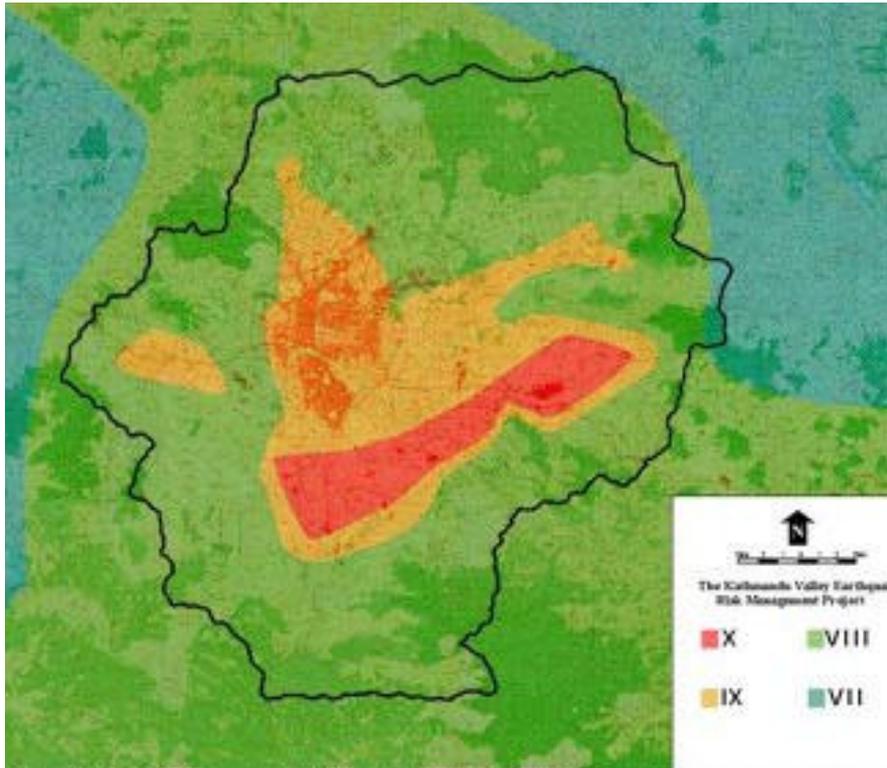
Reportes regionales, reportes anuales del GSHAP, compendios y mapas de sismicidad, zonas fuentes y amenaza sísmica se encuentran disponibles en la página web del GSHAP <http://seismo.ethz.ch/GSHAP/>. Este reporte sintetiza los desarrollos, las actividades regionales y los logros del GSHAP.

India-Nepal-Tibet es una de la regiones que fue incluida en el GSHAP. En esta región ochenta y seis (86) zonas con potencialidad de generar sismos fueron delineadas con base en los mayores rasgos tectónicos y las tendencia sísmicas observadas (registro histórico). Usando el modelo probabilístico para la evaluación de la amenaza sísmica de McGuire, adoptado por el GSHAP, las aceleraciones máximas del suelo (PGA) fueron calculadas para un 10 % probabilidad de excedencia en 50 años, en áreas definidas por una grid de $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$. Dado que para la región Indú no hay disponibles estimaciones confiables para los valores de atenuación, se decidió utilizar la función de atenuación de Joyner and Boore (1981). Los valores de PGA sobre la grid fueron delineados para obtener un mapa de amenaza sísmica. De acuerdo con el mapa de amenaza, la mayor parte del borde norte de la placa India y la región de la meseta Tibetana tienen niveles de amenaza del orden de 0.25g con valores significativamente mayores del orden de 0.35-0.4g en las zonas sísmicas mas activas. Basado en la información del GSHAP, la zona fuente 86 Kathmandu esta caracterizada por una PGA de 0.25 g con 10% probabilidad de excedencia en 50 años, correspondiendo con un periodo de retorno de 475 años. La magnitud máxima en la zona es: 8.5 .

El terremoto ocurrido en 1934 fue de una magnitud 8.4, muy cercana al máximo posible.

El trabajo de NSET para el KVERMP indica que el terremoto de 1934 alcanzó intensidades de hasta 10 en Kathmandu, lo cual corresponde a valores de PGA del orden de 0.9 a 1.0 g. Lo que solo puede ser explicado como el resultado de una intensa amplificación debida a las condiciones locales del suelo y licuefacción.

Figura: Mapa de intensidad sísmica, evento sísmico de 1934 en Kathmandu, reconstruido por NSET.



En este ejercicio calcularemos el valor de PGA utilizando un sismo de magnitud 8.5 localizado a una distancia de 50 kilómetros de la ciudad.



- Calcule el valor correspondiente de PGA para este escenario, usando la siguiente fórmula :

$$D = (\text{distance}^2 + 7.3^2)^{0.5}$$

$$PGA = 10^{(0.249 * M - \text{Log}(D) - 0.00255 * D - 1.02)}$$

- Para realizar el cálculo utilice la función de calculadora disponible en la línea de comando del ILWIS. Recuerde que el valor $d=50$ km debe ser convertido a metros. La magnitud M es igual a 8.5. el resultado de la operación no es un mapa sino el valor de PGA esperado en el centro de Katmandú para el sismo escogido. Escriba en la línea de comando:

$$? PGA = 10^{(0.249 * M - \text{Log}(D) - 0.00255 * D - 1.02)}$$

- Este valor de PGA en conformidad con una intensidad de VII a X (ver 3.3). Discuta que podría causar la diferencia.
- Cierre el mapa y la tabla.

3.2.1 Amplificación del suelo

La amplificación relacionada con condiciones locales del suelo es calculada utilizando los resultados obtenidos en los pasos anteriores, combinados con un mapa simple de tipos de suelos. Para cada tipo de suelo un valor general de amplificación obtenido de la tabla presentada mas abajo será utilizado (los valores corresponden al método RADIUS). Usted podría decidir adaptar estos valores, basado en conocimientos específicos del grupo de trabajo

Tabla --- tipo de suelo		
Código	Descripción	Factor de amplificación
0	Sin información (unknown)	1.00
1	Roca dura (Hard Rock)	0.55
2	Roca blanda (Soft Rock)	0.70
3	Suelo medio (Medium Soil)	1.00
4	Suelo blando (Soft Soil)	1.30

Información sobre suelo puede ser obtenida del mapa geológico (llamado Geological units).



- Rasterice el mapa Geological units. Use la misma georeferencia que utiliza el mapa Elevation.
- Cree una tabla de atributos para el mapa, y agregue una columna para los valores de amplificación.
- Determine para cada tipo de unidad litológica el valor de amplificación utilizando la tabla presentada arriba
- Reclasifique las unidades geológicas utilizando los factores de amplificación, llame el mapa: Amplification factor
- Multiplique el mapa de amplificación con el valor de PGA que usted obtuvo en el paso anterior. Llame el mapa : PGA

Nota:

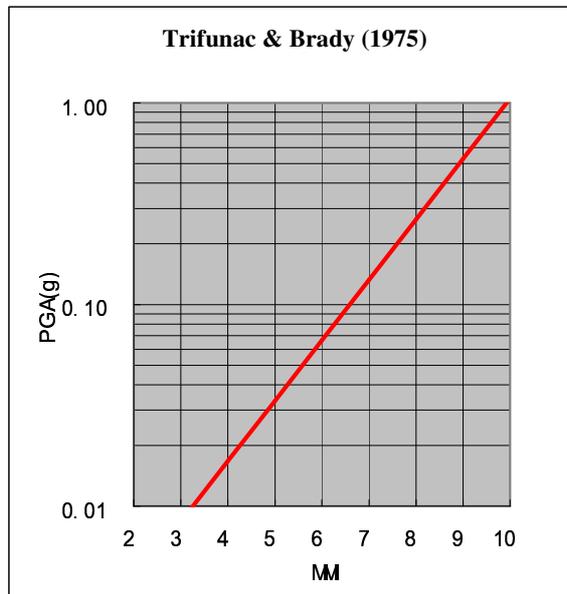
Debe señalarse que este método es una simplificación y que presenta importantes limitaciones:

- La aceleración sísmica no debe ser presentada como un único valor de PGA, porque la frecuencia natural para las edificaciones con distinto numero de pisos, debe ser relacionada con aceleraciones en dichas frecuencias específicas, como condición para causar resonancia de la edificación. Como regla general, la frecuencia para la resonancia de la edificación puede ser calculada con la formula: $f = 10/N$ (donde N = número de pisos). En consecuencia espectros de respuesta deben ser utilizados en lugar de un simple valor de PGA.
- Los factores de amplificación presentados en la tabla son solo una aproximación general. Además del tipo de material, la profundidad del suelo juega un papel muy importante en la amplificación. Sin embargo, no se disponía de información sobre la profundidad del suelo para Kathmandu, aunque uno de los datos disponibles era el mapa de perforaciones, este no estaba acompañado de información sobre profundidad de los depósitos.

3.2.2 Convirtiendo PGA en MMI

Para convertir los valores de aceleración máxima del suelo (PGA) a valores en la escala Modificada de Mercali (Modified Mercalli Intensity, MMI), la función general de Trifunac & Brady (1975) es utilizada:

$$MMI=1/0.3*(\log_{10}(PGA*980)-0.014)$$



- Escriba la fórmula presentada arriba para convertir PGA a MMI. Utilice la línea de comando (Mapcalc). Utilice el mapa PGA calculado anteriormente. Llame el mapa: MMI

$$MMI=1/0.3*(\log_{10}(PGA*980)-0.014)$$

- Clasifique el mapa MMI en clases usando una unidad (1) como intervalo de clasificación (e.g. de 0.01 - 1.01 será la clase 1, etc). (slicing operation)

Note:

De acuerdo con la figura, una Intensidad de 10 (MMI) se corresponde con un valor 1 de PGA; que es un valor muy alto de PGA (PGA esta dado en términos de porcentaje de aceleración del valor de la gravedad).

3.3 Micro zonificación sísmica utilizando el espesor de la cobertura de suelo: Kathmandu, Nepal

Tiempo requerido: 2 horas

Objetivos:

- Calcular la frecuencia natural del suelo en el valle de Kathmandu
- Relacionar dicha frecuencia con la frecuencia natural de edificaciones
- Preparar una zonificación para diferentes rangos de altitud de las edificaciones

Datos requeridos:

- Mapa de espesor del suelo: *Soilthickness* (mapa raster)

Un factor muy importante en la respuesta del suelo ante un evento sísmico es el espesor de la cobertura de suelo (blando). Coberturas de suelo (sedimentos) blando presentan una frecuencia natural específica que depende principalmente de sus propiedades internas (rigidez and strength) y de su espesor. Fuertes movimientos del suelo en la superficie son a menudo observados como resultado de que el suelo empieza resonar con su frecuencia natural bajo el efecto de un sismo.

Este ejercicio demuestra como el espesor del suelo o de la formación superficial puede ser utilizado para la delimitación de áreas que experimentarían fuertes amplificaciones (de la vibración sísmica) en frecuencias específicas, las cuales pueden corresponder con las frecuencias naturales de cierto tipo de edificaciones. De esta forma se puede obtener un mapa de micro zonificación sísmica para diferentes tipos de edificaciones, principalmente basado en el mapa de espesores de las formaciones superficiales.

3.2.1 Aspectos teóricos

3.2.1.1 Efectos del suelo no consolidados (“blando”)

En su trayecto desde el hipocentro (fuente sísmica) hacia la superficie, en la primera parte de este recorrido las ondas sísmicas viajan a través de rocas. La parte final, generalmente no mayor de varias decenas de metros, se realiza a través de los suelos (sedimentos) que cubren el basamento rocoso. Fue reconocido en la antigüedad por los científicos Griegos (350 BC) que el suelo blando (depósitos no consolidados) vibra de manera más intensa que la roca dura.

Los incrementos de intensidad causados por este efecto pueden representar algunas veces hasta 2 a 3 grados en la Escala Modificada de Mercalli, MMI (Bard, 1994). Debido a que gran parte de las áreas urbanizadas están a menudo localizadas a lo largo o cerca de suelos fértiles, generalmente de origen aluvial o volcánico, este tipo de efectos locales es de gran importancia en la evaluación de la amenaza sísmica a nivel mundial.

3.2.1.2 Amplificación en suelos no consolidados (blandos)

El principal fenómeno responsable por la amplificación del movimiento en sedimentos blandos es el confinamiento (entrapment) de las ondas sísmicas centrales o corporales (body waves) en los materiales suaves. Esto es causado por el contraste

de impedancia que existe entre los sedimentos suaves y el basamento rocoso. La impedancia de un material es definida como:

$$I = V_s \cdot \gamma \quad [1]$$

Donde:

- I = Impedancia, en $\text{kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$
- V_s = Velocidad onda cortante, en m/s
- γ = Densidad de masa, en kg/m^3

La Velocidad de onda cortante es un parámetro del suelo muy importante en ingeniería sísmica. Intuitivamente, uno puede entender que un cuerpo muy fuerte o un suelo rígido (o un suelo con una velocidad de onda cortante alta) se comporta de manera diferente bajo la vibración causada por un terremoto. La velocidad de onda es dependiente del modulo de esfuerzo cortante máximo. El modulo cortante puede ser determinado en condiciones de laboratorio. Varias relaciones teóricas y empíricas existen para relacionar velocidad de onda de corte con el modulo cortante.

$$G_{\max} = \gamma \cdot V_s^2 \quad [2]$$

Donde:

- γ = Densidad de masa (kg/m^3)
- V_s = Velocidad onda cortante (m/s)

El contraste en impedancia determina la cantidad de energía de la onda que es reflejada cuando la onda sísmica pasa una frontera entre dos capas y se produce un cambio de propiedades del material. Esto es expresado por la ecuación de Zoeppritz' (Drijkoningen, 2000):

$$R = \frac{I_2 - I_1}{I_2 + I_1}$$

[3]

R es el coeficiente de reflexión

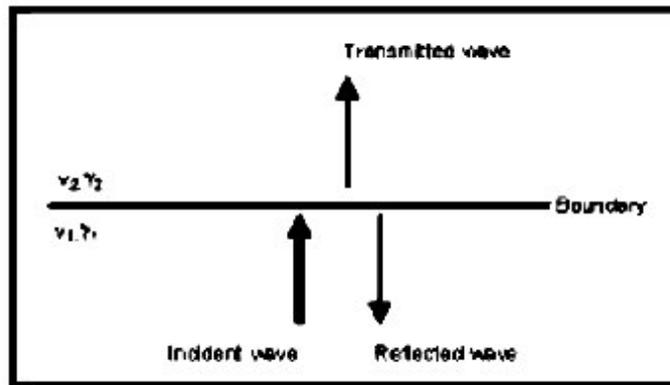


Figura 3.2.1. Energía transmitida y reflejada en la interfase entre dos capas (Adaptado de Drijkoningen, 2000)

Usando algunos valores estándar para roca ($\gamma=2700 \text{ kgm}^{-3}$, $V_s=1000 \text{ ms}^{-1}$) y suelo ($\gamma=1750 \text{ kgm}^{-3}$, $V_s= 1000 \text{ ms}^{-1}$), se puede concluir que cuando una onda pasa del basamento rocoso a los sedimentos blandos, aproximadamente el 50% de la energía de la onda es reflejada. En la superficie, toda la energía es reflejada porque en el aire la velocidad de onda cortante V_s es cero.

Además del confinamiento (entrapment), también se presentara interferencia de las ondas. Independiente de la onda inicial, la ondas reflejadas también se convierten en fuentes de movimiento. Si consideramos una estructura de capas horizontales, el problema se simplifica a una sola dimensión, incorporando únicamente las ondas de cuerpo atrapadas (the trapping waves) que viajan hacia arriba y hacia abajo en las capas blandas superficiales. Cuando se presentan discontinuidades laterales en la

estructura, las ondas superficiales son también influenciadas, creando situaciones muy complejas.

Ondas confinadas (Trapped waves) interfieren, causando amplificación del movimiento y patrones de resonancia. Resonancia ocurre cuando los picos de las ondas coinciden, trayendo como resultado una adición de las amplitudes y una mayor amplitud para el movimiento causado por las ondas. Resonancia no ocurre en una frecuencia específica sino en varias, resultando en patrones específicos de acuerdo a las características del sitio y de los materiales. La explicación matemática es presentada a continuación (tomado de Kramer, 1996):

El espectro de resonancia para un suelo uniformemente amortiguado sobre roca rígida se parecerá al presentado en la Figura 3.3.2.

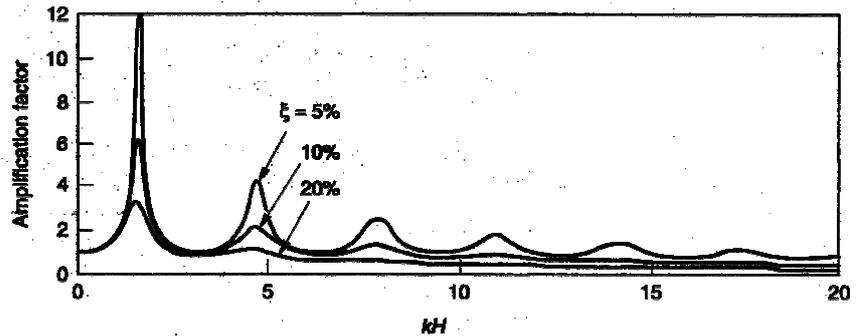


Figure 3.3.2. Espectro de resonancia para suelos uniformemente amortiguados sobre roca rígida (Kramer, 1996).

Mientras que la amplitud varía con la amortiguación, no sucede lo mismo con las frecuencias naturales. Las frecuencias naturales de un depósito de suelo están dadas por:

:

$$f_0 = \frac{V_s}{4H} \quad (\text{fundamental}) \quad [3]$$

$$f_n = (2 \cdot n + 1) \cdot f_0 \quad (\text{harmonics}) \quad [4]$$

donde:

f_0, f_n = frecuencia para el primer y n-th pico, en Hz

V_s = velocidad de onda de corte, en ms⁻¹

H = espesor de la capa de suelo, en m

Como puede ser observado en la Figura 3.3.2, los picos de amplificación rápidamente decrecen en tamaño debido al amortiguamiento. Por esta razón, la amplificación más importante ocurre en la frecuencia fundamental. La frecuencia fundamental o el asociado periodo característico del sitio (*characteristic site period*) suministra una indicación muy valiosa sobre la frecuencia o periodo de vibración para el cual puede ser esperada la amplificación más importante.

3.3.1.3 Movimiento superficial

A su llegada a la superficie, las ondas sísmicas causan un movimiento vibratorio de esta superficie. El aspecto más importante de este movimiento es la aceleración. Cuando una estructura es sometida a cierta aceleración, el resultado es una fuerza actuando sobre dicha estructura. El comportamiento físico detrás de este fenómeno

puede ser explicado de manera simplificada utilizando la segunda ley de movimiento de Newton:

$$F = m \cdot a \quad [5]$$

Donde:

F = Fuerza, en Newtons
 m = Masa del objeto, en kg
 a = Aceleración actuando sobre el objeto, en m/s^2

Dado que la masa del objeto permanece constante, la fuerza ejercida sobre el objeto es directamente proporcional a la aceleración, convirtiendo este factor en el más importante en un estudio de micro zonificación.

Además de la aceleración, la frecuencia en la cual ella ocurre es otra propiedad del movimiento superficial de gran interés en la generación del daño estructural. Cada objeto posee su propia frecuencia natural (f_N , principalmente determinada por su rigidez (k) y masa (M)). La relación es presentada en la siguiente ecuación:

$$f_N = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{M}} \quad [6]$$

En términos generales, una edificación alta es menos rígida (más flexible) que una edificación pequeña, también un edificio alto es generalmente más pesado que uno pequeño. Intuitivamente, pero también considerando la ecuación previa, es posible decir que en general edificaciones altas tienen una frecuencia natural menor en comparación con edificaciones pequeñas.

La determinación exacta de la frecuencia típica de un objeto es asunto complejo, y en consecuencia the International Conference of Building Officials ha publicado una serie de reglas generales para su cálculo. La más comúnmente usada, aunque originalmente diseñada para moment frames y no para edificaciones de concreto y mampostería, es:

$$T = 0.1 \cdot N \quad \text{o} \quad f_N = \frac{10}{N} \quad (\text{Day, 2001}) \quad [7]$$

en la cual N representa el número de pisos de una edificación. T y f_N representan el periodo en segundos y la frecuencia natural en Hertz, respectivamente.

3.3.1.4 análisis del espectro de respuesta

Como ha sido mencionado, la frecuencia a la cual cierta aceleración ocurre es un factor muy importante en el análisis del movimiento superficial. Para obtener una idea clara sobre la amenaza sísmica causada por el movimiento superficial, la respuesta superficial puede ser plotada contra la frecuencia, generando un gráfico como el ilustrado en la figura 3.3.3.

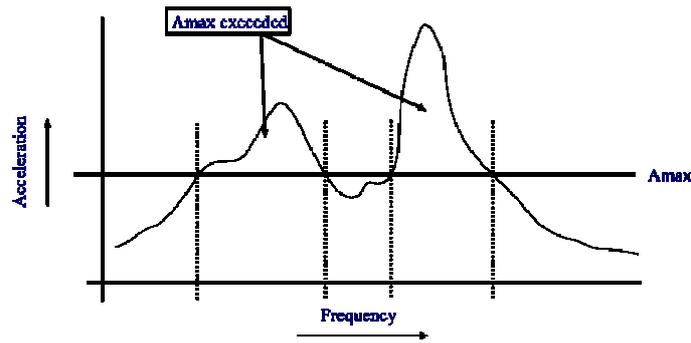


Figura 3.3.3 Dependencia de la Frecuencia con respecto a la aceleración espectral combinado con la máxima aceleración soportable por una edificación.

Como puede observarse en la figura 3.3.3, el riesgo de colapso de una edificación capaz de soportar aceleraciones de hasta A_{max} depende de la frecuencia en la que ocurre la vibración. El espectro de respuesta es de tal importancia, que es generalmente el elemento clave en cualquier estudio de micro zonificación.

3.3.2 Cálculo de la respuesta en superficie y amenaza sísmica

3.3.2.1 Cálculo del período característico local de las formaciones superficiales.

En esta parte se evaluará el periodo característico local basado en la utilización del mapa de espesor del suelo (formaciones superficiales) y asumiendo algunas propiedades de los materiales (suelo, sedimentos).



- Calcule utilizando el MapCalc (línea de comando) el *periodo característico del sitio* para el mapa de espesor de la cobertura superficial ($Soilthick$). Considere 2 condiciones diferentes del suelo de acuerdo con la ecuación 3:

$$f_0 = \frac{V_s}{4H}$$

- Calcule un mapa raster T250 con el periodo característico local para una velocidad promedio de la onda de corte de $(V_s) = 250$ m/s (suelo blando).
- Calcule un mapa raster T500 con el periodo característico local para una velocidad promedio de la onda de corte de $(V_s) = 500$ m/s (suelo rígido)
- Analice cual es la diferencia de estos dos mapas de periodo local en términos de la amenaza para los diferentes tipos de edificaciones, i.e. edificios altos vs. Edificios bajos?

3.3.2.2 Clasificación del periodo característico local en un mapa de zonificación de la amenaza

Si el periodo natural de una edificación corresponde con el periodo natural del suelo (formación superficial) en el cual esta localizado, hay una amenaza potencial de que dicha edificación experimentara daños severos. Esto es debido a las grandes aceleraciones resultantes de la resonancia del suelo. De manera especial en el valle de Katmandú, la resonancia del suelo es probable de ocurrir debido al confinamiento (entrapment) de las ondas sísmicas en el valle por ocurrencia del fenómeno de reflexión múltiple en los bordes de la cuenca.



- sobre la base de la ecuación 7, llene la tabla que encuentra mas abajo, con las correspondientes frecuencias naturales y periodos de los 5 diferentes tipos de edificaciones.
- Cree un dominio clase (class domain) (Building class) utilizando esta tabla como referencia
- Re-clasifique los mapas T250 y T500 (use la operación *Slicing*) y asigne los nombres T250_class y T500_class, respectivamente (ambos son mapas raster).

Tabla 1

Tipo de edificio	N _{max} No pisos	Descripción	Periodo Natural (s)	Frecuencia Natural (Hz)
I	2	Casas unifamiliares		
II	5	Oficinas, edificios de apartamentos		
III	10	Centros comerciales, hospitales		
IV	20	Edificaciones altas		
V	100	Rascacielos		



- Compare los dos mapas obtenidos. Es esto lo que usted esperaba? Cuales son sus conclusiones?
- Que tipo de información adicional se requeriría para preparar una evaluación del riesgo basado en esta zonificación de la amenaza?

Referencias

- Bard, P. 1994. Local effects of strong ground motion: Basic physical phenomena and estimation methods for microzoning studies. Laboratoire Central de Ponts-et-Chausees and Observatoire de Grenoble.
- Day, R.W. 2001. Geotechnical Earthquake Engineering Handbook. McGraw-Hill, 700 pp.
- Kramer, S.L. 1996. Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey 07458. 653 pp.

4. Evaluación de la vulnerabilidad sísmica

Después de haber trabajado en la evaluación de la amenaza sísmica en el ejercicio anterior, nos centraremos ahora en la evaluación de vulnerabilidad con respecto a sismos.

La vulnerabilidad es definida como el grado de daño esperado para un determinado elemento (edificaciones, infraestructura, población, etc) expuesto a una amenaza específica (e.g . sismos, inundaciones) con una cierta intensidad. La vulnerabilidad es expresada con una escala que varía entre 0 (no daño) hasta 1 (pérdida total); o en términos de porcentaje de la pérdida esperada. La vulnerabilidad es una función de la intensidad de la amenaza (en este caso intensidad del sismo) y las características de los elementos expuestos (en este caso tipo y altura de la edificación).

Observe que por limitaciones de tiempo, en este ejercicio solo se trabaja con base en un único escenario sísmico (sismo de 1934) pero en teoría podríamos evaluar varios escenarios sísmicos.

Utilizaremos un mapa de intensidades sísmicas de un sismo similar al de 1934, el cual fue preparado por el proyecto JICA en Kathmandu.

Ver también: <http://www.jica-eqdm-ktm.org.np>

4.1 Definición de la función de vulnerabilidad para las edificaciones

Objetivo:

- El nivel de vulnerabilidad de cada píxel, de acuerdo con los diferentes tipos de edificaciones, será evaluado para 7 “condiciones de daño” sobre la base de los niveles de intensidad del sismo de 1934 .

Datos requeridos:

- Datos sobre daños: ATC-13 (dado en porcentaje de daño)

Tiempo requerido: 1 hora

Esta parte del ejercicio trata de la generación de las funciones de vulnerabilidad para cada tipo de edificación. Las funciones se definen de acuerdo con 7 niveles de daño, que varían desde daños menores hasta colapso total. La razón por la cual esta subdivisión es necesaria es que esta constituye la base para estimar el número esperado de víctimas. Otra razón es que permite inferir la cantidad de personas que requerirían refugio temporal y la cantidad y tipo de personal requerido en las diferentes actividades durante la emergencia.

En la tabla presentada a continuación se indica el porcentaje de daño esperado para diferentes edificaciones y distintos niveles de intensidad según la Escala Modificada de Mercalli. Esta clasificación es derivada del ATC (Applied Technology Council, Consejo de Tecnología Aplicada). Mayor información: www.atcouncil.org

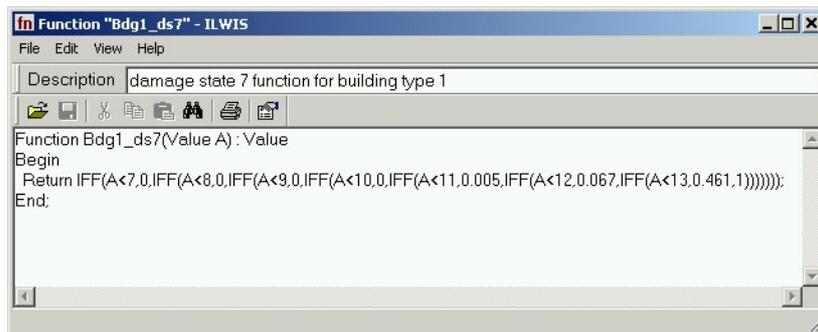
Damage State	Central Mean Damage	Modified Mercalli Intensity Scale (MMI)							
		6	7	8	9	10	11	12	
Building Type 1									
1 (Slight)		0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.5	9.1	0.6	0	0	0	0	0	0
3	5	90.5	55.5	10.9	0.5	0	0	0	0
4	20	0.4	43.4	66	22.4	2	0.1	0.1	
5	45	0	0.5	22.9	65.9	35	10.1	3.4	
6	80	0	0	0.2	11.2	62.5	83.1	50.4	
7 (Total collapse)	100	0	0	0	0	0.5	6.7	46.1	
Building Type 2									
1	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0
2	0.5	41	2.8	0.6	0	0	0	0	0
3	5	58.7	97	91.2	46.7	9	0	0	0
4	20	0	0.2	8.2	53.3	89.3	60.6	20.3	
5	45	0	0	0	0	1.7	39.4	79.3	
6	80	0	0	0	0	0	0	0.4	
7	100	0	0	0	0	0	0	0	0
Building Type 3									
1	0	2.5	0	0	0	0	0	0	0
2	0.5	95.8	23.7	0.6	0	0	0	0	0
3	5	1.7	76.3	99	63.2	7.3	0.1	0	
4	20	0	0	0.4	36.8	90.4	74.3	3.8	
5	45	0	0	0	0	2.3	25.6	95.7	
6	80	0	0	0	0	0	0	0.5	
7	100	0	0	0	0	0	0	0	0



- En la ventana principal seleccione *File, Create, Function*. Denomine la función **Bdg1_ds1**. Copie la siguiente expresión en la ventana de dialogo:

IFF(A<7,0,IFF(A<8,0,IFF(A<9,0,IFF(A<10,0,IFF(A<11,0,IFF(A<12,0,IFF(A<13,0,1))))))))

- La figura en la parte inferior ilustra la forma como esta expresión es almacenada en ILWIS.



- A continuación prepare la función para el caso de colapso total (nivel de daño 7) para el mismo tipo de edificación con la siguiente formula (denomine la función **Bdg1_ds7**)

IFF(A<7,0,IFF(A<8,0,IFF(A<9,0,IFF(A<10,0,IFF(A<11,0.005,IFF(A<12,0.067,IFF(A<13,0.461,1))))))))

- Analice la información suministrada en la tabla de daños. Dado que usted debe generar las cinco (5) funciones restantes para el tipo de edificación 1, además de las siete (7) funciones para las edificaciones tipo 2 y 3, podría considerar la opción de distribuir el trabajo entre los participantes del taller. Definan “quien” prepara “cuales” funciones, una vez hayan terminado pueden copiar todas las funciones en un directorio de la red, de la manera que todos puedan acceder a ellas.

4.2 Mapa de vulnerabilidad (Vulnerability mapping)

Objetivo:

- Aplicar las funciones de vulnerabilidad basadas en el mapa de intensidad sísmica (para cada tipo de edificación y para cada nivel de daño)
- Generar mapas de vulnerabilidad.

Datos requeridos:

- Mapa de intensidad sísmica: **mmi1934** (mapa raster)
- Mapa de áreas construidas: **Built** (mapa raster)
- Funciones de vulnerabilidad: **Bdg1_ds2** hasta **Bdg1ds6**, **Bdg2_ds1** hasta **Bdg2_ds4** y **Bdg3_ds1** hasta **Bdg3_ds4** (funciones)

Tiempo requerido: 2 horas

En esta parte del ejercicio usted aplicara las funciones de vulnerabilidad de acuerdo con el mapa de intensidad sísmica (para cada tipo de edificación y para cada nivel de daño). Por lo tanto, en teoría usted debe producir 27 mapas. Sin embargo, si el porcentaje de daño es 0 para el “nivel de daño” que esta evaluando, no es necesario generar un mapa para dicho estado. Por ejemplo, si los valores de MMI en el mapa son mayores de 6 y menores de 10, no es necesario preparar los estados de daño 1 y 7 para las edificaciones tipo 1. Analice la tabla y defina cuales mapas deben ser generados y cuales pueden ser eliminados.



- En la línea de comando de la ventana principal, escriba lo siguiente:

F_bdg1_ds2=IFF(Built='built',bdg1_ds2(mmi1934),0)

- Haga lo mismo para los otros. Usted puede considerar la opción de crear una función que le permita de manera ágil utilizar dicha formula.

La formula usada puede ser interpretada de la siguiente manera: “Si” el valor de los píxeles en el mapa “**Built**” es igual a “**built**”, aplique la función **bdg1_ds2** a los valores de los píxeles del mapa **mmi1934**, en caso contrario asigne el valor **0**.

5. Evaluación del Riesgo Sísmico

En los ejercicios previos usted ha trabajado con algunos de los métodos utilizados en la evaluación de la amenaza sísmica y ha preparado un análisis simple de vulnerabilidad para diferentes tipos de edificaciones.

En este ejercicio la evaluación de la amenaza y vulnerabilidad serán combinados con el propósito de preparar una estimación de pérdidas para uno o varios escenarios específicos. La evaluación completa del riesgo está fuera del alcance de este ejercicio. El Riesgo es definido como la estimación del número de personas muertas, personas heridas, daños a las propiedades e infraestructura y la interrupción de las actividades económicas debidas a la ocurrencia de fenómeno específico de origen natural o de origen antrópico. El riesgo se define en función de la amenaza natural (H, Probabilidad), la vulnerabilidad (V) y los costos de recuperación (C).

$$R = H * V * C$$

En este ejercicio nos concentraremos solo en la estimación de las pérdidas esperadas para las edificaciones y en el número estimado de víctimas (heridos y muertes). La primera parte del ejercicio se refiere a la integración de los mapas de vulnerabilidad y los mapas de elementos expuestos (en riesgo)

Observe que debido a las limitaciones de tiempo en este ejercicio solo se considera un escenario sísmico (sismo de 1934). Sin embargo en teoría es posible realizar un análisis considerando múltiples escenarios sísmicos.

El mapa de intensidades sísmicas utilizado en el ejercicio es similar al producido por el sismo de 1934, este mapa fue preparado por el proyecto JICA en Kathmandu.

Ver también: <http://www.jica-eqdm-ktm.org.np>

5.1 Evaluación del riesgo de las edificaciones

Objetivos:

- El producto intermedio obtenido son un conjunto de mapas, los cuales describen el número de edificaciones afectadas por unidad de análisis (píxel, en este caso equivale a 1 hectárea) para cada “nivel de daños”. Este resultado permite calcular el número esperado de víctimas, dado que estas dependen del nivel de daño de las edificaciones.
- Finalmente, es posible combinar los mapas individuales en un solo mapa para obtener el número total de edificaciones afectadas por unidad de análisis (píxel en este caso).

Datos requeridos:

- Mapa de elementos expuestos (en riesgo): **Building1_pp**, **Building2_pp** y **Building3_pp** (mapas raster)
- Datos sobre vulnerabilidad: funciones **f_Bdg1_ds2 - f_Bdg1ds6**, **f_Bdg2_ds1 - f_Bdg2_ds4** y **f_Bdg3_ds1 - f_Bdg3_ds4**

Tiempo requerido: 1.5 horas

Este ejercicio continúa con el trabajo realizado en el ejercicio 5 (Vulnerabilidad sísmica). En dicho ejercicio usted trabajó con los datos del catálogo sísmico de

Nepal. El mapa de distancia calculado en el ejercicio número 5 es requerido para continuar con esta parte de la evaluación.

☞

- En la ventana principal, escriba la siguiente fórmula en la línea de comando. La fórmula permite obtener el número de edificaciones con un nivel de daño 1 (escenario para la estimación de daños 1):

$$R_ds1=(Building2_pp*f_Bdg2_ds1) + (Building3_pp*f_Bdg3_ds1)$$

- Luego escriba la siguiente fórmula para obtener el número de edificaciones con un nivel de daño 2:

- $R_ds2=(Building1_pp*f_Bdg1_ds2) + (Building2_pp*f_Bdg2_ds2) + (Building3_pp*f_Bdg3_ds2)$

- Repita el procedimiento para los niveles de daño 3 – 7
- Finalmente usted puede agregar todos los mapas para obtener el número total de edificaciones afectadas por unidad de análisis (píxel). En la ventana principal, escriba la siguiente fórmula en la línea de comando:

$$R_Bdg=R_ds1+R_ds2+R_ds3+ R_ds4+R_ds5+R_ds6+R_ds7$$

- Usted puede crear, si lo considera pertinente, una representación para ser usada con el mapa final de edificaciones en riesgo.

6.2 Vulnerabilidad de la población y evaluación del riesgo

Objetivos:

- Estimación del número de víctimas (heridos, muertes) en caso de un sismo, basado en el cálculo del número de edificaciones que podrían colapsar.
- Estimación del número de heridos.

Datos requeridos:

- Mapa de elementos bajo riesgo: **Building1_pp**, **Building2_pp** y **Building3_pp** (raster maps)
- Datos sobre vulnerabilidad: **R_ds1**, **R_ds2**, **R_ds3**, **R_ds4**, **R_ds5**, **R_ds6** y **R_ds7**
- Proporción de víctimas (Casualty ratios): Emergency Preparedness Canada

Tiempo requerido: 1.5 horas

La vulnerabilidad de la población depende del nivel de daño de las edificaciones. Por lo tanto, esta no puede ser calculada hasta que el daño de las edificaciones ha sido estimado.

En este ejercicio se adoptará el punto de vista del Departamento Canadiense para la atención de emergencias (Canadian Emergency Preparedness Bureau, EPC), el cual considera que tres (3) niveles de víctimas (escenarios de víctimas) es ideal para preparar la respuesta en caso de emergencia:

- Heridas menores: personas con heridas menores o fractura de extremidades (requieren periodo corto de hospitalización)
- Heridas mayores: personas que requieren atención médica urgente (requieren periodos largos de hospitalización)

- Muertes: muertes instantáneas (requerimiento de espacio en la morgue)

Tiempo requerido: 1 hora

En este ejercicio utilizaremos las relaciones de proporción de víctimas definidas por el proyecto NHEMATIS (Emergency Preparedness Canada).

Nivel de daño	Heridas menores	Heridas Mayores	Muertes
1	0	0	0
2	3/100,000	1/250,000	1/1,000,000
3	3/10,000	1/25,000	1/100,000
4	3/1000	1/2,500	1/10,000
5	3/100	1/250	1/1,000
6	3/10	1/25	1/100
7	2/5	2/5	1/5

Para estimar el número de víctimas, se debe multiplicar la relación de víctimas (tabla anterior) por el porcentaje de edificaciones afectadas en cada nivel de daño. Una vez se obtienen todos los cálculos para cada uno de los niveles de daño (observe que no es necesario calcular el nivel de daño 1), los valores individuales deben ser agregados para obtener el número de víctimas para las tres categorías : heridas menores, mayores y muertes.



- En la línea de comando de la ventana principal, escriba lo siguiente:

Minor_ds5=((R_ds5*100)/(Building1_pp+Building2_pp+Building3_pp))*(3/100)

- Luego aplique el mismo procedimiento para calcular los otros niveles de daño para la categoría: menores (minor).
- Luego aplique el mismo procedimiento para la categoría mayores (Major) **Major_ds2** hasta **Major_ds7** y también para **Death_ds2** hasta **Death_ds7**.
- Luego agregue todos los niveles de daño para cada tipo de víctimas. Por ejemplo:

Minor=Minor_ds2+Minor_ds3+Minor_ds4+Minor_ds5+Minor_ds6+Minor_ds7

- Aplique el mismo procedimiento para estimar **Major** y **Deaths**
- Si la representación de los mapas sugerida no le agrada, cree una que le satisfaga.

Finalmente usted tiene los mapas de daños a edificaciones y la estimación de víctimas, los cuales pueden ser utilizados en la planificación de la respuesta en caso de emergencia. Para nombrar algunos ejemplos, estos mapas pueden ser usados en la planificación de :

- Localización y área requerida para refugios temporales requeridos para atender personas desplazadas,
- Localización y volumen del material de escombros que debería ser removido be removed,

- Localización de áreas donde las vías serán probablemente bloqueadas y se requerirá del diseño de rutas alternativas
- Requerimientos de infraestructura medica a nivel local así como de requerimientos de apoyo con otras centros médicos (networking).