

# **CRITERIOS, METODOS Y TECNICAS PARA LA LOCALIZACION DE HOSPITALES PARA LA REDUCCION DE DESASTRES NATURALES**

JULIO KUROIWA<sup>1</sup>

## **RESUMEN EJECUTIVO**

La tendencia de las nuevas normas sismoresistentes de países ubicados en regiones sísmicas es considerar a los hospitales como edificaciones esenciales, es decir que deben continuar prestando servicios, después de la ocurrencia de fenómenos naturales extremos, como terremotos, inundaciones, fallas del suelo, etc.

Una de las maneras más efectivas para lograr dicho objetivo consiste en aplicar las enseñanzas que nos ha ido dejando la naturaleza en pasados eventos. Según investigaciones de campos efectuadas después de la ocurrencia de terremotos, inundaciones, erupciones volcánicas, etc. las características de suelos, geología y topografía del emplazamiento, son determinadamente en el grado de daños y su distribución geográfica.

Por las razones expuestas se han desarrollado 2 métodos para estudiar el área de interés: Estudio de Sitio y Estudio de Microzonificación, dependiendo de la extensión por investigar.

El Estudio de Sitio consiste en la investigación de todos los fenómenos naturales que amenazan el terreno en estudio, incluyendo la capacidad portante del suelo, y la viabilidad de dotarlo de servicios vitales. El estudio determinará si el terreno es o no aceptable para la construcción de un hospital. Otra aplicación del estudio de sitio es para evaluar el peligro natural del emplazamiento de un hospital existente. Un estudio de vulnerabilidad de las instalaciones, permitirá determinar el riesgo del hospital, información importante, para decidir su intervención o no, para proceder a su reforzamiento.

Si se tiene seleccionada el área general donde se construirá un hospital nuevo, es necesario determinar el peligro natural de dicha área. Existen varias ciudades de América Latina que cuentan con estudios de Microzonificación. En este caso la solución es sencilla, y el hospital se podrá ubicar en uno de los sectores considerados seguros. En el mapa de Microzonificación el área de interés, queda dividido en sectores de diferente peligro.

En caso de no existir el mapa de Microzonificación, se puede emplear uno de los métodos simplificados para Microzonificación. Por ejemplo: El de las ciudades medianas que se incluye en este trabajo. Consiste en evaluar los peligros naturales solamente de las áreas

---

<sup>1</sup> Profesor Emérito CISMID. Fac. de Ing. Civil Universidad Nacional de Ingeniería. Lima. Miembro del Comité Asesor sobre Mitigación Hospitalaria PED-OPS/QMS Washington D.C.

donde hay disponibles terrenos adecuados para el nuevo hospital. El sector que se seleccione será, donde el peligro natural y el costo de construcción sean menores.

Una vez seleccionado el terreno para un nuevo hospital o el emplazamiento de una facilidad existente, es necesario efectuar estudios geotécnicos usuales para este tipo de obras.

Uno de los principales factores a considerar es el costo de construcción, siendo la capacidad portante del suelo uno de los parámetros más significativos a considerar. Terrenos muy blandos o que requieran tratamientos ingenieriles especiales, incrementan los costos de manera considerable y solo deben ser usados en casos extremos.

Se incluyen los métodos y técnicas de Microzonificación y de estudios de sitio, desarrollados por el autor en los últimos 25 años, en los que se consideran los fenómenos naturales más frecuentes y destructivos que ocurren en América Latina y el Caribe.

También se incluye la propuesta de un código de construcción para la Mitigación Integrada de Desastres Naturales. Esta propuesta considera al hospital como una edificación esencial o importante, que idealmente debe ubicarse en el sector de menor peligro. Para los otros sectores, se indican los requerimientos de los estudios de ingeniería y exigencias especiales. En sectores de alto peligro, y en casos muy especiales solo se permiten construir en aquellos, cuyas fuerzas son controlables mediante el diseño, como son los terremotos. No se permiten ubicar hospitales en sectores donde las fuerzas son tan grandes o los efectos tan devastadores, que se puede perder el 100% de las facilidades, como ocurre con flujos rápidos que contienen grandes bloques de roca, en las cercanías de un volcán activo, por donde bajan flujos de barro o lava o el peligro de deslizamiento es grande.

## 1. INTRODUCCION

Los hospitales y otras facilidades de salud deben ser adecuadamente protegidos contra todos los fenómenos naturales que los amenacen, como terremotos, huracanes, inundaciones, fallas del suelo, actividad volcánica, etc. Idealmente, deben seguir prestando servicios a la comunidad, durante y después de la ocurrencia de un evento destructivo.

Una de las medidas más efectivas para lograr dicho objetivo consiste en ubicar las nuevas facilidades en lugares donde la amenaza es menor, o evaluar convenientemente la amenaza natural sobre instalaciones existentes, con lo que se podrá reducir el riesgo de manera eficaz.

Existe consenso a nivel internacional que las condiciones naturales del área de interés, tiene una gran influencia en el grado de daños que causan los fenómenos naturales y su distribución geográfica. Esta es una valiosa enseñanza de la naturaleza, que debemos acatar de acuerdo a lo expresado en el párrafo anterior.

Se pueden presentar 2 casos de mitigación de desastres en instalaciones de salud:

- Reducir la vulnerabilidad de instalaciones existentes.
- Concebir, planificar, ubicar, diseñar y construir nuevas facilidades.

Ambos casos son complejos y requieren de la participación del trabajo coordinado de equipos multidisciplinarios.

Hasta hace pocos años, los hospitales eran ubicados, diseñados y construidos, sin tener en cuenta el importante rol que juegan en caso de desastres. Es por ello, que cuando han sucedido eventos intensos como terremotos y huracanes, los hospitales han resultado destruidos o dañados, en igual proporción que construcciones con otros usos como viviendas, oficinas, edificios comerciales, etc. lo cual es un contrasentido, pues los hospitales dejaron de funcionar cuando las comunidades afectadas más necesitaban de sus servicios.

En el terremoto de San Fernando, C.A., de 1971, fallaron el Olive View Hospital y el Hospital para Veteranos, este último con numerosas víctimas. Durante el terremoto de México de 1985 los hospitales más importantes de Ciudad de México colapsaron y perecieron más de 800 personas directamente vinculadas con la actividad hospitalaria entre médicos, enfermeras, pacientes y visitantes, perdiéndose unas 4,000 camas de hospitalización. El huracán Gilberto que atacó con más intensidad la península de Yucatán, México, en 1988, puso fuera de servicio a los hospitales generales de las ciudades más importantes de la región, y unas 140 unidades de salud de primer nivel (1)\* (Referencia incluida al final).

En otros desastres naturales ocurridos en las últimas décadas a lo largo y ancho de la América Latina y el Caribe, igualmente se han perdido miles de camas de hospitalización, conjuntamente con importantes facilidades para brindar asistencia.

Por las razones expuestas en los últimos años, la Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud (OPS/OMS); a través del Programa de Preparativos para Emergencias y Desastres (PED), está realizando un gran esfuerzo para reducir la vulnerabilidad de instalaciones de salud en América Latina y el Caribe (2).

Para reducir de manera efectiva las pérdidas en hospitales causadas por fenómenos naturales, tanto en facilidades existentes, como en nuevas instalaciones, es necesario estudiar las condiciones naturales; en el primer caso, evaluando cuidadosamente la amenaza natural del terreno que ocupa el hospital, denominado estudio de sitio, y en el segundo, optimizando la ubicación de las nuevas instalaciones de salud, dentro de un área más extensa. A las investigaciones del área de interés, se les llaman estudios de Microzonificación.

En el Perú más de 20 ciudades cuentan con estudios de Microzonificación. La más reciente es la de Arequipa (3) realizada bajo el marco del Decenio Internacional para la Reducción de Desastres Naturales -DIRDN (4) En estos casos es práctico y económico seleccionar la ubicación general de la nueva instalación de salud en el sector más seguro.

En caso de no existir mapas de Microzonificación para la ciudad, se puede emplear uno de los dos métodos simplificados que se incluye más adelante, para seleccionar el área general de ubicación. Luego de definida la ubicación del nuevo centro de salud, es necesario efectuar estudios detallados de sitio.

El contenido de este trabajo está principalmente basado en la Ref. 5. Ha sido actualizado entre julio y agosto de 1997 y revisado para ser utilizado como documento interno de OPS/OMS en septiembre de 1997, para incorporar los avances de los últimos años, e incluir hasta donde es posible y pertinente, las conclusiones de las 3 reuniones organizadas por el PED-OPS/OMS en la Ciudad de México, y los aportes del grupo interdisciplinario que está trabajando en el diagnóstico de la vulnerabilidad de 10 hospitales en el Perú (6) con la participación del Ministerio de Salud, las Universidades de Ingeniería y Ricardo Palma, y la OPS/OMS; y esta auspiciado por la Comunidad Económica Europea -ECHO, y el gobierno del Perú, incluyendo los aportes del Instituto Peruano de Seguridad Social -IPSS

La otra importante y efectiva medida para reducir la vulnerabilidad de las instalaciones de salud es a través de una buena concepción estructural de las nuevas edificaciones y eliminar los defectos estructurales que han causado o podrían causar daño en construcciones existentes y reforzarlas hasta que cumplan con las exigencias de las normas sismorresistentes vigentes. Este punto es tratado por el autor, en "Reparación y Reforzamiento de Hospitales Dañados por Sismos" que se adjuntará en este trabajo.

## **2. ESTUDIOS DE MICROZONIFICACION**

## 2.1 ANTECEDENTES

El 31 de mayo de 1970, un sismo de magnitud 7.8 con epicentro aguas afuera del puerto de Chimbote, devastó un área de aproximadamente 80,000 Km<sup>2</sup> localizadas entre 200 y 600 Km al norte de Lima y un ancho de unos 200 Km medidas desde la línea costera. Se registraron 67,000 víctimas, incluyendo 13,000 que fueron enterrados por un aluvión generado en el pico norte del nevado Huascarán (6,768 m)

Un informe presentado por la Misión de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) de Lima, que visitó el área afectada después del sismo, recomendó al gobierno peruano, que la reconstrucción del área afectada se realizara basada en estudios de Microzonificación.

La reconstrucción de Chimbote se llevó a cabo de acuerdo a un proyecto llamado "Plan Chimbote", desarrollado e implementado bajo los auspicios de la UNDP (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo), basado en los estudios de Microzonificación llevado a cabo por la misión japonesa encabezada por el Dr. Ryohei Morimoto, por entonces director del Instituto de Investigaciones Sísmicas de la Universidad de Tokyo y, actuando como contraparte peruana, el Subcomité Técnico de CRYRZA (7). Entre 1970 y 1973, cerca de 30 graduados de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI estudiaron los efectos del sismo y colaboraron en la preparación de los estudios de microzonificación de las ciudades de Huaraz, Caraz, Huarmey, Carhuaz y Yungay (8) y en la elaboración de proyectos de reparación y refuerzo de alrededor de 2,500 viviendas de albañilería. Profesionalmente, se prepararon los proyectos de la reparación y reforzamiento de más de 100 edificaciones de concreto armado durante el mismo periodo, participándose también en la supervisión de las obras (9)

El autor participó en todas esas actividades y llegó a la conclusión de que más del 80% del daño producido a las edificaciones se debió a:

- a) Los daños ocurrieron principalmente en las zonas donde las ondas sísmicas fueron considerablemente amplificadas debido a condiciones desfavorables del suelo.
- b) La inadecuada concepción estructural de las edificaciones para resistir la sollicitación sísmica horizontal, lo que causa concentración de esfuerzos en puntos críticos, tales como columnas cortas en los pisos inferiores, mayor rigidez y resistencia en una de las direcciones y débil en la otra, excentricidad. Estos defectos fueron repetitivos.

Estas dos conclusiones han guiado sus actividades durante los últimos 25 años y su trabajo se ha centrado en dos aspectos principales:

- a) El desarrollo de un método general de microzonificación que ha sido ampliado y actualizado en varias ocasiones. Se desarrollaron también dos métodos simplificados de microzonificación que han sido aplicados al uso urbano de suelos; y al planeamiento del desarrollo regional, para la mitigación de desastres (10) (11).

b) El desarrollo de un método de reparación de edificaciones dañadas por

sismos y su aplicación de unas 180 edificaciones de concreto armado y edificaciones de mampostería de 2 a 4 pisos dañados por los sismos de 1970, 1974 y 1979. La estrategia clave del método consiste en la eliminación de la causa de la falla en la edificación y actualizarlas para que cumplan con el código sismorresistentes vigente.

El método ha sido sometido a continuos cambios y actualizaciones después de que la experiencia aportaba nuevas luces sobre su aplicación práctica. Durante los últimos ocho años se han incluido volcanismo y tormentas tropicales, los cuales no son muy comunes en el Perú, pero sí en otras naciones latinoamericanas; esto en vista de la internacionalización del CISMID y la oportunidad que le brindaron organizaciones internacionales, de estudiar dichos fenómenos en países ubicados en Centroamérica y en el norte de Sudamérica (12) (13). Esto también ha sido muy adecuado, debido a que el programa de OPS incluyen a naciones del Caribe.

## **2.2 MICROZONIFICACION**

Son estudios multidisciplinarios que incluyen todos los desastres naturales que potencialmente pueden afectar un área de interés, como: sismos, inundaciones, deslizamientos, fallas del suelo, avalanchas, erosión y deposición de suelos, tsunamis, etc. Se prepara el mapa de peligro para cada uno de los peligros potenciales. Luego los mapas se superponen, dividiendo el área de estudio en sectores de diversos grados de peligro. Este es el mapa de microzonificación, el cual en general puede cubrir desde unos pocos, hasta centenares de Km<sup>2</sup>.

Al resumir los resultados de investigaciones multidisciplinarias, a veces complejas, en un solo mapa: el de microzonificación, es posible comunicar la información de las condiciones naturales de una zona de una manera simple y práctica a los usuarios: planificador, autoridades que tienen las decisiones políticas y a las demás personas interesadas; las cuales pueden aplicar esta información para el plan del uso del suelo y el planeamiento para la prevención y mitigación de desastres.

### **2.2.1 METODO GENERAL DE MICROZONIFICACIÓN**

Basado inicialmente en el método de microzonificación aplicado por la Misión Morimoto en Chimbote afectado por el terremoto de 1970, se desarrolló un método general entre 1971 y 1978 (10).

Por su origen los fenómenos naturales a considerar en los estudios de microzonificación se pueden clasificar de la siguiente manera

- De origen geológico: sismos, tsunamis y actividad volcánica.
- De origen hidrometeorológico: huracanes, inundaciones, sequías.
- De origen geológico-hidrometeorológico: fallas del suelo, como deslizamientos; licuación, asentamientos, levantamientos de suelos.

Por los tipos de aplicaciones de este trabajo, solo se consideran los fenómenos capaces de causar daños directos a instalaciones de salud de manera súbita. Por ejemplo, no se incluyen sequías.

Debido a que algunos de dichos fenómenos requieren más de un especialista para estudiarlo como los sismos que requiere la participación de un sismólogo, un geólogo, especialista en mecánica de suelos e ingeniero estructural; y en otros casos, un buen geólogo puede además de participar en estudios de su especialidad de manera tradicional, puede investigar otros fenómenos como inundaciones, actividad volcánica y fallas del suelo en la metodología desarrollada para los estudios generales de microzonificación no hay una vinculación directa entre origen del fenómeno-especialidad, sino que hay un manejo más flexible del proyecto para optimizar el uso de recursos humanos y materiales.

Desde el inicio, la metodología desarrollada considero los fenómenos naturales que ocurren en el área de interés. Al combinar las investigaciones académicas con la consultoría privada, se pudo llegar al estado del arte de los años setenta. Por ejemplo, al recibir el encargo de seleccionar la zona general donde se construiría un pequeño reactor nuclear de investigación, y luego realizar los estudios de microzonificación del área seleccionada, se tuvo que cumplir con las estrictas regulaciones de la Organización Internacional de Energía Atómica-OIEA, con sede en Viena, Austria.

En la zona seleccionada Huarangal, ubicada a unos 30 Km al N-E de Lima, no existía ningún registro sísmico, de tal manera que hubo que generar artificialmente las señales sísmicas. Estudios detallados de mecánica de suelos y geofísica, permitieron modelar los perfiles típicos de suelos, por donde se filtraron tanto registros obtenidos en roca, como Ruido Blanco. Así, simulando en el computador, el fenómeno dinámico que ocurre durante los sismos, fue posible obtener "registros" tanto a nivel de cimentación, como en diferentes puntos dentro del reactor, donde el diseño del equipamiento como tuberías, requiere de análisis dinámico.

La versión que se presenta en esta oportunidad ha sido actualizada entre julio y agosto de 1997 y revisada el mes siguiente con el objetivo específico de servir como documento de trabajo del Comité Asesor sobre Mitigación Hospitalaria PED/PS/OMS

## **Sismología e Ingeniería Sismológica**

La sismicidad de una zona de interés es obtenida mediante el estudio de los registros históricos e instrumentales de sismos pasados y de las características geotectónicas de la región. Este tipo de investigación ha sido efectuado en la mayoría de países latinoamericanos que cuenta con normas sismorresistentes vigentes. Por ejemplo, en el caso del Perú, se cuentan con curvas de isoaceleraciones, para probabilidades de excedencia del 10% en 50 y 100 años. El primer caso ha sido adoptado por las nuevas Normas Sismorresistentes del Perú 1997 en proceso de aprobación por el Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción, ajustando los límites de las zonas sísmicas a las divisiones políticas provinciales, para facilitar su aplicación

Los registros de las vibraciones, con fines de ingeniería, se efectúan comúnmente a dos niveles: La aceleración del suelo son registrados usando acelerógrafos para movimientos fuertes, que generalmente se regulan para que empiecen a funcionar cuando el nivel es mayor que 1% G, y las vibraciones de muy bajo nivel, como las producidas por el viento, el tráfico, etc., que son registrados mediante equipos muy sensibles llamados microtrometers -medidor de microtrepidaciones. Excepcionalmente también se registran vibraciones de nivel intermedio, como cuando se registran los movimientos postsísmicos-aftershocks. durante los estudios de microzonificación que siguen a la ocurrencia de un sismo destructor. Estos registros llamados acelerogramas y microtrepidaciones respectivamente, debidamente procesados proporcionan valiosa información para el análisis y diseño sismorresistente de construcciones.

### **Estudios Geológicos**

La geología es una de las disciplinas básicas en el estudio de la microzonificación. La hidrogeología, geomorfología y la ingeniería geológica (conocida en algunos países como geotécnica), juegan un papel importante en la detección e identificación de los diferentes fenómenos naturales que amenazan la seguridad de una población, así como la selección del método de atenuación del riesgo u obras de defensa.

En el Perú se usaba la metodología tradicional, es decir, se estudiaba la estratigrafía, la tectónica, las características geohistóricas y la hidrogeología. Sin embargo, la morfología del territorio peruano, con sus contrastes topográficos que limitan las distintas unidades fisiográficas con distintas características litológicas, estructurales y climáticas, hicieron necesario la introducción a estos métodos tradicionales de estudios de la geodinámica externa, la aplicación de métodos particulares para la investigación de centros poblados y de ubicación de obras de ingeniería. Los siguientes han sido incluidos en el Perú: inundaciones, deslizamientos, aluviones, avalanchas, fallas del suelo y solifluxión, derrumbes, etc.

El estudio del amplio rango de procesos de creación y degradación de suelos ha sido incluido al estudio de los fenómenos endomórficos, lo que contribuye al modelaje de la superficie terrestre. Los estudios de la geodinámica externa están orientados a la localización de los fenómenos, a la determinación del riesgo, al establecimiento de medidas

preventivas, desarrollo de métodos de construcción de defensas, zonificación de los distintos sectores del lugar estudiado y establecimiento de límites de seguridad.

Como se expresó en líneas arriba, se consideran los siguientes aspectos:

- Análisis de la morfología local;
  - Estudio de la naturaleza de la roca basal y del suelo de fundación;
  - Identificación de los fenómenos que representan algún peligro para las personas y las construcciones,
  - Estudio del origen del fenómeno, su evolución y de los factores que contribuyen a su existencia;
  
  - Establecimiento de medidas preventivas para minimizar o anular el riesgo;
  - Establecimiento de límites de seguridad y preparación del mapa de microzonificación geológica.
- La microzonificación geológica se usa como base para el planeamiento de uso de suelos para la mitigación de desastres, para preparar el programa de exploración del suelo y para la selección de los lugares donde se pueden medir microtrepidaciones de manera más eficiente; todo esto se realiza para reducir el costo de los estudios.

## **Mecánica de Suelos**

La mecánica de suelos y la geología son estudios básicos necesarios en el desarrollo de la metodología de microzonificación

Los estudios de suelos son relativamente costosos, así que la ubicación de los puntos de prospección deben ser cuidadosamente escogidos de acuerdo al estudio previo de la geología y a los planos preliminares de la estructura y su peso estimado.

La capacidad portante del suelo al nivel de la cimentación y la profundidad del nivel freático son dos de los datos más importantes que se deben determinar en cualquier programa de exploración del suelo. Si se realizan estudios de dinámica de suelos, los parámetros estáticos tales como la densidad del suelo, espesor de los estratos, clasificación de suelos, etc. son medidos con mayor exactitud en esta etapa, para luego proceder a analizarlos y utilizarlos para diseñar el modelo del perfil del suelo.

Se investigan las posibles fallas del suelo. Estas se originan por las vibraciones producidas por sismos, como la licuación que ocurre en suelos granulares saturados y sueltos; o fallas del talud cuando la carga se incrementa y la capacidad de corte se reduce por vibraciones sísmicas o por humedecimiento del suelo. Los cambios en las propiedades del suelo causadas por el agua pueden causar expansión o colapso y/o fallas del talud. También se estudia la presencia de sales en el suelo para prevenir daños a la cimentación y las superestructuras, que en contacto con el agua pueden disolverse creando oquedades en el

subsuelo y causar hundimientos o incrementar la agresividad química del suelo contra el concreto.

### **Dinámica de Suelos y Geofísica**

Cuando no existen registros sísmicos en un área donde se va construir una obra de ingeniería importante, como complejos industriales u hospitalarios, presas, reactores nucleares, etc., es posible obtener esta información del estudio del terreno mediante las técnicas geodinámicas y la simulación por computadora.

Para tener una idea tridimensional de las características del suelo, se obtienen datos geofísicos en perfiles longitudinales paralelos mediante un arreglo de geófonos en dos direcciones, que registran las ondas generadas por pequeñas explosiones

Con estas informaciones y el mapa geológico se escogen las ubicaciones de los perfiles de suelos típicos que serán modelados. Se miden las velocidades de las ondas P y S en perforaciones seleccionadas de mecánica de suelos (de 2" de diámetro). En el Perú es más popular el método Up Hole, donde el geófono se coloca en la superficie y la explosión se genera en el extremo inferior de la perforación. Así no se corre el riesgo de perder el geófono, como ocurre en el método Down Hole, donde la disposición instrumental es al revés. En la práctica no se usa el método Cross Hole. Al inicio, el problema con el método Up Hole era que la cantidad de explosivo usado no era suficiente para romper los tubos de plástico de 2<sup>1/2</sup>", así que en realidad lo que se medía era la velocidad en los tubos. Con el modelaje vertical del suelo, los registros sísmicos reales tomados en rocas o suelos duros y los sismos artificiales son filtrados. De esta manera los sismos simulados por computadora se obtienen al nivel de la superficie y el de la cimentación, los mismos que son procesados de la misma manera que los registros reales para obtener espectros sísmicos de diseño.

### **Tsunamis**

Las costas oeste de América del sur y del Centro, han sido visitadas numerosas veces por tsunamis destructores en los últimos 450 años. El Callao fue destruido por tsunamis en 1688 y 1746. El tsunami de 1746 barrió a 4,800 de sus 5,000 habitantes. Arica fue destruida en 1868 y la costa sur de Chile fue devastada por el tsunami de 1960.

Los datos más importantes por calcular en una investigación sobre tsunamis, es el tiempo de llegada al punto de interés en la costa de la primera ola después de ocurrido el sismo generador. Es el tiempo que se dispone para evacuar a la población amenazada.

### a) Actividad Volcánica

El principal propósito de incluir el vulcanismo en los estudios de microzonificación es el de usar los resultados en el planeamiento de uso de suelo para mitigar sus efectos en la costa oeste de Sud y Centro América.

En Sudamérica, donde interactúan las placas de Nazca y Sudamericana, existe actividad sísmica y volcánica en tres sectores donde el ángulo de subducción es de 25 a 30 grados. En dos secciones donde el ángulo es de aproximadamente 10 grados, solo existe actividad sísmica(18). En América Central, como consecuencia de la interacción de las placas de Cocos y Caribe, existe 1,200 Km de cadenas volcánicas paralelas a la costa del Pacífico desde Costa Rica hasta el sur de México.

Los volcanes de las zonas de subducción tienen la tendencia a generar domos y flujos de lava cortos y densos. La alta viscosidad de la lava impide que el gas escape paulatinamente, elevando la presión interna, produciéndose erupciones explosivas que mueven grandes cantidades de sólidos y gases. Los fenómenos asociados a las erupciones volcánicas son, flujos de lava, liberación de nubes de cenizas, avalanchas calientes y explosiones laterales, flujos de barro y escapes de gas y cenizas. Todos estos fenómenos ocurren en o cerca de la cumbre del volcán o en sus laderas, en general dentro de un radio de 7 a 10 Km. algunas veces, una gran explosión puede alcanzar mayores distancias, como la erupción del Monte Santa Helena en 1980. La lava que fluye en Sur y Centro América no se extiende tanto como la de los jóvenes volcanes Hawaiianos asentados sobre bolsones de magma. Allí la lava es más fluida y corre como ríos.

Por otro lado, en las laderas superiores de los grandes volcanes sudamericanos, la actividad humana está muy restringida; la preocupación principal radica en los flujos de barro y en las cenizas liberadas las que pueden extenderse fácilmente a decenas de kilómetros del volcán.

El calor generado por la erupción volcánica causa el deshielo violento de las nieve y el hielo glacial, el cual fluye por las quebradas que nacen de su cumbre acarreando lodo, nieve y piedras de diferentes tamaños y formas, como ocurrió en el Nevado del Ruiz en noviembre de 1985. Armero, que perdió 23,000 de sus 30,000 habitantes se localizaba en el área de deposición, justo en la boca de un estrecho cañón, el Lagunillas, que drena la cara norte del volcán, donde erupcionó el cráter Arenas.

Los mapas de peligro de los volcanes ecuatorianos preparados por el profesor Minard Hall de la Escuela Politécnica Nacional de Quito, y los preparados por INGEOMINAS de Colombia, para los volcanes Nevado del Ruiz y Tolima, parecen un pulpo, donde la cabeza es la zona donde ocurren flujos de lava, avalanchas calientes y explosiones laterales y los brazos representan las quebradas por donde bajan flujo de lodo.

Desde el punto de vista del uso de suelos, no se deben permitir el establecimiento de asentamientos humanos u obras de ingeniería en los fondos de los valles, o donde las

La estimación de la altura de ola en la costa y la delimitación de la zona de inundación son los otros parámetros que es importante determinar. En el Perú se han estudiado unos 400 Km de la costa norte y unos 600 Km de la costa sur hasta la frontera con Ecuador y Chile, respectivamente, y los 100 Km de costas de Lima Metropolitana. Estos estudios realizados entre 1981-82, 1987-89, 1989-1992 y 1992-1995, fueron financiados respectivamente por UNDRRO, USAID, JICA y CIDA -DHA/Geneva (14) (15) (16)

Los resultados de estos estudios son importantes para organizar planes de emergencia, pues los 10 a 30 minutos que demora en llegar el tsunami a la costa en el Perú, permite implementar planes efectivos de evacuación.

Se ha encontrado que en el Callao, hay 2 establecimientos de salud y en Ilo, el hospital más importante, están localizados en zonas inundables por tsunamis.

Al tenerse el mapa de inundación por tsunamis, esta información se convierte en un valioso dato para el planeamiento urbano de zonas costeras bajas (17).

En la actualidad, el Callao es un área urbanizada donde las áreas inundables están habitadas por más de 120.000 personas. Por otro lado, en los 100 Km de franja costera de Lima se van a establecer centenares de miles de personas en las próximas décadas. Los datos disponibles permitirán asentarlas en zonas seguras

## **Ingeniería Sísmica**

Luego de la ocurrencia de sismos destructivos se realizan estudios de microzonificación, obteniéndose además gran cantidad de información valiosa de los daños causados por el sismo, su distribución geográfica, y la correlación con las condiciones naturales, geológicas y topográficas del suelo. De los estudios de los sismos peruanos de 1970, 1974 y 1979 se han obtenido valiosas enseñanzas. Incluso, durante los trabajos de reparación y reforzamiento, que para las edificaciones de concreto reforzado en general consiste en añadir muros de corte, se deben efectuar excavaciones para incrementar el tamaño de la cimentación y conectarlas a los elementos adyacentes para controlar la rotación de los muros, causados por las fuerzas sísmicas horizontales. De esta manera se mejora notablemente los estudios de suelos y se entiende mejor la correlación entre las características del suelo y el daño observado.

## **Fenómenos Naturales no Incluidos Inicialmente en el Método General de Microzonificación**

Como ya se dijo, la actividad volcánica y las tormentas tropicales han sido incluidos recientemente al método general de microzonificación.

cenizas puedan representar un problema. Los puentes sobre esos ríos deben tener la luz y la altura suficiente para dejar pasar los flujos de lodos, que también pueden producirse por el arrastres de las cenizas durante lluvias torrenciales

La distribución de las cenizas y extensión dependen de las características de la liberación: volumen, altura, tamaño de las partículas, etc. y particularmente de la dirección y velocidad del viento. Los techos de los edificios en las cercanías del volcán pueden colapsar si los depósitos de gran espesor se humedecen. Las cenizas causan polución de los cursos de agua y pastos.

Algunas ciudades como San Salvador (San Salvador), Quito (Pichincha) y Arequipa (Misti), están localizadas cerca a volcanes (el nombre del volcán se encuentra entre paréntesis) y otras como Ibaguè (Tolima) están amenazadas por flujos de lodo. Los estudios de microzonificación de dichas localidades se deben llevar a cabo para el planeamiento del uso de suelo a largo plazo. Además se debe monitorear la actividad -volcánica y sísmica.

En algunos lugares de Centro América y en las islas del Caribe, el problema es diferente, pues las erupciones no se producen en volcanes de gran altura, situados lejos de los centros poblados, sino que las poblaciones se ubican muy cerca de los volcanes, y ellas están expuestas todos los fenómenos inherentes a la actividad volcánica, y la estrategia para mitigar los efectos de las erupciones volcánicas tiene que ser de acuerdo a la realidad de cada caso.

La erupción del volcán en la isla Monserrat en las Antillas Menores y en plena actividad es una advertencia que la actividad volcánica debe tenerse muy en cuenta en la ubicación de nuevos hospitales.

## b) Huracanes, Tormentas Tropicales e Inundaciones

Los huracanes y las tormentas tropicales que atacan Centro América y el Caribe, obtienen su energía y agua, del abundante vapor generado en las aguas tropicales del Atlántico y Pacífico. La mayoría de los huracanes que atacan el Caribe y Centro América son generados al oeste de África y avanzan hacia el oeste. Cuando un huracán choca contra la costa, se generan grandes olas que causan inundaciones a lo largo de la costa. Los vientos huracanados con velocidades superiores a los 150 Km/h, arrasan techos y destruyen edificaciones. A medida que el huracán se interna en el continente, pierde energía y cuando choca contra una montaña alta y fría se produce una condensación rápida que genera lluvias intensas, las mismas que pueden producir inundaciones devastadoras. El 7 de junio de 1934, un huracán golpeo la parte central de la Región del Trifinio en Centroamérica. Antigua Ocotepeque, Honduras, fue destruida y trasladada a su actual ubicación. El mismo día, Metapan, El Salvador, fue inundada por el río San José en el otro lado de la montaña de Montecristo, lugar donde se ubica el punto de convergencia de las fronteras de El Salvador, Guatemala y Honduras (12).

La confección de mapas de inundación a lo largo de los ríos y costas de áreas amenazadas por huracanes es indispensable para el planeamiento del uso de suelos y mitigar sus efectos.

### **Mapa de Microzonificación**

Al superponer los mapas de los fenómenos naturales que ocurren en el área de interés y trazar las curvas envolventes, se obtiene el mapa de microzonificación. El área estudiada queda así dividida en sectores de diferente peligro. Al resumir en un solo documento gráfico, fácil de interpretar y usar, resultado de estudios multidisciplinarios, se logra comunicar de manera eficaz, informaciones muy valiosas al próximo usuario, el planificador urbano o regional, tomadores de decisiones políticas, formuladores de planes de emergencia, y profesionales de diferentes especialidades interesados en la prevención y mitigación de desastres.

### **Coordinación de los Estudios de Microzonificación**

La microzonificación realiza un enfoque multidisciplinario que requiere la participación de muchos especialistas. Es necesaria una adecuada coordinación para obtener resultados satisfactorios. Durante los años setenta se dio énfasis al aspecto sísmico, por lo que el coordinador era un Especialista en Ingeniería Sismorresistente, sin embargo, con la inclusión de las tormentas tropicales y el vulcanismo a finales de los años ochenta; y la aplicación del método al planeamiento urbano y regional para la mitigación de desastres, se hizo obvio que se requerían mayores conocimientos para optimizar la contribución de tantos especialistas en la formulación de planes para la mitigación de desastres. Aparentemente se requiere de una nueva profesión.

¿El nombre debería ser Ingeniería de Desastres?. Actualmente, un planificador urbano y regional con sólidos conocimientos de ciencias de la tierra, o un ingeniero civil con experiencia en eventos naturales múltiples con estudios de planificación pueden calificar para ser un buen coordinador.

### **2.2.2. METODOS SIMPLIFICADOS DE MICROZONIFICACION**

Si los objetivos de los estudios de microzonificación están claramente definidos y si se conoce como serán aplicados, se pueden introducir importantes simplificaciones al estudio. Durante los pasados quince años, se desarrollaron dos métodos simplificados y fueron aplicados al estudio de planeamiento de uso de suelos. El primero se aplica a pequeñas ciudades y el segundo a ciudades medianas. Estos métodos pueden ser de suma utilidad para ubicar convenientemente instalaciones de salud en ciudades de dichas dimensiones.

## **Método Simplificado para Pequeñas Ciudades**

A fines de los años setenta, se hizo aparente que el método general de microzonificación (10) era demasiado sofisticado y costoso para países en desarrollo como el Perú, así que en 1979, luego del terremoto de Arequipa, se efectuaron estudios de campo con la ayuda de cinco graduados de la UNI. El estudio tardó más de un año y tuvo dos objetivos

a) Confirmar que las condiciones naturales del terreno determinadas mediante estudios de mecánica de suelos, geología y topografía son significativos en el grado de daño causado por el sismo y su distribución geográfica, como se había concluido de las investigaciones de los anteriores sismos de 1970 y 1974.

b) Desarrollar un método de microzonificación de bajo costo y práctico, que pueda ser usado para el planeamiento urbano de las muchas poblaciones pequeñas diseminadas por todo el territorio nacional.

En el área macrosísmica del sismo, salvo Arequipa, todas las demás eran pueblos con menos de 10.000 habitantes. Las investigaciones confirmaron el punto a) y un método simplificado fue exitosamente desarrollado y publicado (11).

La idea central fue desarrollada después de investigarse de que en el Perú, los habitantes de los pequeños poblados se trasladan a pie para usar las instalaciones públicas, como colegios, mercados, etc. Así que el área a ser investigada se reducía drásticamente a unos dos kilómetros a la redonda de los pueblos. Segundo, el área de interés es luego dividida en sectores "homogéneos" con el mismo tipo de suelo, topografía, geología, características del peligro, propiedad, etc. Cada área es calificada de acuerdo a su grado de seguridad, condiciones físicas y costo de dotarse de servicios. Los sectores más seguros son elegidos para la expansión urbana.

## **Método Simplificado para Ciudades Medianas**

En el caso de ciudades medianas que cubren mayores áreas, existen zonas libres entre las áreas construidas y se utilizan vehículos para el transporte público, así que las áreas por desarrollar son más extensas.

En este caso, las posibles áreas a ser desarrolladas son seleccionadas y se les asigna un número a cada una y luego calificadas de acuerdo a sus condiciones físicas, legales, económicas y sociales. Los aspectos físicos que se estudian son: topografía, características de los suelos, grado de seguridad, accesos y facilidad de dotarse de servicios públicos. Desde el punto de vista legal se contempla la propiedad de la tierra. Desde el punto de vista económico se estudia el costo de la habilitación urbana y de la construcción de edificaciones y el uso social del espacio urbano y la posible demanda están considerados dentro del aspecto social.

Luego del estudio de las alternativas se seleccionan las mejores zonas para ser urbanizadas de acuerdo a los criterios anteriores. La ciudad de Moquegua fue seleccionada como un estudio de caso para desarrollar la metodología (19).

### **3. ESTUDIOS DE SITIO**

Son estudios, que tienen las mismas exigencias que para los estudios de microzonificación, pero confinadas a los linderos del terreno seleccionado. Por ejemplo, la ubicación de un hospital existente o la zona general donde se piensa construir un hospital.

Habiéndose cubierto con cierta amplitud los estudios de microzonificación, no es necesario repetir en este punto lo ya expresado anteriormente.

Sin embargo, lo mínimo que debe determinarse es la sismicidad de la región, las características locales de suelo, geología y topografía. También es necesario evaluar la amenaza de otros fenómenos naturales. Por ejemplo, el hospital de Ilo y 2 importantes hospitales del Callao están localizados en zonas de inundación por tsunamis.

### **4. APLICACION DE LA MICROZONIFICACIÓN EN EL PLANEAMIENTO DEL USO DE SUELOS PARA LA MITIGACION DE DESASTRES**

Debido al aumento explosivo de la población, en los centros urbanos más importantes de América Latina y el Caribe, la desordenada expansión urbana está llevando con creciente frecuencia a ocupar zonas marginales altamente peligrosas durante fenómenos naturales, incrementando innecesariamente la población y bienes en riesgo.

En el proceso del planeamiento urbano, después de la determinación de los objetivos de la comunidad, el plan pasa a la segunda fase en el que los estudios básicos son ejecutados. Es obvio que uno de los objetivos de la comunidad debe ser su crecimiento de manera ordenada y segura. En el programa los estudios básicos, se deben incluir las investigaciones de microzonificación.

HABITAT - Centro de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos, convocó a una reunión de expertos en Nairobi, Kenya, donde el autor colaboró en la elaboración de un documento, donde se recomienda a los gobiernos de los países que están amenazados por desastres naturales no permitan la expansión urbana sin antes efectuar estudios de microzonificación del área de interés (20).

El proceso de planeamiento de una comunidad requiere del manejo de gran cantidad de información y algunas veces requiere resolver situaciones complejas y conflictivas. Es un proceso costoso en tiempo y dinero, y que requiere de toma de decisiones políticas. Para beneficiar de manera efectiva a las comunidades donde se realizan los estudios de microzonificación, los resultados se utilizan principalmente para guiar la expansión urbana.

hacia lugares más seguros y donde los costos de habilitación urbana y de construcción sean los menores.

Una de las más poderosas herramientas que poseen los países en desarrollo como el Perú se encuentra en sus mejores estudiantes que desarrollan sus tesis profesionales, las mismas que son intensamente usadas desde hace más de veinte años. Se ha logrado así realizar los estudios de microzonificación de más de 20 ciudades del país.

Por otro lado, las autoridades locales están siendo alertadas de que las comunidades pueden ser protegidas de las calamidades naturales de una manera simple y efectiva a través del planeamiento basado en estudios de microzonificación y que en algunos casos los mapas de microzonificación están disponibles.

## **5. MICROZONIFICACION HERRAMIENTA CLAVE PARA INCLUIR LAS MEDIDAS DE MITIGACION DE DESASTRES EN EL PLANEAMIENTO DEL DESARROLLO REGIONAL**

Una invitación en calidad de conferencista del Centro de Naciones Unidas para el Desarrollo Regional (UNCRD, por sus siglas en inglés), (21), la oportunidad que le brindó OEA de participar en un proyecto de desarrollo regional en Centroamérica (12) y el proceso de regionalización iniciado en el Perú en 1988, incentivaron la creación de una metodología para incluir la mitigación de desastres en el proceso de desarrollo regional, utilizando como herramienta clave la microzonificación.

El objetivo principal de la regionalización en el Perú es el de dar impulso a la descentralización y alcanzar un desarrollo social armonioso en todo el país. En la actualidad casi el 30% de la población del país viven en Lima Metropolitana, donde se concentra cerca del 70% de su actividad económica. Esta situación no es deseable desde el punto de vista de desarrollo y ni del riesgo. El exceso de centralismo de las actividades del país en Lima y otras ciudades importantes, han causado variados problemas que las autoridades nacionales y locales son incapaces de resolver, como falta de oportunidades de empleo, problemas de vivienda, salud, polución, educación, seguridad, etc

La región Grau fue la primera en ser creada, en marzo de 1988, y la primera en elegir a sus autoridades. La decisión de incluir medidas de mitigación de desastres en la región Grau desde el inicio, no fue espontánea sino el producto de una estrategia conjunta que llevaron a cabo el Proyecto Especial Chira-Piura, la Universidad de Piura y el CISMID.FIC/UNI

Otras razones para iniciar los estudios en la nueva región Grau fue que un desastre natural en dicha región, el Fenómeno de El Niño de 1983, tuvo un severo impacto en la economía nacional, y es una de las regiones más ricas del Perú. Grau por ser una región costera, esta amenazada directamente por la interacción de las placas Nazca y Sudamericana y su sismicidad es alta

La región Grau se encuentra en el extremo norte de la costa peruana, limítrofe con el Ecuador, cubre una extensión de 41,135 Km<sup>2</sup> y tiene una población de 1,800.000 habitantes.

Los estudios de microzonificación, usualmente cubren unos pocos Km<sup>2</sup>, mientras que las nuevas regiones del Perú abarcan en promedio 100,000 Km<sup>2</sup>. Es innecesario y prácticamente imposible estudiar tan grandes áreas, inclusive utilizando métodos simplificados. Así que para extrapolar la aplicación de la microzonificación del planeamiento urbano al regional se han establecido los siguientes criterios para el estudio de las zonas prioritarias:

- Ciudades importantes con un alto crecimiento demográfico, como Piura, para guiar su expansión hacia áreas más seguras

- Asentamientos humanos con problemas de seguridad física, como Huancabamba

que se está deslizando por una ladera, para reducir su vulnerabilidad y elegir un nuevo lugar cercano y seguro, donde continuar con su desarrollo.

- La localización de obras de ingeniería de importancia que se construyan en el futuro.

## **6. CODIGO DE CONSTRUCCION PARA LA MITIGACION INTEGRADA DE DESASTRES**

En el desarrollo de los métodos de microzonificación y estudios de sitio, desde el inicio, se han considerado todos los fenómenos naturales que puedan causar daños a las personas y propiedades ubicadas en el área de interés.

A través de más de 2 décadas los métodos y técnicas han ido madurando y mejorando al recibir nuevos aportes de estudios realizados en equipo. Los trabajos más significativos sobre la mitigación de desastres múltiples presentados en reuniones internacionales o a organismos de cooperación internacional son:

- Una metodología para integrar de manera ordenada y racional los resultados de los estudios de todos los fenómenos naturales que pueden afectar el área de interés (21).

- Una propuesta de normas para la mitigación integrada de desastres para la región del Trifinio presentada a OEA/DRD, en 1987 (22)

- Una propuesta de normas integradas para la mitigación de desastres múltiples presentado en la Décima Primera Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica realizada en Acapulco, México en 1996 (23)

Debido a que el último trabajo sintetiza lo avanzado hasta 1996 y puede ser aplicado directamente en proyectos de ingeniería, complementando las normas sísmicas y de vientos, en los países que las tengan vigentes, se presenta a continuación un resumen de lo que se considera más significativo del último trabajo

## **NORMAS INTEGRADAS PARA LA MITIGACION DE DESASTRES MULTIPLES**

### **Objetivos**

El objetivo de estas normas es la protección de las personas y las obras, especialmente edificaciones y líneas vitales, de los efectos negativos de todos los desastres naturales que las amenazan como sismos, vientos extremos, inundaciones, fallas del suelo y actividad volcánica.

### **Estrategia**

Aplicar las lecciones dejadas por pasados desastres con respecto al comportamiento de las obras hechas por el hombre durante la ocurrencia de tales eventos; las fuerzas solicitantes, sus efectos y la influencia de las condiciones naturales de sitio -suelo, geología y topografía- sobre el grado de daños y su distribución geográfica.

### **Alcances**

Estas normas fijan los requerimientos sobre la ubicación general de edificaciones y de componentes de sistemas de líneas vitales, dependiendo de las características del sitio y la importancia de la construcción. Incluye solamente los lineamientos para cargas mínimas de diseño: muertas, vivas, sismos y vientos.

Para el caso de fuerzas actuantes extremas tales como las generadas por explosiones volcánicas laterales, flujos de lodo (lahares), inundaciones súbitas en quebradas de gran pendiente, la medida de mitigación simplemente consiste en no construir en tales lugares. En casi todos estos casos, resulta caro e impráctico para tomar tales fuerzas con la resistencia que de la estructura.

### **Medidas de Mitigación para Desastres Naturales Múltiples**

- i) Consideraciones del grado de peligro

El grado de peligro del sitio puede clasificarse como alto, moderado y bajo.

- Alto

- Suelos muy blandos saturados de agua, rellenos recientes o sueltos reclamados al mar o lagos, ubicados en regiones de alta sismicidad, donde la probabilidad de ocurrencia de licuación y asentamientos del suelo es alto.

- El fondo de cañones angostos que nacen de las cumbres de montaña por donde pueden bajar flujo de barro (lahar) o inundaciones súbita, incluyendo su zona de deposición en los valles

- Areas sujetas a inundaciones tipo desborde con corrientes y fuerzas erosivas muy fuertes.

- El vértice de las bahías en forma de U o V ubicados al borde de océanos donde ocurren sismos tsunamigénicos.

- Zonas donde la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos y avalanchas es alta.

- Areas que bordean un volcán activo que puede ser afectada por flujos piroclásticos o de lava.

- Moderado

Areas donde se esperan importantes a moderada amplificación de las ondas sísmicas, pero no falla del suelo. Zonas amenazadas por inundaciones moderadas por desborde de ríos y tsunamis. En general áreas donde la amenaza de fenómenos naturales es moderada.

- Bajo

Suelos compacto y seco con buena capacidad portante, planos o con pendiente moderada. No amenazadas por inundaciones, fallas del suelo o actividad volcánica.

## ii) Clasificación de la Construcción de Acuerdo a su Importancia y Funciones

Se clasifican en importante, promedio y bajo.

- Importante

Edificaciones que son importantes cuando ocurre un desastre como hospitales, cuarteles de bomberos y policías y lugares donde se aglomeran gran número de personas como estadios, grandes teatros, importantes centros educativos. Edificaciones donde se almacenan objetos

de gran valor como museos, archivos de la nación, o edificaciones donde se almacenan materiales peligrosos.

Componentes de las líneas vitales -agua, energía, transporte- cuya falla puede poner fuera de servicio a todo el sistema, como torres de toma de agua, plantas de tratamiento de agua y líneas troncales de agua. Plantas de generación de energía, patio de transformadores, puentes importantes, centrales estratégicas de telecomunicaciones, etc.

- Promedio

Edificios de departamentos, oficinas y comerciales, hoteles y facilidades industriales

Componentes de líneas vitales cuya falla solo afectaría áreas limitadas o pueden ser sustituidas por elementos redundantes.

- Bajo

Construcciones con bajo grado de ocupación o donde se almacenan materiales de bajo costo o no peligrosos y cuya falla no afecta otras facilidades.

En la Tabla 1, se dan los requisitos exigidos de acuerdo al grado de peligro y la importancia y funciones de la construcción

**TABLA 1**

**GRADO DE PELIGRO DE SITIO-IMPORTANCIA Y FUNCIONES DE LA CONSTRUCCION**

GRADO DE PELIGRO DEL SITIO	IMPORTANCIA Y FUNCIONES DE LA CONSTRUCCION	
	a) Importante	b) Promedio
1) Alto	No permitida, pero si en casos excepcionales apoyado por estudios completos del sitio y buenas soluciones ingenieriles y planes de evacuación.	Igual que la)
2) Moderado	Se recomienda un detallado estudio de sitio para solucionar la mejor ubicación para las facilidades y reducir costos de construcción.	Investigaciones de sitio de acuerdo a las prácticas usuales de ingeniería
3) Bajo	Idealmente la mejor ubicación para las construcciones importantes como hospitales. Investigaciones de sitio de acuerdo a prácticas usual de ingeniería.	

## Fuerzas que Actúan sobre las Construcciones

- En adición a las cargas muertas y vivas en regiones sísmicas o aquellas expuestas a vientos extremos, las fuerzas generadas por estos fenómenos deberán ser consideradas, pero no se asumirá que actúan simultáneamente.
- En áreas amenazadas por caída de nieves o cenizas volcánicas no se usaran techos planos. Los techos tendrán la adecuada pendiente y resistencia.
- En caso de fuerzas extremadamente violentas como explosiones volcánicas laterales, flujos de barro (lahares) o inundaciones súbitas en quebradas con alta pendiente, lo más recomendable es no construir en lugares expuestos a estos fenómenos. Resulta desmesuradamente costoso e impráctico, tomar tales fuerzas con la resistencia de la construcción.

Nota: La mayoría de países cuentan con especificaciones de cargas bien establecidas. Estas recomendaciones no pretende cambiar esas especificaciones, sino alertar a los ingenieros y planificadores que es racional evitar construir instalaciones importantes en zonas de alto peligro. Si es absolutamente necesario hacerlo, deberá tomar todas las medidas de protección necesarias, lo cual en casi todos los casos, elevan considerable los costos de construcción.

## 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En conclusión, en este trabajo se dan los criterios, los métodos y técnicas para realizar estudios de microzonificación y de sitio, con los cuales es posible seleccionar la ubicación más adecuada para establecimientos de salud.

Como consecuencia de ello el terreno seleccionado es en la mayoría de casos, el más seguro en la zona general donde se planifica localizar la instalación de salud y su costo de construcción menor que en otros lugares. En la tabla 1 se trataría de llegar al casillero 3<sup>a</sup>) es decir que una construcción esencial como un hospital después de la ocurrencia de un fenómeno natural extremo, se localice donde el peligro es menor, lo que es una situación ideal

En casos extremos, aunque no es recomendable, pero si no hay otra alternativa, es posible aceptar terrenos con ciertos peligros altos, por ejemplo donde se prevea grandes amplificaciones de las ondas sísmicas o licuación del suelo que es posible superarla técnicamente, pero a un corto mayor que a un suelo compacto firme y plano o con poca pendiente.

Donde de ninguna manera deben construirse hospitales, son terrenos donde las fuerzas a la que estarán expuestas son tan grandes, como flujos rápidos que contienen grandes rocas, fondo de quebradas que drenan caras de volcanes, activos sectores con gran probabilidad de

deslizamientos, etc., que se puede perder el 100% de las facilidades y causar numerosas víctimas, incapaces de movilizarse en caso de emergencia como son los pacientes.

## RECONOCIMIENTO

Gran parte de lo incluido en este trabajo es el fruto y esfuerzo de egresados, principalmente de la UNI y también otras universidades peruanas, quienes han desarrollado sus tesis profesionales con gran capacidad y dedicación. También es el fruto de trabajo de consultorías privadas. El autor expresa su agradecimiento a sus ex-alumnos y colegas por el trabajo armónico en equipo, que permitieron ir alcanzando los objetivos y metas quinquenales que se programaron.

A los organismos internacionales que con su apoyo han hecho posible las investigaciones: JICA, USAID, CIDA, DHA/Geneva, OPS/OMS, OEA, UNDP, UNCRD, HXBITAT, UNEP, USNSF, y UNU; INDECI y otras instituciones peruanas.

A las autoridades de la UNI por el constante apoyo y estímulo.

## REFERENCIAS

1. SECRETARIA DE SALUD, MEXICO. Información proporcionada por el Dr. Julio Malpica durante la Reunión del Comité Asesor sobre Mitigación Hospitalaria, PED-OPS/CMS. Ciudad de México, 21-23 de julio, 1997.
2. RECOMENDACIONES. "Conferencia Internacional sobre Mitigación de Desastres en Instalaciones de Salud", Pub. OPS/PED/96.48, México 26-28 de febrero, 1996.
3. KUROIWA, J. y R. KOSAKA. "Microzonation As a Key Tool for Disaster Mitigation Planning". Mem. 5<sup>ta</sup>. Conf. Int. sobre Zonificación Sísmica, Vol. I, 794-801, Niza, Francia, octubre, 1995.
4. KUROIWA, J. y D. ZUPKA. "Peru's Program for Disaster Mitigation 1992-1995". Conf. Internacional y Exposición sobre Reducción de Desastres Naturales, Mem. Edit. por ASCE, Washington, D.C., 1996.
5. KUROIWA, J. y J. ALVA. "Microzonation and its Application to Urban and Regional Planning for Disaster Mitigation in Perú", Mem. 4ta Conf. Intern. sobre Zonif. Sísmica, Vol. I, 711-793, Stanford, C.A., 1991.
6. GRUPO INTERDISCIPLINARIO. MINSAL-OPS. Informe de Avance "Diagnostico de la Vulnerabilidad sísmica de Hospitales en el Perú", Lima, julio, 1997.

7. MORIMOTO, R.; KOIZUMI, Y.; MATSUDA, T. y M. HAKUNO "Seismic Microzoning of Chimbote Area, Perú", Overseas Technical Cooperation Agency, Government of Japan, 1971.

8. KUROIWA, J.; DEZA, E.; JAEN, H. "Investigation of the Peruvian Earthquake of May 31, 1970", Memorias del V Congreso Mundial de Ingeniería Sísmica, Vol 1, 447-451, Roma, junio, 1973.

9. KUROIWA, J. y KOGAN, J. "Repair and Strengthening of Buildings Damaged by Earthquakes", Memorias del VII Congreso Mundial de Ingeniería Sísmica, Vol 4, 569-576, Estambul, setiembre, 1980.

10. KUROIWA, J., DEZA, E.; JAEN, H. y J. KOGAN. Microzonation Methods and Techniques Used in Perú", Memorias del 2do. Congreso Internacional de Microzonificación Sísmica, Vol 1, 341-452, San Francisco, C.A., noviembre, 1979.

11. KUROIWA, J. "Simplified Microzonation Method for Urban Planning", Mem. 3ra. Conf. Intern. de Microzonificación Sísmica, 753-764, Seattle, W.A., julio, 1982.

12. KUROIWA, J. "Evaluación de los Riesgos de los Desastres Naturales en la Región del Trifinio", Informe especial a OEA/DRD y al Proyecto Trifinio, 59 pags., Guatemala, agosto, 1987.

13. KUROIWA, J. ATP Programa de Mitigación de Desastres en Colombia. Informes a UNDRO-DHA/Geneva, 1989-1992.

14. KUROIWA, J. "Tsunamis. Posibles Efectos sobre las Costas de Lima Metropolitana", Informe de un estudio auspiciado por la oficina de las Naciones Unidas para Atención en Caso de Desastres, 91 pag., Lima y Ginebra, 1983.

15. KUROIWA, J. y KOGAN, J. (Lima) & PREUSS, J. y PREUSS, R. (Seattle, WA). "Plan de Preparación para Tsunamis", Informe especial al Sistema Peruano de Defensa Civil y USAID/OFDA, Lima y Seattle, 1989

16. KUROIWA, J. "Tsunamis". Localities Studied in Perú from 1981 to 1994

Edit. y Publ. por UNDHA/Geneva. Vol. de 46 pags. Lima & Ginebra, Nov. 1995.

17. KUROIWA, J.; ALEGRE, E.; SMIRNOFF, V. y J. KOGAN. "urban Planning for Disaster Prevention in the Low Coastal Area of Metropolitan Lima", Mem. VIII Conf. Mundial de Ingeniería Sísmica, Vol VIII, 801-808, San Francisco, CA, julio, 1984.

18. GIESECKE, A.; ARZOLA, P.; HERNANDEZ, B.; GONZALES, O.; HALL, M.; PODESTA, B.; RODRIGUEZ, A. y SARRIA, A. "Riesgos Volcánicos, Evaluación y Mitigación en América Latina, Aspectos Sociales, Institucionales y Científicos". CERESIS, Lima, 1989.
19. VISCARRA, M. "Microzonificación Sísmica de Moquegua Aplicada al Planeamiento Urbano para la Mitigación de Desastres Naturales Empleando el Método Simplificado". Tesis profesional, UNI-FIC, Lima, 1986.
20. KUROIWA, J. "Studies of the Prevention of Earthquake Disasters and Their Application in Urban Planning in Perú", Reunión de expertos convocado por HABITAT, sobre el tema: "Planeamiento de Asentamientos Humanos en áreas amenazadas por desastres", Nairobi, enero, 1982.
21. CISMID.FIC/UNI. "The Natural Disasters and the Social and Economic Development Plan of the Grau Región", Piura y Tumbes, febrero, 1990.
22. KUROIWA, J.; KUMAGAI, Y. y SATO, J. "El Desarrollo Económico y Social de la Región Grau y los Desastres Naturales, Base para un Plan Nacional para su Prevención y Mitigación", Memoria del VIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Piura, setiembre, 1990.
23. KUROIWA, J. "Physical Planning for Multi-hazard Mitigation", Memorias del Simposio Internacional sobre Desastres Naturales y Provocados por el Hombre, 805-816, Rimouski, Quebec, Canadá, agosto, 1986.
24. KUROIWA, J. "Recomendaciones (Normas) Integradas para la Mitigación de Desastres Naturales en la Región del Trifinio", Informe especial a OEA/DRD y al Proyecto Trifinio, 57 pags., comentarios 14 pags, Guatemala, agosto, 1987.
25. KUROIWA, J. "Integrated Code for Multihazard Mitigation", Mem. 11 Conf. Mundial de Ing. Sísmica, en CD-ROM. Acapulco, México, junio, 1996.