



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CENTRO PERUANO JAPONES DE
INVESTIGACIONES SISMICAS Y
MITIGACION DE DESASTRES



{Texto de la Conferencia presentada en el Seminario Internacional de Planeamiento, Diseño, Reparación y Administración de Hospitales en Zonas Sísmicas Realizado en Lima - Perú, del 20 de Agosto al 9 de Setiembre de 1989)

LOCALIZACION DE HOSPITALES PARA LA PREVENCIÓN Y
MITIGACION DE DESASTRES

Por: Ing. Julio Kuroiwa Horiuchi

RESUMEN

Por el importante rol que desempeñan los hospitales en el socorro de las víctimas al ocurrir desastres naturales, ellos no deben dañarse, quedando fuera de servicio.

El primer y fundamental paso para lograr el objetivo mencionado consiste en ubicar el hospital en armonía con el medio físico, con la naturaleza. Según la experiencia acumulada por el autor estudiando los desastres naturales más frecuentes en la América Latina en los últimos 20 años: terremotos, inundaciones, huracanes, vulcanismo y tsunamis, las condiciones naturales de sitio dadas por las características de suelo, topografía y geología, son determinantes en la gravedad y extensión de los daños que aquellos causan.

Estudiar los desastres y sus efectos permiten seleccionar los sectores más seguros donde construir los hospitales. A estos estudios se les llama Microzonificación; y a los daños de diferente gravedad en localizaciones cercanas unas de otras se les llama efecto de microzona.

En este trabajo se dan una serie de ejemplos de efectos de microzona que ayudarán al lector a comprender cuán importante resulta ser la localización física del hospital en la mitigación de los efectos de los desastres naturales; y se dan criterios y métodos de microzonificación para seleccionar la mejor ubicación de los hospitales. Los estudios fueron desarrollados principalmente para el planeamiento urbano y adaptados a este trabajo a fin de mejorar las condiciones físicas de seguridad y disminuir los costos de construcción y mantenimiento.

INTRODUCCION

Por el importante rol que desempeñan los hospitales en caso de desastres, los daños admisibles en sus instalaciones son mínimos, debiéndose mantenerles operativos para atender a las víctimas.

Este es el principal objetivo a ser logrado, cuando se diseñan y construyen hospitales en zonas amenazadas por desastres naturales.

El primer paso y quizás el más importante, consiste en optimizar su ubicación dentro del área general asignada. El presente trabajo ofrece criterios que minimizan los riesgos frente a los desastres naturales; y da la metodología para estudiar las condiciones naturales del área de interés.

Según estudios efectuados por el autor con respecto a los efectos destructivos de terremotos y otros desastres naturales violentos ocurridos en el Perú (1)(2)(3)(4) y en América Latina (5)(6)(7) en los últimos 25 años, las condiciones naturales del área, definidas por su topografía, características de suelo y geología, son determinantes en el grado de daños sufridos por edificaciones y otras obras de ingeniería.

En muchos casos, se ha podido observar que sectores adyacentes o separados unos pocos kilómetros han sufrido daños de grados muy diferentes. Por ejemplo, en la Ciudad de México, en el terremoto del 19 de setiembre de 1985, un sector de unos 30 Km² ubicado en el fondo del antiguo lago Texcoco con suelo fangoso, alrededor de 300 edificios colapsaron o sufrieron daños tan graves que hubo o habrá que demolerlos; en la parte alta de dicha ciudad, construida sobre conglomerado compacto o suelo rocoso, prácticamente no hubo daños. A este fenómeno se le llama efecto de microzona.

Los estudios que permiten seleccionar la mejor ubicación para los hospitales se llama microzonificación. En estos estudios, que son multidisciplinarios, se consideran todos los fenómenos naturales que ha afectado o pueden afectar al área en estudio, como: terremotos, inundaciones, avalanchas, deslizamientos, fallas de suelo etc. (8)(9); dividiéndola luego en sectores de diferente peligro. Las instalaciones más importantes de los hospitales y sus principales accesos se ubicarán entonces en los sectores más seguros.

En el Perú, en los últimos 10 años los estudios de microzonificación en la planificación urbana para mitigar los efectos destructivos de los fenómenos naturales (10)(11)(12).

Las investigaciones de carácter histórico, complementan los estudios de microzonificación, pues la gravedad la ubicación de los daños más severos causados por pasados eventos, suelen ser en muchos casos repetitivos, como en Armero, Colombia, ciudad que fue destruida en 1857 y 1985, y adicionan valiosas informaciones, con lo que es posible seleccionar la mejor ubicación para hospitales. Esto permite diseñar y edificar hospitales más seguros y disminuir sus costos de construcción.

2.0 EFECTOS DE MICROZONA Y EL DESARROLLO DE METODOS Y TECNICAS DE MICROZONIFICACION

2.1 La Experiencia Peruana

El terremoto del 24 de mayo de 1940, ha sido el más destructivo entre los ocurridos en el área de Lima en el presente siglo ($M = 8.2$) y mostró claros efectos de microzona. (13)

El epicentro se ubicó a unos 110 Kms. al N-W de Lima. En el valle del Rímac, donde se asienta Lima, las intensidades variaron de VI-VII MM, en la mayor parte del valle donde el suelo es conglomerado de gran espesor, seco, compacto y tiene una capacidad portante superior a 5 Kg/cm²; grado VIII MM entre el área indicada y las que se indican abajo, donde la intensidad llegó a grado IX MM:

- El Callao, principal puerto marítimo peruano, ubicado a unos 14 Km al W de Lima, donde el suelo es de grano fino con presencia de turba en varios sectores y la napa freática muy cerca a la superficie.
- Chorrillos, ubicado 10 Kms al sur de Lima, donde el suelo es de grano fino, arcilla y limo, por la baja velocidad con que las partículas de dichos suelos fueron depositados en el extremo sur del valle.
- La Molina, que es un pequeño valle de 2 x 3 Kms, ubicado a unos 4 Kms. al este de Lima. El suelo es de grano fino, limo y arcilla, de manera predominante. En su lado N-W hay depósito de arena eólica. La napa freática se ha ido deprimiendo de unos 4 a 7 mts. hace unos 40 años, a más de 15 a 20 mts. en la actualidad.

Los sismos intensos que afectaron Lima con posterioridad al año 1940: 1966, 1970 y 1974, tuvieron mapas de isosistas similares, es decir, prácticamente se repitieron la distribución de intensidades sísmicas.

La zona de la Molina merece especial atención porque en ella se ubica la Universidad Nacional Agraria (UNA), cuyas instalaciones fueron destruidas o sufrieron graves daños, además de los años antes citados, en 1908

y 1932. En la UNA todavía están en construcción los edificios que reemplazarán a los dañados en 1974.

Por otra parte, las débiles construcciones de adobe ubicadas en el centro del valle del Rímac, que corresponden a las zonas antiguas de Lima Metropolitana: Cercado, Barrios Altos, Rímac, Magdalena, Miraflores, etc. son anteriores a 1940 (pues después de ese terremoto, dichas construcciones fueron prescritas en esta ciudad) y se mantienen habitadas y en relativas buenas condiciones, a pesar de haber soportado 4 sismos de magnitudes entre 7.5 y 8.2 ocurridos en los últimos 50 años. Hay, además, un buen número de construcciones, de adobe en el 1er. piso y quincha en el 2do., que tienen entre 100 y 200 años y se mantienen en uso. Esto permite llegar a la conclusión que en el centro del valle del Rímac la intensidad no ha sobrepasado el grado VII MM en los últimos 200 años; mientras que en la Molina la intensidad ha llegado al grado IX MM en repetidas ocasiones en los últimos 50 años.

Por las razones expuestas, la Universidad Nacional de Ingeniería UNI de Lima-Perú, se interesó y comenzó a desarrollar métodos y técnicas de microzonificación. Con tal objetivo, en 1969, tuvo durante varios meses, en calidad de profesor visitante al Dr. Yasumori Koizumi, para entonces jefe del Dpto. de Investigaciones Geotécnicas del Instituto de Investigación de la Edificación (B.R.I., por sus siglas en inglés) del Ministerio de Construcciones del Japón.

Ocurrido el terremoto del 31 de mayo de 1970, que devastó unos 80,000 Kms² del territorio peruano ($M=7.8$) y dejó unas 67,000 víctimas, una misión de la UNI visitó la zona macrosísmica con la finalidad de inspeccionar los daños en una etapa preliminar, y cuantificar la magnitud del desastre. Se pudo notar claros efectos de microzona en Chimbote y Huaráz; solicitó la cooperación técnica del gobierno del Japón para efectuar los estudios de microzonificación de la ciudad de Chimbote, para entonces, el principal puerto pesquero del mundo. La Agencia de Cooperación Técnica de Ultramar (OTCA - por sus siglas en inglés), envió una misión científica dirigida por el profesor Ryohei Morimoto, para entonces Director del Instituto de Investigaciones Sísmicas de la Universidad de Tokio (14).

El planeamiento para la reconstrucción de Chimbote, y su futuro desarrollo urbano se hizo con los auspicios del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (15) basado en los estudios de microzonificación de Chimbote realizado por la misión japonesa y su contraparte peruana, entre los que estuvo el autor de este trabajo.

Posteriormente, el grupo peruano conformado por miembros del Instituto Geofísico del Perú, Instituto de Geología, Minería y Metalurgia y la UNI efectuaron los estudios de microzonificación de Huaraz (1) Caraz, Recuay, Casma y Huarney.

Los métodos y técnicas de microzonificación se siguieron desarrollando, y en 1978, estaban actualizados con las técnicas más avanzadas de entonces (8), y cumplían con los requisitos exigidos para el estudio de microzonificación de emplazamientos de reactores nucleares, exigidos por la Comisión Japonesa de Energía Atómica. Esta última información, fue gentilmente proporcionada al autor, por el Dr. Makoto Watabe, para entonces Director del Instituto Internacional de Sismología e Ingeniería Sísmica (IISEE, por sus siglas en inglés) del BRI. Por ejemplo; la parte de dinámica de suelos fue la adaptación de métodos desarrollados en la Universidad de California, Berkely. Esta metodología se empleó en la investigación del emplazamiento del reactor nuclear experimental de Huarangal. La metodología así implementada resultó demasiado costosa y sofisticada para un país en vías de desarrollo como el Perú.

Por esta razón al ocurrir el terremoto de Arequipa de febrero de 1979 (3), se estudiaron los efectos de dicho terremoto y se desarrollaron métodos y técnicas simplificadas de microzonificación para ser aplicado en el planeamiento físico de pequeñas y medianas poblaciones para mitigar los efectos de los terremotos y otros desastres naturales (9).

En la presente década la metodología desarrollada fue aplicada en el planeamiento físico de la Ciudad Constitución fundada en la selva peruana en 1984. Estos estudios fueron efectuados con los auspicios de HABITAT (11); en la planificación preliminar de los 100 Kms. de costas de Lima Metropolitana (16)(17) y la planificación urbana de Punta Negra (18). Los últimos estudios fueron auspiciados por UNDRO y USAID, respectivamente.

El Fenómeno del Niño de 1983, permitió investigar los graves daños que causan las lluvias torrenciales y las inundaciones en zonas desérticas donde "nunca" llueve, y la infraestructura no está preparada para soportar dichos fenómenos.

Los daños directos en la costa norte del Perú llegaron a más de US\$ 700'000,000.= Pero lo grave es que al destruirse las vías de comunicación (carreteras, caminos y puentes), sistema de irrigación (bocatomas, canales, sifones) y otras infraestructuras, como pozas para el cultivo de langostino, el aparato productivo de la costa norte del país quedó también destruido. Esto estuvo unido a la aguda sequía del altiplano del sur-este del país, y a problemas del manejo económico, el PBI descendió en 1983 en 12.4% , perdiéndose en ese año, todo lo ganado en los otros años del quinquenio 1980-85, teniéndose por lo tanto un crecimiento cero en esos cinco años. Esto demuestra la importancia de incluir los desastres naturales en los planes de desarrollo económico y social de los países en vías de desarrollo.

Pero volvamos a los ejemplos de microzona, que fueron muchos en la zona afectada por el fenómeno del Niño en la costa norte del Perú. Por razones de espacio, solo se citarán algunos ejemplos:

Piura y Tumbes, capitales de los departamentos de los mismos nombres, sufrieron inundaciones y efectos erosivos, en franjas que corresponden a quebradas que cruzan sus zonas urbanas. En Piura, las zonas bajas, cuyos límites quedaron enmarcados por las inundaciones, permanecieron bajo 0.5 a 2 mts. de agua por varios meses, destruyéndose las construcciones de adobe y quedando las alcantarillas colmatadas. Talara principal centro petrolero del país, quedó cubierto en una gran extensión por 1 a 2 mts. de arena que bajó a manera de una incontenible catarata, desde una plataforma superior que rodea la ciudad. La parte afectada corresponde a la zona de deposición de dicho material.

Lo ocurrido en Sullana, deja valiosas enseñanzas en lo que se refiere a planificación urbana y ubicación de los hospitales en caso de inundaciones. Su parte antigua que se desarrolla en una zona alta, en el lado norte de dicha ciudad, no sufrió los efectos destructivos de los fenómenos del Niño

de 1925 y 1983, los más violentos de este siglo. La ciudad en su expansión ocupó la zona denominada la "Quebrada", el fondo de un valle con sección en "V" muy abierta. Las lluvias se habían estado acumulando detrás de las plataformas de las carreteras Panamericana y Tambo Grande, perpendiculares entre si, de unos 4 mts. de alt. sobre el terreno natural ubicados en la parte alta de la ciudad. El agua rebazó y erosionó dichas plataformas en 2 oportunidades, rompiéndolas bruscamente. En esas ocasiones, olas de 3 a 4 mts. de altura bajaron violentamente cuesta abajo por la quebrada, destruyendo por su efecto hidrodinámico y poder erosivo, edificaciones, sistema distribución de agua y alcantarillado, redes eléctricas y de teléfono, pavimentos y calzadas, en un ancho de 1 a 3 manzanas y unos 2.5 Kms. de longitud. Para evitar problemas similares en el futuro, en el fondo de la quebrada se ha construido un canal, vía. En época normal es una autopista. El cruce con calles y avenidas perpendiculares son malos y el conjunto constituye en época de lluvias torrenciales, un sistema de drenaje que impedirá la acumulación de agua.

2.2 Desastres Naturales ocurridos en Latinoamérica en 1985 y sus efectos de microzona

El año 1985 fué trágico para la América Latina. Tres desastres naturales dejaron decenas de miles de víctimas y cuantiosos daños materiales del orden de varias decenas de miles de millones de dólares americanos.

Los terremotos de Chile (Marzo 3, $M = 7.8$) y de México (Septiembre 19, $M = 8.1$) y la tragedia vulcanológica de Armero, Colombia (Noviembre 13), fueron estudiados por el autor con especial énfasis en sus efectos de microzona, con la finalidad de entender mejor como las condiciones locales de suelo, geología y topografía influyen en la severidad de los daños y su distribución geográfica, mejorando de esta forma, los métodos y técnicas de microzonificación y su aplicación al planeamiento urbano comenzado a desarrollarse en el Perú, 15 años antes. También con el objeto de usar los resultados de esta investigación para convencer a los planificadores y políticos, que la manera más efectiva y económica de evitar futuras pérdidas humanas y materiales, es ubicar las construcciones de acuerdo a las enseñanzas que la propia naturaleza nos dicta.

En Chile, los daños más severos ocurrieron en Valparaíso, en el llamado "Plan", zona de terreno reclamada al mar. En San Antonio, los daños más severos ocurrieron en suelos arcillosos poco compactos, húmedos y topografía ondulante. El muelle de dicho puerto construido con rellenos, entre tablestacas, quedó destruido y fuera de servicio.

En Viña del Mar, 2 de los 3 edificios altos construidos en un terreno arenoso saturado, cerca al mar sufrieron severos daños. El tercero prácticamente no sufrió daños, principalmente por su adecuado planteamiento estructural para tomar sismos.

En México, un sismo con epicentro en el Océano Pacífico frente a Lazaro Cárdenas, acusó en general daños moderados en la costa, cerca al epicentro, pero daños severos a 400 Km. de distancia, en un sector de ciudad de México de unos 30 Km²., donde unos 300 edificios de 6 a 15 pisos colapsaron o sufrieron daños tan severos que fueron o tienen que ser demolidos. La zona más afectada se ubica en el fondo del antiguo lago Texcoco, conformado por suelo fino saturado de agua y muy compresible ubicado en un extremo de dicho lago adyacente a la zona de transición. Mientras que en la zona de lomas conformado conglomerado seco y compacto y/o roca volcánica, los daños fueron mínimos y la intensidad sísmica unos 3 grados MM menor, a pesar de estar separado por unos pocos kilómetros (5). Fenómenos similares se registraron en el terremoto de 1957, cuando el 95.6% de daños se registró en la zona de suelo compresible, 4% en la zona de transición y solo 0.4% en las lomas (19).

Un estudio más reciente (20) en la cual se adoptó la capacidad de los edificios severamente dañados como medida cuantitativa de la intensidad sísmica del terremoto de 1985, encontró que las zonas de máxima intensidad se encuentran en zonas de suelo blando ubicados entre zonas de terreno firme.

Vale la pena también mencionar que la parte más afectada corresponde al vértice de una bahía en forma de "U", si se asume que en lugar de barro saturado, se tuviera agua. Esto concuerda con la teoría de tsunamis que dice que la mayor altura que alcanza el tsunamis en tierra (run-up) ocurre precisamente en los vértices de las bahías en forma de U, V o W.

Lo que ocurrió en Armero, Colombia, es una lección que no debe olvidarse. Esta ciudad se ubicaba en el cono de deyección del río Lagunillas, justo a la salida de un estrecho y profundo cañon. El río Lagunillas y su tributario el río Azufrado, drenan el flanco N y N-E del volcán Monte del Ruiz donde se ubica el crater Arenas, que entró en erupción el 13 de noviembre de 1985, derritiendo la nieve de esta montaña, y arrastrando el agua represada en un deslizamiento anterior. Millones de m³ de barro, piedra y agua bajan por el cañon mencionado, arrasando la ciudad y causando la muerte de 23,000 de sus 30,000 habitantes.

El mapa de amenaza volcánica preparado por INGEOMINAS antes de la tragedia, indicaba claramente, que la ciudad de Armero se ubicaba en una zona de alto peligro, resaltando su pésima ubicación con respecto al volcán.

Los resultados de los estudios de los 3 eventos: 2 terremotos y una erupción volcánica, reafirmaron que las condiciones de locales de suelo, geología y topografía son determinantes en la gravedad y distribución de daños, y que el desarrollo de métodos y técnicas de microzonificación y su aplicación en el planeamiento físico para mitigar los efectos de los desastres naturales, es la mejor manera de hacerles frente y, que toda experiencia, es de gran utilidad para ubicar hospitales por el importante rol que desempeñan en socorrer a las víctimas.

3.0 MICROZONIFICACION Y SU APLICACION PARA SELECCIONAR LA UBICACION DE HOSPITALES

Para seleccionar la mejor ubicación de un hospital con el objeto que los efectos destructivos de los desastres naturales sean mínimos, en general se pueden presentar 2 casos:

- a) Optimizar la ubicación del hospital en una zona disponible relativamente extensa.
- b) Seleccionar el mejor terreno para el hospital, entre varios disponibles

Para el caso "a", se puede efectuar un estudio de microzonificación en la que se considera todos los fenómenos naturales que pueda afectar el área

en estudio, y luego dividirla en sectores de diferente peligro. Las instalaciones y accesos principales del hospital se ubicarán en los sectores más seguros. En la Ref. 8 se podrá encontrar un método completo y en la Ref. 9 un método simplificado.

Sin embargo, en este trabajo se incluye, un resumen actualizado, de ambos.

En el 1er. método con microzonificación se incluyen los estudios detallados de todos los fenómenos naturales que pueden afectar el área en investigación:

- Sismología

Usando la información de terremotos históricos y la actividad tectónica, se determina el nivel regional de actividad sísmica; con lo que se fija su importante relativa dentro de los fenómenos que afectan el área. Posteriormente sirve para determinar el coeficiente sísmico de diseño de las edificaciones y otras construcciones.

- Geología

Por inspecciones de campo, interpretación de fotografías aéreas y la correlación entre las estructuras geológicas locales con la estructura regional, el geólogo determina el grado de seguridad del área basándose en la litografía encontrada (tipo de rocas, características estructurales, fracturas, fallas, folding, etc.), y la posibilidad de ocurrencia de fenómenos de geodinámica externa como: deslizamientos, inundaciones, erosiones, avalanchas, etc. El aspecto hidrogeológico es una parte importante del estudio. La investigación da como resultado un mapa de microzonificación geológica el cual debe ser usado como primer Input para planificador urbano y para efectuar un buen programa de exploración de suelos que en general es costoso, de tal manera que el número de perforaciones sea el mínimo, ahorrando así tiempo y dinero.

- Mecánica de suelos

La distribución de los pozos de exploración de suelos y su profundidad puede ser basado en el diseño preliminar tridimensional efectuado por el plani

ficador, así como en las investigaciones geológicas previas. La determinación de capacidad portante del suelo a nivel de cimentación y la determinación de la profundidad de la napa de agua, son dos de las más importantes informaciones que deben ser determinadas. Si se va efectuar estudios de Dinámica de Suelos, los parámetros estáticos como densidad del suelo, espesor de los estratos, etc. son también determinados en esta etapa de las investigaciones.

Dinámica de Suelos

Las velocidades de las ondas P y S son los parámetros del suelo más importantes por determinar. Al presente existen en el mercado instrumentos para efectuar dichas mediciones, que son fáciles de usar y mantener. Utilizando las perforaciones realizadas en los estudios de Mecánica de Suelos para instalar geófonos a distintas profundidades, se generan ondas P y S en la superficie mediante golpes dados con un martillo a una pieza de madera, la cual está presionada contra el suelo, registrándose señales con las cuales es posible determinar las velocidades mencionadas. Este método se conoce como Down Hole, existiendo otros métodos parecidos (Up Hole, colocando explosiones a diferentes profundidades y geofónos en la superficie: Cross Hole, donde se utilizan 2 perforaciones y empezando desde la parte más profunda, se explotan pequeñas cargas en una de ellas y se recoge la señal en el otro pozo; y se va subiendo hasta llegar cerca a la superficie).

Entonces, si a través del modelo dinámico de suelo diseñado con los datos anteriores, se filtran registros de sismos reales o sismo artificiales que se supone parten de la roca o de un suelo rígido, se puede determinar las características dinámicas de los estratos a través de las cuales pasan estas ondas. Procesada la señal: simulada en un computador y escalándola convenientemente, se puede determinar el espectro de diseño sísmico.

En general, esta parte podría omitirse para efectuar los estudios de un hospital poco importante. Si se desea realizar un estudio sofisticado de hospitales importantes, incluyendo la respuesta dinámica del equipamiento se podría emplear esta parte.

Una alternativa a ésta metodología es el despliegue de 10-15 sismografos para registrar simultaneamente sismos de pequeña y moderada magnitud (de 4 a 6) que son relativamente frecuentes y procesar los registros para obtener los espectros de respuesta.

Estudios realizados de sismos, en la zona de la Molina, en 1985, por un equipo encabezado por el Dr. Brian Tucker, actualmente geólogo jefe del estado de California, en la que participó el autor, los resultados tuvieron muy buena correlación con espectros obtenidos de sismos intensos registrados en acelerografos.

Pero en general para diseño de hospitales basta ubicarlo bien y emplear coeficientes sísmicos en sus análisis.

Otras Investigaciones

Si no existen mapas topográficos adecuados es necesario efectuar un levantamiento del área, ya que es la información básica para el diseño. Además, este mapa ayuda a ubicar y delimitar las zonas que pueden ser afectadas por ciertos desastres naturales, como por ejemplo, las áreas bajas que pueden ser afectadas por inundaciones, o las zonas de fuerte pendiente que pueden ser susceptible de deslizamientos. Conociendo el área de la cuenca y estimando la intensidad de las lluvias es posible prevenir los drenajes, etc. La información batimétrica de unas decenas de kilómetros de la línea costera es necesaria para estudiar la refracción de ondas de los Tsunami de origen cercano, con lo cual es posible calcular el tiempo de arribo del tsunami y estimar la altura de las olas y las áreas que serán inundadas. Si el área contiene suelos que están sobresaturados y consisten en arenas finas, la posibilidad de licuefacción debe ser investigada.

Ingeniería de Desastres

En la metodología desarrollada la coordinación de las diferentes especialidades ha sido efectuada por el Ingeniero Sísmico, porque él tiene un conocimiento amplio del problema y generalmente es responsable del diseño estructural. Puede por lo tanto señalar, los valores de los diferentes coeficientes sísmicos dentro de rangos prácticos y asimismo puede decidir en coordinación con los otros especialistas en que detalle deben ser evaluados los estudios de microzonificación sísmica.

Sin embargo, el fenómeno del Niño de 1983, que azotó la costa occidental norte de Sudamérica demostró que los fenómenos hidrometeorológicos pueden causar daños muy graves, por lo que además de conocimientos de sistemas, el coordinador debe tener de conocimientos de otros fenómenos naturales violentos, creando la necesidad de una nueva especialidad, la Ingeniería de Desastres.

Para el caso "b", donde se disponen de varios terrenos donde ubicar el hospital, se podrá utilizar el método simplificado de la referencia 9, con la variante aplicada para efectuar la microzonificación de la ciudad de Moquegua (21).

La idea básica es la siguiente: Los terrenos disponibles se califican según los siguientes criterios: topografía, seguridad física contra desastres naturales y generados por el hombre (en Moquegua algunos de los lotes estaban en los conos de vuelo del aeropuerto), uso del suelo, accesibilidad, factibilidad, de servicios, tenencia, usufructo, costos de habilitación, uso social del espacio y demanda. Se tiene en cuenta así factores físicos, legales, económicos y sociales. Con pequeños cambios, adaptándolo al caso de hospitales, esta metodología no solamente permite seleccionar la mejor ubicación del hospital desde el punto de vista de seguridad física y costos, sino también de accesibilidad y comodidad para los usuarios del hospital.

4.00 DESASTRES NATURALES MAS FRECUENTES EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE Y SUS IMPLICANCIAS EN LA UBICACION DE HOSPITALES

Un informe de UNDR0 presentado en una reciente reunión (22) y el mapa mundial de los peligros de la naturaleza (23) dan una buena idea de los tipos de desastres naturales más frecuentes que ocurren en la América Latina y el Caribe, y que hay que tener en cuenta al ubicar hospitales.

Por su parte, el autor con el auspicio de diferentes agencias nacionales e internacionales ha estudiado los terremotos del Perú de 1963, 1968, 1970, 1974, y 1979. Terremotos de México (1985), Chile (1960 y 1985), Caracas (1967), Nicaragua (1972) y San Salvador (1986). Ha asesorado o dirigido estudios

de inundaciones en Perú, la Argentina, El Salvador, Guatemala y Honduras. Tsunamis en Perú, Ecuador y Colombia. Actividad volcánica y huracanes en el Trifinio (10,000 Km de territorio fronterizo de El Salvador, Guatemala, Honduras).

De las informaciones mencionadas se resume lo siguiente:

Entre 1980 y 1985, según estadísticas de UNDRO, los eventos que han afectado las Américas, causando más de 10 víctimas y pérdidas superiores a US \$ Un (1) Millón son: Huracanes, 79 eventos; inundaciones, 54 eventos; terremotos, 14 eventos; erupciones volcánicas, 5 eventos.

Estos datos concuerdan bastante bien con el mapa de peligros de la naturaleza para el continente Americano, donde la información graficada data desde la llegada de los espaciales en el siglo XIV.

De acuerdo a lo anterior, a la lista de UNDRO, se agregan tsunamis y deslizamientos, y son los eventos que se consideran en este trabajo.

Terremotos:

Los sismos intensos pueden causar graves daños por vibración y sus efectos secundarios en extensas zonas, que pueden abarcar decenas de miles de Km². La parte occidental de Centro y Sudamérica y un área en forma herraje en el Caribe están expuestas a este tipo de peligro.

Los hospitales deben ubicarse donde las ondas sísmicas se amplifiquen menos, y esto generalmente ocurre, en suelos rocosos o suelos secos, compactos y de grano grueso. En cambio, los suelos de grano fino (arcillas) o las arenas finas y limos sueltos y saturados, tienden a amplificar las ondas sísmicas pudiendo provocar además asentamientos o licuefacción del suelo.

Geológicamente los suelos antiguos están mejor consolidados que los suelos más recientes y amplifican menos las ondas sísmicas.

Se prefieren los terrenos planos y alejados de barrancos y del pie de montañas o elevaciones, porque los taludes pueden fallar como consecuencia de las vibraciones sísmicas.

Inundaciones:

Las inundaciones ocurren cuando el hombre invade los planos de inundación de cursos o cuerpos de agua. La función natural de dichos planos es evacuar el exceso de agua de los ríos o almacenar el volumen adicional de lagos y lagunas, originadas por lluvias torrenciales o deshielo.

En las llanuras extensas, por donde fluyen ríos caudalosos, las inundaciones que ocurren son del tipo de desbordamiento y puede durar días o semanas. Lo mismo ocurre con lagos y lagunas. Datos históricos y/o marcas en los árboles pueden dar de manera directa informaciones sobre el máximo nivel de inundación.

Por otra parte, en terrenos accidentados y de poca cobertura vegetal, las inundaciones son de tipo flujo rápido (flash flood), en cuyo caso volúmenes importantes de agua se precipitan violentamente cuesta abajo causando graves daños por su efecto hidrodinámico. Esto ocurre cuando se libera subitamente agua represada por deslizamientos previos o en cuencas concurrentes de gran pendiente, que en caso de lluvias torrenciales, concentran grandes volúmenes de agua en poco tiempo.

Una u otra forma de inundación, afecta a toda la América Latina y el Caribe.

Los límites de las inundaciones son casi enteramente dependiente de la topografía, y el grado de destrucción que causan dependen del volumen de agua, pendiente, y el grado de resistencia a la erosión del suelo.

Los daños más severos ocurren en zonas desérticas donde las lluvias torrenciales extremos ocurren muy infrecuentemente, como en la costa norte del Perú en 1925 y 1983, allí la infraestructura no está preparada para soportar inundaciones severas. En cambio, en zonas donde las inundaciones son más frecuentes y son del tipo desborde, los daños son menores. Por ejemplo; en la Prefectura Naval en Concordia, Argentina, sobre el río Uruguay, cuando el río comienza a elevar su nivel, se desmontan los paneles de madera de las paredes, se retiran las alfombras y si se mudan los muebles. Cuando el nivel baja, las cosas se reponen y el edificio continúa prestando servicios.

Por razones obvias, un hospital no puede estar sujeto ninguno de estos tipos de contingencias.

Huracanes y Temporales:

Los huracanes y temporales se nutren de abundante vapor, en las calientes aguas del Atlántico y del Pacífico frente a las costas de América Central y el Caribe, pero la mayor parte de los huracanes que afectan dicha zona, se generan al oeste de Africa y avanza en dirección de América. Al acercarse a tierra o en algunos casos al penetrar en ella, perturban amplias zonas con vientos de alta velocidad y al chocar con las altas montañas, ascienden por sus frias laderas donde se produce una convección forzada, ocurriendo una rápida condensación de vapor de agua, que generan lluvias torrenciales y en consecuencia, inundaciones severas.

El problema puede agravarse si el agua se represa en la parte alta por deslizamientos previos. Eso fue precisamente lo que ocurrió el 7 de junio de 1934, fecha en que Ocotepeque, Honduras fue destruida. En la misma fecha, Metapan, El Salvador, fue severamente inundada por el río San José. Revisando información histórica, se encontro que esos días un huracán había penetrado en esa zona.

Las soluciones para esos problemas fueron diferentes. Mientras Ocotepeque se trasladó a su nueva ubicación; en la parte alta de Metapan, la cuenca del río San José fue tratada, para evitar que la erosión de las cárcavas continúe aportando material que el río arrastra cuesta abajo colmatando la caja del río, provocando así inundaciones. Estos últimos trabajos fueron ejecutados con la ayuda de la FAO y ya no es necesaria las labores de limpieza del río, que tenía que ejecutarse cada año.

Los huracanes y temporales también pueden causar graves daños en las costas por la violencia con que altas olas invaden las zonas costeras bajas.

Actividad Volcánica:

Los volcanes que afectan Centro y Sudamérica corresponden a los de zona de subducción y se caracterizan por que emiten lava de gran viscosidad, por lo que tienden a formar domos o emitir flujos cortos de gran espesor.

Por otra parte, la alta viscosidad del material evita el escape gradual de los gases, por lo que desarrollan grandes presiones. Por esta razón, se producen muchas veces erupciones explosivas, arrastrando grandes volúmenes de material sólido.

Los fenómenos asociados con las erupciones volcánicas son:

- Lanzamientos de partículas de rocas y cenizas.
- Avalanchas a gran temperatura, llamado flujo piroplástico.
- Flujos de lava.
- Explosiones con proyección lateral.
- Flujos de barro o lahares

En general, el peligro volcánico se limita a áreas que rodean el volcán, excepto por la lluvia de cenizas que, dependiendo de la velocidad y dirección de los vientos, pueden viajar grandes distancias. Como la posibilidad que causen daños depende casi exclusivamente de la topografía del volcán y de las zonas aledañas, la precaución más práctica y sencilla consiste en evitar construir hospitales en las zonas bajas de las quebradas que drenan las faldas de los volcanes. Un ejemplo muy claro de lo que se recomienda evitar, ocurrió en Armero, Colombia, ciudad que se ubicaba justo a la salida de un estrecho cañon que drena el lado N y NE del volcán Monte del Ruiz, donde se ubica el crator Arenas, que entró en erupción el 13 de noviembre de 1985.

Tsunamis:

Los tsunamis más severos ocurren en la costa occidental de Sudamérica. En Chile en 1960, como consecuencia de los terremotos tectónicos de mayo de ese año, los tsunamis causan severos daños y numerosas muertes en la costa central de ese país. El Callao, Perú, fue arrasado por olas marinas generadas por el terremoto del 28 de octubre de 1746, causando la muerte de 4,800 de sus 5000 habitantes; y Tumaco, Colombia, fue destruida en 1906 y otra vez dañado en 1979 por tsunamis, que acompañan a los terremotos que los generaron. Los tsunamis más destructivos, son los que se generan frente a las costas que afectan, a decenas o pocos cientos de kilómetros. Un sismo intenso y prolongado que tenga su origen en el mar,

puede ser aviso que un tsunami pueda afectar las zonas bajas cercanas al mar y es necesario evacuarlas.

Las olas alcanzan mayor altura al invadir tierra (run up), cuando aguas profundas están muy cerca de las costas como ocurre en Hawai, o cuando además de aguas profundas cercanas, se tienen bahías en forma de U, V ó W, que concentran la energía hidrodinámica en el vértice de dichas bahías, causando grave destrucción, como ocurre en las costas de Sanriku en el este de la isla Honshu en el Japón. Investigaciones de la batimetría y topografía del área y cálculos relativamente sencillos, permiten determinar las zonas de inundación por tsunamis y la altura de ola en la costa.

Sin embargo, precauciones elementales como no construir hospitales en lugares de menor cota que unos 10 m.s.n.m, en zonas que están a menos de unos 500 m. de la playa, dan adecuada seguridad para la mayoría de los casos.

Deslizamientos:

Los deslizamientos ocurren en terrenos en pendiente, cuando la resistencia del suelo al deslizamiento, es vencida por la componente cuesta abajo del peso de los mismos, generados por la acción de la gravedad.

Los sismos y las lluvias, debilitan al suelo e incrementan su peso, y se producen los deslizamientos.

Por ejemplo, el terremoto de Guatemala del 4 de febrero de 1976, provocó más de 10,000 derrumbes en un área aproximada de 16,000 Km²., que fueron cuidadosamente estudiados por Harp y otros (24), utilizando fotografías aéreas y cada una de ellas fueron mapeadas. La mayoría fueron caídas de roca y flujos de tierra de menos de 15,000 m³, pero 11 fueron de más de 100,000 m³.

La recomendación es no construir hospitales al pie, en, o al borde de laderas que son inestables.

5.00 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los daños en hospitales causados por desastres naturales puede reducirse drásticamente, si se les ubica en concordancia con las enseñanzas que la propia naturaleza nos deja, al estudiar sus efectos destructivos.

Se dan métodos de estudios para escoger la mejor ubicación de hospitales desde uno de los más sofisticados, como son las investigaciones de dinámica de suelos, que podrían emplearse en importantes complejos hospitalarios, hasta sencillas recomendaciones, que permiten seleccionar la ubicación de pequeños hospitales y postas médicas.

A manera de normas, para ubicar hospitales, se dan las siguientes recomendaciones:

Los hospitales en general, se ubicaran preferentemente en terrenos planos de buena capacidad portante, de grano grueso compacto, con la menor humedad posible. Mejor, si se puede cimentar sobre rocas estables, no intemperizadas. Si se construye sobre suelos de granos finos se deberá tener en cuenta el efecto que tiene el agua sobre los mismos, en época de lluvias.

El área no debe estar expuesta a inundaciones, avalanchas, deslizamientos, flujos de barro y fallas el suelo. Además, la habilitación del terreno y la cimentación de las obras, deben tener un costo razonable.

Por las razones expuestas no se construirán hospitales en:

- Areas de deposición de materiales que bajan por los rios y quebradas. Evitándose sobre todo, las áreas cercanas a la boca de salida de cañones estrechos que drenan cuencas extensas y de gran pendiente. Se tendrá especial cuidado, si la montaña está cubierta de nieve o hay cuerpos de agua en la parte alta.
- Zonas bajas con respecto a áreas vecinas, que puedan inundarse, en especial en la orilla de rios que drenan cuencas de gran extensión y lagos cuyo nivel puede crecer rápidamente en época de lluvias intensas.

- Al pie de terrenos que por sus características y pendiente pueden deslizarse, asumiendo que el suelo se sature en época de lluvias.
- Al borde de barancos, que puedan fallar, deslizándose cuesta abajo.
- En la zona de deposición de flujos de barro y nubes ardientes que pueden desprenderse de los volcanes.
- Donde la capacidad portante del suelo sea inferior a 1 Kg/cm^2 , a menos que sea imprescindible, en cuyo caso se tomarán las medidas técnicas necesarias.
- Sobre suelos expansibles o colapsibles.

Las condiciones mencionadas se determinarán a través de estudios de microzonificación, dependiendo su extensión y detalle de la magnitud del hospital por construir.

REFERENCIAS

1. KUROIWA J., Deza E. and H. Jaen, "Investigation of the Peruvian Earthquake of May 31 1970", Memorias V Conferencia Municipal de Ingeniería Sísmica, Roma, Italia, Junio 1973.
2. KUROIWA J., Deza E. Jaen and J. Kogan, "Microzonation Methods and Techniques used in Peru", Memorias II Conferencia Internacional de Microzonificación Sísmica, San Fco., California, Noviembre Diciembre, 1978.
3. KUROIWA J., "Aspectos Ingenieriles del Sismo de Majes-Arequipa del 16 de Febrero de 1979", Boletín de Asociación Peruana de Ingeniería Sísmica, pp. 13-42, Lima, Abril, 1979.
4. KUROIWA J., CASTROL Y R. LAMA; "Efectos de las Lluvias Torrencales de 1983 en las obras de Ingeniería Civil". Mem. 5º Congreso Nacional de Ingeniería Civil Tacna, 1984.
5. KUROIWA J., "Physical Planning for Mult Hazards Mitigation", Memorias del Simposio Internacional sobre Riesgos Naturales y Provocados por el Hombre" pp. 805-816, Reidel Pub, Co, Holland Romoueld, Quebec, Canada, 3-9 August 1986.
6. KUROIWA J., "Evaluación de los Riesgos Naturales en la Región del Trifinio" Informe especial para el Proyecto Trifinio y el Depto. de Desarrollo Regional de la Organización de Estados Americano OEA 75 pgs. Guatemala, Agosto 1987.
7. KUROIWA J., "El Terremoto de San Salvador del 1º de Octubre de 1986:", Publicación Nº 010-87 CISMID-FIC-UNI, 59 pgs. Julio 1987. Servicio Meteorológico Nacional República de Honduras. "Análisis Preliminar de la Precipitación Producida por el Huracán Filí a su paso por Honduras (Septiembre 16-20, 1974)" Proyecto HON/72" 006, Meteorología e Hidrología.
8. KUROIWA J., E. DEZA, H. JAEN y J. KOGAN, "Microzonation Methods and Techniques Used in Peru", Mem. II Conf. Intern. de Microzonificación Sísmica-San Francisco, CA, Nov. Dic. 1978.
9. KUROIWA J., "Simplified Microzonation Method for Urban Planning", Memorias III Conf. Intern. de Microzonificación Sísmica, Seattle, WA. Jun. 11-1982.
10. KUROIWA J., "Studies on the Prevention of Earthquake Disaster and Prevention of Earthquake Disasters and their Application in Urban Planning in Peru", Reunión de Expertos Ad Hoc convocado por HABITAT - Naciones Unidas. Nairobi, Kenya, Enero, 1981.
11. KUROIWA J., Y J. KOGAN "Estudio de Microzonificación para la Ciudad Constitución". Informe especial para HABITAT y el Gob. del Perú Nairobi y Lima 1984.
12. KUROIWA J., "Planeamiento Físico contra Tsunamis y otras Inundaciones". 1º Congreso Latinoamericano sobre Desastres Naturales. Quito, Nov. 1985.

13. VALENCIA R., "El Terremoto del 24 de Marzo de 1940. Sus efectos y Enseñanzas". Revista de la Universidad Católica. 1942.
14. MORIMOTO R., KOIZUMI Y., MATSUDA T. and N. Hakuno, "Seismic Microzoning of Chimbote Area, Peru", OTCA Agencia de Cooperación Técnica de Ultramar, Gobierno del Japón, 1971.
15. GOB. DEL PERU-PNUD "Plan Chimbote". 1971-1974.
16. KUROIWA J., "Tsunamis: Efectos sobre Lima Metropolitana", Informe especial para UNDRO (United Nations Disasters Relief Office), Ginebra, Suiza, 1983.
17. KUROIWA J., ALEGRE E., SMIRNOFF Y J. KOGAN. "Urban Planning for Disaster Prevention in the Low Coastal Area of Metropolitan Lima". Mem. 8va. Confer. Mundial de Ing. Sísmica San Fco. Calif. 1984.
18. KUROIWA J., PREUSS J. KOGAN J., PREUSS R. "Plan de Preparación para Tsunamis, Punta Negra". Defensa Civil del Perú. En Prensa. Auspicio USAID. 1989.
19. ROSENBLUETH EMILIO. "The Earthquake of 28 July 1957 in México City". Me. 2da. Conf. Mundial de Ing. Sísmica Vol I., pp 359-379. Tokio & Kioto, 1960.
20. IGLESIAS JESUS. "Zonificación Sísmica de la Ciudad de México". En Construcción y Tecnología pp. 27-36 Junio 1988.
21. VIZCARRA MARTIN. "Microzonificación de Moquegua Aplicada al Planeamiento Urbano para la Mitigación de Desastres Naturales Empleando el Método Simplificado". Tesis de grado de Ing. Civil. Fac. de Ing. Civil. Univ. Nacional de Ing. Lima-1986.
22. ZUPKA DUZAN "Actividades en la Prevención y Planificación para los Desastres Naturales" Documento UNDRO incluido en las Memorias del Encuentro Regional Desastres Naturales y Planificación de los Asentamientos Humanos. Quito, Ecuador 3-7 Oct. 1988.
23. MUNCHENER RUCK, MUCHER RE. Mapa Mundial de los Peligros de la Naturaleza. Pub. de Serie Desastres Naturales. N° 1274-V-s. Rep. Fco. Alemana 1988.
