

# ENSEÑANZAS DEL TERREMOTO DE 1960

La estructura general de la región andina meridional ha sido objeto de una discusión anterior (Lomnitz, 1962). En ella definimos los rasgos salientes de la tectónica regional, y la notable conexión que parece existir entre el macizo andino, las anomalías gravimétricas, las fosas marinas antepuestas a la costa, las cadenas volcánicas y la sismicidad.

Los Andes meridionales incluyen el territorio ocupado por la República de Chile y la parte occidental de la República Argentina. Su límite natural se encuentra señalado, hacia el norte, por el brusco cambio de rumbo del litoral a partir de la bahía de Arica, y por la formación del Altiplano. Es, pues, un hecho indiscutible, aunque insuficientemente conocido, que Chile posee límites naturales, no solamente hacia el oriente, sur y poniente, sino también, hacia el norte.

La densidad de población en toda esta extensa región es sumamente baja. Sin embargo, los desastres sísmicos son comunes y reclaman ordinariamente un subido contingente de bajas. En los 24 grados de latitud que median entre Arica y Puerto Montt tenemos una tierra de las más fértiles en terremotos del mundo. Esta sismicidad elevada decae marcadamente al sur de Aisen, para reaparecer en el archipiélago de las Antillas Meridionales, puente tectónico que une a Chile continental con su territorio antártico.

El 21 de mayo de 1960, a las 6 de la madrugada, se inició, frente a la bahía de Arauco, una crisis sísmica de extraordinarias proporciones y repercusiones. El terremoto inicial alcanzó intensidades de 8 a 9 (en la escala internacional de 12 grados) en Concepción y centros vecinos. La destrucción fue completa en un 68,8% de los edificios de adobe, y en un 52% de las casas de albañilería con mortero de barro. En cambio, no se registraron colapsos en casas construidas conforme a las ordenanzas vigentes. Se produjeron averías significativas en diversos edificios públicos, obras e instalaciones industriales, que han concentrado el interés de los especialistas en diseño antisísmico de varios países.

El día siguiente, 22 de mayo, después de las 3 de la tarde, se produjo otro terremoto, con una energía 30 veces mayor que el primero, frente a la costa de Valdivia. Este sismo pertenecía a la categoría de los "terremotos mundiales" (los "Weltbeben" de Sieberg), ya que su energía equivalía al total de todos los sismos mundiales en un año promedio. Con sus numerosas réplicas (algunas de las que superaron en magnitud el terremoto de Concepción del día 21), constituyó el acontecimiento sísmico de mayores proporciones desde 1906.

No insistiremos en los detalles, bastante conocidos, de los efectos del sismo. Basta señalar un hecho que nos induce a suponer que este terremoto fue posiblemente

por C. LOMNITZ

Director del Instituto de Geofísica y Sismología, U. de Ch.

el mayor que se hubiera registrado en Chile en tiempos históricos. Nos referimos a los daños producidos por el maremoto en la Isla de Pascua, donde una ola de seis metros de alto embistió el ahu de Tongariki, destruyéndolo totalmente y barriendo con las pesadas estatuas erigidas por una civilización hace siglos desaparecida.

#### *Historia sísmica de Chile*

Si no hemos aprendido nada, o muy poco, de las catástrofes sísmicas que repetidamente asolan a Chile, no es por falta de información. Chile posee una historia sísmica cuatro veces más antigua que la de California. Aunque el Japón mantiene registros documentados de terremotos desde el año 599, y los mandarines chinos los anotaban en sus archivos desde hace dos mil años, los datos históricos chilenos tienen una antigüedad respetable.

De ellos es posible colegir que el país entero, por lo menos hasta Puerto Montt, es zona potencial de terremotos. No hay ciudad chilena de alguna antigüedad que no haya sido destruida o dañada repetidamente por sismos, en esta zona. Por término medio, puede decirse que una localidad chilena típica ha sufrido unos cinco a seis sismos destructores durante su historia. Evidentemente, hay diferencias. Las ciudades costeras están algo más expuestas que las cordilleranas, o las de allende los Andes, en el lado argentino. Pero desde un punto de vista general, todo el territorio se encuentra sometido a posibles intensidades sísmicas destructivas tarde o temprano. En cuanto a la energía sísmica media por grado de latitud, ella es aproximadamente la misma a lo largo de todo el territorio hasta el paralelo 42.

La primera mención de un terremoto chileno data del año 1530. En 1562 ocurrió un terremoto en La Imperial, muy similar al de 1960. Este suceso se repitió nuevamente en 1575, fecha en que se produjeron deslizamientos en el río San Pedro, que eventualmente causaron un aluvión que destruyó la zona ribereña de Valdivia en forma completa.

En 1570 ocurrió el primero de una serie de desastres sísmicos en la bahía de Concepción. Este terremoto y su correspondiente maremoto causaron más de 2.000 muertes en aquella lejana época. Los más notables terremotos de este epicentro fueron los de 1730, 1751 y 1835. Después del traslado de la ciudad desde su antigua ubicación hacia el interior, a consecuencias del desastre de 1751, ya no se encuentra afectada por maremotos.

Uno de los terremotos más desastrosos de la historia chilena fue el de Santiago, el 13 de mayo de 1647. En aquel día perdieron la vida 4.000 personas, o sea, un

tercio de la población de la capital. Vale la pena anotar que hasta 1830 no existía en Santiago sino una sola vivienda de albañilería de piedra. Las demás eran todas de adobe y barro. Si bien la calidad promedio de las construcciones santiaguinas ha mejorado durante el último siglo, el número de casas de adobe, junquillo y barro es aún muy grande, mayor quizá que en aquella época.

La lista de acontecimientos fatídicos se alarga. Todos recordamos la ruina e incendio de Valparaíso en 1906, el desastre de Atacama en 1922, la hecatombe de Chillán en 1939. En siglos anteriores ha sido igual. Avica fue destruida diez veces. El terremoto de Iquique de 1868, no solamente arrasó toda la costa nortina, sino que el maremoto produjo en Japón daños comparables a los de 1960. ¿Nos enseñan algo estos castigos repetidos de la naturaleza? ¿Qué hemos aprendido, y qué debemos aprender?

#### *Actitudes oficiales*

En una democracia, las preocupaciones y los anhelos del pueblo se aquilatan en primera instancia, a través de los actos del Gobierno constitucionalmente elegido. Si aplicamos este criterio a Chile, debemos concluir que el problema de los terremotos nos tiene a todos sin cuidado. Lo que han hecho los sucesivos gobiernos para la investigación y prevención de estas catástrofes puede resumirse en una frase; en cambio, podría llenarse un grueso libro con todo lo que no se ha hecho. Para no pecar de injustos, nos apresuramos a destacar el caso saliente, único por lo demás, en que el Gobierno de Chile tomó cartas en el asunto de los sismos. Ello ocurrió durante la administración de don Pedro Montt, quien a instancias del preclaro Rector de la Universidad de Chile, don Valentín Letelier, decidió traer al país al mejor experto extranjero disponible para crear un Servicio Sismológico Nacional. El experto fue el Conde Fernand de Montessus de Ballore, famoso sabio, quien dirigió dicho Servicio desde 1908 hasta su fallecimiento en Santiago, en 1923. El Servicio Sismológico pasó a integrarse a la Universidad de Chile, donde después de diversos avatares subsiste como Instituto de Geofísica y Sismología.

Desde entonces los sismólogos no han recibido ni un saludo de Año Nuevo del Gobierno. Desde hace 40 años, los sucesores de Montessus de Ballore dependen exclusivamente de la Universidad para la mantención de la red nacional de estaciones, y para la escasa investigación que puede hacerse. Cabe decir que ni el mismo Montessus de Ballore logró establecer la red sísmológica en la forma estipulada por el Decreto Supremo de 1908, que creó el Servicio Sismológico de

Chile. Sin duda, no contó nunca con los fondos necesarios para comprar el instrumental.

Afortunadamente, Chile posee ingenieros responsables, que a raíz del terremoto de 1939 insistieron en la promulgación de una Norma Sísmica para Construcciones. Pero en todos los demás aspectos no hay previsión alguna, ni en el planeamiento urbano, ni en la organización de servicios de emergencia, ni siquiera en el adiestramiento elemental de bomberos, fuerza pública y sanidad para casos de terremotos. A los sismólogos se nos suele reprochar a menudo que no hayamos logrado aún la predicción de los sismos; sin embargo, nos atrevemos a vaticinar un hecho crucial para Chile. El próximo gran terremoto habrá de cogernos tan desprevenidos como el de 1960, de 1647 o de 1570\*.

#### *Riesgo sísmico en Chile*

Los que afanosamente buscan en las estrellas o en las manchas solares el secreto de la predicción de los sismos, suelen olvidarse de que el azar está sometido a leyes naturales tan precisas y rigurosas como las órbitas de los planetas.

En efecto, los temblores son el resultado de un proceso aleatorio, es decir, regido por la casualidad. Todo jugador sabe, o debería saber, que el azar tiene sus leyes inflexibles. Los sismos provienen de una transformación de la energía térmica del interior de la tierra, en deformación mecánica. Es un proceso permanente y estacionario, pero discontinuo. El instante preciso de cada "salto", su energía y ubicación, se determinan de acuerdo con leyes probabilísticas que es posible averiguar.

En estos días se cumplen cuatro años del terremoto de 1960. ¿Cuándo y dónde se producirá el próximo terremoto? No podemos saberlo exactamente, puesto que lo determina el azar. Algún día, ojalá próximo, será posible medir las tensiones terrestres a medida que se vayan acumulando en las profundidades; entonces se podrá predecir la zona y fecha aproximadas de un sismo importante. En la actualidad, aún no se dispone de un instrumento que sea a la corteza terrestre lo que es el barómetro para la atmósfera.

Sin embargo, podemos determinar con bastante exactitud la probabilidad de que se produzca un terremoto en un período dado. Esta probabilidad, que hemos llamado "riesgo sísmico", se calcula en base a la historia sísmica de cada lugar, aprovechando las propieda-

des estadísticas de las series de temblores. La teoría es extraordinariamente sencilla, y no requiere conocimientos elevados de teoría de la probabilidad. Así, si llamamos  $R(D)$  el riesgo sísmico para un período de  $D$  años, y si designamos por  $F(t)$  la distribución estadística de los intervalos  $t$  entre terremotos, tenemos que

$$R(D) = F(D),$$

es decir, el riesgo es la probabilidad de que se produzca un intervalo menor o igual a  $D$  años. Guzmán (1964) ha aplicado este nuevo criterio a la ciudad de Santiago, con resultados extremadamente interesantes. Así, por ejemplo, el riesgo de terremoto destructivo para un período de 10 años es del orden de 20%, y el riesgo de producirse un temblor de intensidad 7 (aproximadamente igual a la fuerza de diseño de 0,1 g que especifica la Norma de Construcciones) llega a 62,5% para el mismo período. En un período de 20 años, dicho riesgo sube a 70,8%, y en 50 años, a 91,6%.

¿Qué significan estas cifras? Básicamente, no hay en ellas nada que hubiéramos ignorado antes. Santiago forma parte de la zona activa de los Andes Meridionales, y, por lo tanto, se encuentra expuesta a sufrir terremotos. Pero las cifras nos permiten comparar con otros riesgos: el de viajar en avión, por ejemplo, o el de construir su casa en Concepción o en Antofagasta. Podemos, asimismo, calcular los daños estimativos que significaría un sismo de determinada fuerza para Santiago, como lo ha hecho Guzmán. El resultado, para nosotros, es claro e inequívoco: la falta de una política de prevención constituye una amenaza económica gravísima para Chile.

Sea  $X$  el monto de las obras de reconstrucción de Concepción después del sismo de 1960. Si Santiago tiene diez veces la población de Concepción, y si el riesgo sísmico correspondiente a un período de 10 años es de un 20%, resulta que el costo medio probable de reconstrucción para Santiago es de  $2X$ , o sea, el doble del costo total de Concepción. Esta es, entonces, la suma que corresponde al país invertir en un período de diez años, para la renovación urbana de la capital. Todo gasto inferior resultará, a la larga, antieconómico, puesto que de todas maneras será necesario desembolsarlo con el agravante de una situación de emergencia que significa un pie forzado y una paralización probable de muchas actividades normales del país.

#### *Normas antisísmicas*

El estudio económico recién esbozado puede refinarse considerablemente, y hacerse extensivo a todo el terri-

\*A los pocos días del terremoto de 1960, resolvimos oficiar a cierto alto funcionario, para hacer ver la conveniencia de que el Gobierno destinara una pequeña parte de los fondos de ayuda hacia medidas de investigación y prevención. No obtuvimos respuesta.

torio nacional. Pero aquí se plantea inmediatamente la siguiente pregunta: ¿cómo reconstruir?

La experiencia de 1960 nos enseña que en Concepción sufrieron destrucción completa el 68,8% de los edificios de adobe, y el 3,5% solamente de los edificios de albañilería de ladrillos. Ningún edificio construido de acuerdo a las normas vigentes sufrió colapso. En Valdivia, donde se registraron intensidades del orden de 10 en la Escala Internacional, quedaron totalmente destruidos el 33% de los edificios de ladrillos, el 35% de los de madera y el 6% de los edificios construidos de acuerdo a las normas. La mejor resistencia se observó en viviendas de madera con fundaciones (o primer piso) de concreto armado.

Frente a estas cifras, cabe preguntarse si es acertada la actual política de construcción de viviendas. Sin ir demasiado lejos, tenemos el ejemplo del Estado de California, donde las normas antisísmicas son básicamente equivalentes a las chilenas, y donde la enorme mayoría de las viviendas nuevas son de madera. Sin duda, las razones básicas para el uso de la madera son económicas, motivo sobrado para que se introduzcan los métodos modernos de construcción en madera en nuestro país.

Se observa también con frecuencia, especialmente en Santiago, un derroche de concreto armado en viviendas de uno o dos pisos, en que no se justifican tales excesos de precaución. Por otra parte, cuando se llama a propuestas, como suele suceder con las obras de gran envergadura —hospitales, escuelas, lugares públicos—, se tiende a reducir el factor de seguridad hasta donde lo permitan las normas. El resultado es un riesgo sísmico muy disparaje, y por lo tanto, antieconómico, puesto que con lo que se ahorra en las viviendas se podría construir más unidades habitacionales y reforzar los hospitales y escuelas hasta obtener una seguridad equivalente a la de las viviendas.

El concepto de riesgo sísmico, ya explicado más arriba, nos permite comprender fácilmente el motivo de esta disparidad. Un hospital u otra obra importante está destinado a permanecer en servicio un número de años superior al de una vivienda media. Por esta razón, a igualdad de condiciones debe afrontar un riesgo sísmico mayor en el curso de su vida útil. Pero además, es preciso considerar que los hospitales y las escuelas tienen una utilización humana muy elevada, en términos de capacidad efectiva por hora, sin contar con que el niño y el enfermo merecen protección adicional por encontrarse en desventaja frente a las posibilidades de supervivencia de un adulto sano.

No es posible considerar satisfactoria una norma sísmica que conduce a un riesgo per cápita desigual, según se trate de un ciudadano sano o enfermo, rico o pobre, adulto o niño. El hecho que las normas aplica-

das en los demás países adolezcan del mismo defecto, no debe ser motivo de consuelo. En realidad, el actual criterio consistente en aplicar una misma sollicitación de cálculo a todas las estructuras, sin considerar el riesgo sísmico per cápita de sus moradores, sólo puede dar origen a soluciones provisionarias.

#### *¿Hacia una nueva protección antisísmica?*

Supongamos que el riesgo medio, para cualquier punto del país, de sufrir un terremoto de intensidad mínima 8 a 9 en el curso de un intervalo cualquiera de 10 años, sea del orden de 20%. Habrá ciertas fluctuaciones locales en torno a este promedio, pero las normas actuales no nos permiten tomarlas en cuenta, puesto que cualquier localidad entre Arica y Puerto Montt estará sometida a esta intensidad tarde o temprano. En cambio, al incorporar el factor riesgo en las normas, lograremos dos objetivos: 1º, emparejar el riesgo sísmico a lo largo del país, y 2º, fomentar el establecimiento de poblaciones, hospitales, industrias claves, etc., en aquellas zonas que, por tener un riesgo menor, permiten una construcción menos costosa.

La variación en el riesgo sísmico de un punto a otro depende de muchos factores: sismicidad, situación geológica y tectónica, terrenos de fundación, etc. En el caso de Chile, es probable que las variaciones geológicas e incluso de sismicidad sean menos importantes que las del terreno de fundación. Afortunadamente, la mayoría de las ciudades chilenas posee excelentes terrenos de fundación en sus inmediaciones. Se ha comprobado que la diferencia de intensidad provocada por un mismo terremoto en dos tipos de suelos colindantes, puede llegar fácilmente a un factor de diez veces. De aquí provienen las enormes diferencias en el monto de los daños que pueden observarse en distintos barrios o zonas de una ciudad afectada por un terremoto.

Chile, como toda la región de los Andes Meridionales hasta el Paralelo 42 como mínimo, constituye una zona indiferenciada de alta sismicidad desde el punto de vista de las normas vigentes. Para tomar en cuenta las diferencias tanto geográficas como de suelos de fundación, es preciso introducir el concepto de *riesgo sísmico*, estipulando un determinado riesgo per cápita que regiría para todas las construcciones del país. Si el terreno es malo, será necesario reforzar la estructura hasta asegurar un riesgo aceptable; en cambio, si el terreno es favorable, será posible obtener el mismo resultado con un costo menor.

La determinación de riesgos sísmicos reales para cada localidad requiere estudios de cierta importancia, y su aplicación por el calculista al diseño de estructuras no ha sido considerada todavía. Pero ¿qué sería la vida

del ingeniero o del hombre de ciencia sin problemas que resolver? Ciertamente, la importancia de un planteamiento de prevención antisísmica a escala nacional es bastante real. Si el chileno nunca ha de gozar del mismo grado de seguridad que el habitante de países asísmicos, en cambio le será posible lograr una protección uniforme tan completa como lo permita el potencial económico del país.

## BIBLIOGRAFIA

Doyel, W. W., Aldo Moraga B. y Eduardo Falcón M., *Relation between the Geology of Valdivia, Chile, and the damage produced by the earthquake of 22 May 1960*, Bull. Seis. Soc. Amer. 53, 1331-1345, 1963.

Gajardo, E., y C. Lomnitz, *Seismic Provinces of Chile*, Proc. 2nd World Conf. Earthq. Eng., Tokyo-Kyoto, vol. 3, 1529-1540, 1960.

Galli, G., y J. Sánchez, *Effects of the earthquakes of May 1960 in Concepción and vicinity*, Bull. Seis. Soc. Amer. 53, 1281-1297, 1963.

Guzmán B., Fernando, *Estudio del riesgo sísmico de la ciudad de Santiago*, Memoria de Título (Ingeniería Civil), en preparación, 1964.

Lomnitz, C., *On Andean structure*, J. Geophys. Res., 67, 351-363, 1962.

Lomnitz, C., *Earthquakes* (en prensa, Pergamon Press, New York, 1964).

Montandon, F., *Les mégaséismes en Amérique*, Rev. pour l'Etude des Calamités, 38, 57-97, 1962.

Montessus de Ballore, F. de, *Historia Sísmica de los Andes Meridionales*, (Imp. Cervantes, Santiago, 1911).

## LA ARMONIA DE LOS MUNDOS DE KEPLER Y EL PENSAMIENTO DE LAS CIENCIAS NATURALES

por RUDOLF HAASE

A pesar de la indiscutida preeminencia del pensamiento de las ciencias naturales en nuestro tiempo y de que su exactitud sirve a otras ciencias de dechado, la exposición de su historia, evidencia aún sensibles lagunas. Así, por ejemplo no disponemos aún de ediciones completas de las obras de Newton y Leibniz, con insertarse, en patente forma, su pensamiento, en la historia de la matemática. Y aún es posible que se nos brinde una imagen de Kepler, totalmente deformada. Justamente, cuando se procura ya en Leibniz elucidar más satisfactoriamente la verdadera perspectiva de fondo de su pensamiento —la tradición pitagórica (1)— y debemos apercibirnos a aceptar una transmutación de valores también en Newton, debido a sus nexos con la mística de Jakob Böhme, en Kepler los hechos se nos ofrecen en abierto y diáfano despliegue. Y sin embargo, hoy lo mismo que ayer, tropezamos con mucha falsa interpretación —lo que tiene su origen en Laplace (2)— a pesar de las investigaciones de Max Caspar y Hans Kayser.

Bastarán algunos ejemplos para demostrar hasta qué punto es necesario contribuir a la difusión de una imagen rectificadora de Kepler. Todavía en 1951, escribió, Albert Einstein, en el prólogo de una biografía norteamericana de Kepler, traducida en 1953 al alemán (3), las siguientes palabras:

“La vida de Kepler estuvo consagrada a la solución de un doble problema... Desde que Copérnico logró convencer a unas poquitas mentes claras de que el sol... debe considerarse como cuerpo en reposo y los planetas deben considerarse