



BOLETIN
DEL SERVICIO SISMOLOGICO DE CHILE

POR EL

CONDE DE MONTESSUS DE BALLORE

Director del Servicio Sismológico.

N.º IV. 1912. Memorias

Proemio

El objeto fundamental del Boletín Sismológico, y asimismo sucede para cualquier instituto científico, que se trate de meteorología, de astronomía ó de otras ciencias de la misma clase, consiste en publicar sus observaciones, de las cuales se sacarán más tarde deducciones importantes respecto á los fenómenos naturales que se estudian. Pero cumplido este deber profesional, al servicio sismológico de Chile queda otra tarea, no menos importante, la de aprovechar inmediatamente en cuanto sea posible los datos recogidos para el adelanto de la sismología sea regional, sea general. Por este motivo, á las dos primeras entregas ya publicadas del Boletín (I. 1906. 1907. 1908—II. 1909) se han agregado

varias memorias é informes sobre temas particulares de sismología. La tercera entrega, ó sea la que corresponde á las observaciones de 1910, ha resultado tan considerable á consecuencia del desarrollo mismo del servicio, que es preciso cambiar de método, es decir, publicar aparte memorias que interesan más ó menos directamente al país, pero que, en todo caso, no dejarán de influir sobre su progreso científico.

Es cierto que al adoptarse esta medida, se atrasará un poco la publicación de las observaciones de 1911, pero el inconveniente no debe tenerse por grave, puesto que los demás boletines análogos del extranjero son mucho más atrasados que el de Chile respecto á la publicación de sus observaciones y que, por otra parte, los institutos sismológicos no han vacilado en adoptar desde años atrás un sistema tan ventajoso para la ciencia general de los temblores. Así los boletines y revistas de que se trata, presen tan mucho mayor interés para el público y hasta para los sismólogos. No se divisa ningún motivo para que el servicio sismológico de Chile no imite á los demás institutos y así se hará en adelante.

Esta medida ha sido aprobada por el Rector de la Universidad de Chile.

I. Informe sobre los accidentes de los puentes ferroviarios

Una catástrofe gravísima acaba de suceder en Francia á consecuencia del derrumbamiento de un puente al pasar un tren de pasajeros. Semejantes accidentes no son raros en todos los países del mundo y los originan más generalmente el poco cuidado con que por exceso de confianza se vigila el estado de vetustez y de desgaste de los puentes. Se sabe que al cabo de un tiempo más ó menos largo las piezas de fierro acerado se cristalizan lentamente bajo la acción prolongada de vibraciones repetidas. Es éste el caso de los puentes ferroviarios metálicos y llega un día en que se rompen al pasar un tren.

La sismología permite conocer en cada momento el estado molecular de un puente metálico. Basta, en efecto, aplicarle un sismógrafo y las vibraciones producidas por los trenes se registran como las de un temblor. Estudios prolijos hechos en Austria y en Japón por Belar y Omori respectivamente, han demostrado que de la forma y del valor de los elementos numéricos de las vibraciones de que se trata, puede deducirse el estado verdadero del puente. Estos métodos se aplican también para la investigación del estado de una vía férrea en un punto determinado, de una locomotora ó de un wagón. De esto se desprende la posibilidad de vigilar constantemente el estado de las obras y del material de un ferrocarril y durante dos años la Dirección General de los Ferrocarriles del sur de Austria aplicó este método con provecho para los viajeros y para la conservación de su material y de sus obras de arte. Sin embargo, no siguió en este camino racional á consecuencia de los grandes gastos que se originaban ó posiblemente por otro motivo que no era de índole financiera.

Pero es muy sencillo subsanar estas dificultades. Bastaría que un empleado aleccionado al respecto se transportase con su sismógrafo especial á los diferentes puentes de una red de ferrocarriles para aplicarlo periódicamente á los principales de ellos y los diagramas obtenidos se estudiarán en una oficina central de manera que sería posible prevenir todo accidente con reparar en tiempo oportuno un puente cuyo estado resultaría dudoso.

El amago de accidente grave que se produjo el año pasado al puente del Maule demuestra que los puentes de los ferrocarriles de Chile no están al abrigo de tales amenazas y el infrascrito cree de su deber suministrar al Supremo Gobierno estos datos sucintos para que si lo juzga conveniente, pueda encargar el estudio del problema á las administraciones competentes, como, por ejemplo, la Dirección General de los Ferrocarriles ó el Consejo facultativo de los mismos.

Santiago, 25 de Noviembre de 1911.

Los resultados obtenidos por Omori han sido concretados por medio de tablas y de gráficos en cada una de las nueve memorias que publicó y de su exámen se deduce que en cada caso particular existe un tipo de diagrama normal de la registración de los movimientos vibratorios y ondulatorios originados en los puentes, en sus machones, en las vías, en las locomotoras y wagones á consecuencia de la marcha misma de un tren. Equivale esto á decir que se publicaron sólo las observaciones que correspondieron á un estado perfecto de conservación de las obras y del material, ignorándose por completo si se hicieron experimentos en casos en que sea las obras de la vía, sea el material eran en un estado más ó menos peligroso de desgaste.

Esta última deducción no deja de llamar mucho la atención, pero, la explicación de esta laguna extraña puede tal vez encontrarse en lo que sucedió respecto á las observaciones hechas durante dos años por A. Belar en la red de los ferrocarriles austriacos de Carniola: se abandonaron bruscamente y no se publicó el detalle de los resultados. Ciertos indicios, aunque algo vagos, dan á pensar que la administración de la red ferrocarrilera de que se trata, no quiso asumir la responsabilidad financiera que habría resultado de la implantación de un sistema de vigilancia periódica. Se comprende, en efecto, que sólo por ser establecida una vigilancia permanente de esta clase, los tribunales fallarían siempre en contra de una compañía ó de una administración ferrocarrilera cada vez que un accidente hubiera originado desgracias personales ó pérdidas de mercaderías, cuando no hubieran sido ejecutadas en tiempo oportuno las reparaciones, cuya necesidad hubieran señalado los diagramas.

Los aparatos inventados por Omori y construidos en Tokyo no difieren esencialmente de los sismógrafos. Por consiguiente el servicio sismológico no tendría dificultad alguna para montar y manejarlos, ni tampoco para enseñar su manejo á un personal idóneo. Puesto que existen tipos de diagramas normales, es decir, que corresponden á un estado satisfactorio de las obras y del material ferrocarrileros, pa-

rece probable que á pesar del silencio de Omori, no será difícil distinguir las formas anormales que bastarían para revelar un estado más ó menos amenazante de conservación sea de las obras, sea del material.

El Director del Servicio Sismológico está bien convencido de la posibilidad de instituir un sistema de vigilancia de esta clase, y si el Supremo Gobierno cree oportuno hacerlo, se podría nombrar á una comisión técnica á la que se comunicarían los documentos antes mencionados con el objeto de estudiar los medios prácticos de alcanzar á una realización efectiva.

Santiago, 19 de Abril de 1912.

Bibliografía

MILNE, J.—Seismometry as applied to railway trains (Trans. seism. soc. Japan. 1890. XV. 23. Yokohama).

BELAR A.—Verwendung von Erdbebenmesser bei Eisenbahnbrücken (Die Erdbebenwarte. 1901. I. 13. Laibach).

OMORI F.—Note on applied Seismology: Deflections and vibrations of Railway Bridges (Verh. d. vom 11. bis 13 April 1901 zu Strassburg abgeh. erst. inter. seismol. Konf. Ergänzungsband I. Leipzig. 1902. 347).

OMORI F.—On the deflexion and vibration of railway bridges (Pub. Earthq. Invest. Comm. for. lang. N° 9. Tokyo. 1902).

BELAR A.—Erdbebenmesser im Dienste des Eisenbahnwesens (Die Erdbebenwarte. 1902. II. 283. Laibach).

OMORI F.—Note on the vibration of Railway Bridge piers (Pub. Earthq. Invest. Comm. for. lang. N° 12. 39. Tokyo. 1903).

OMORI F.—Application of Seismographs to the Measurement of the Vibración of Railway Carriages. (—id—) N° 15. Tokyo. 1904)

DAIROKU KIKUCHI.—Recent seismological investigations in Japan: Vibrations of Railway Bridges (—id—) N° 19. 119. Tokyo. 1904).

OMORI F.—Application of seismographs to the Measurement of the vibration of Railway Carriages. 2nd paper (—id— N° 20. Tokyo. 1905)

II. Informe sobre la utilización de los sismógrafos para la vigilancia de los puentes ferrocarrileros, de las vías y del material rodante.

(Contestación á la nota N.º 1406, fechada el 2 de Diciembre de 1911 y dirigida al Ministro de Obras Públicas por el Director General de los Ferrocarriles del Estado).

Con el objeto de contestar á la nota antes mencionada, del Director de los Ferrocarriles del Estado, en que pide datos concretos respecto á la posibilidad de vigilar por medio de sismógrafos el estado de conservación y de seguridad de los ferrocarriles, puentes metálicos, vías y material rodante, el Director del servicio sismológico ha tenido que completar la serie de memorias que poseía sobre el tema, explicándose así el largo intervalo de tiempo transcurrido desde su primer informe.

Va como anexo la lista bibliográfica correspondiente y los documentos que en ella figuran, han servido de base á un estudio prolijo del estado actual del problema, que ha sido investigado por tres sismólogos de los más afamados, J. Milne en Inglaterra, A. Belar en Austria y F. Omori en Japón. El papel respectivo de cada uno de ellos puede resumirse como sigue: Milne ha sido el primero que hizo experimentos sobre la aplicación de los sismógrafos á la registraci6n del movimiento del material rodante; Belar se preocupó sobre todo de la organizaci6n de un sistema de examen periódico del estado de los puentes y de las vías; Omori persigue desde diez años una serie de observaciones, para las cuales inventó y construyó aparatos especiales, y en las cuales hizo variar las condiciones de sus estudios, forma y dimensiones de los puentes, peso y velocidad de los trenes y de los wágones y locomotoras.

OMORI F.—Vibrations of a Railway Bridge pier (Bull. Imp. Earthq. Invest. Comm. I. N° 3. 155. Tokyo. 1907).

OMORI F.—The Deflection and Vibration of Railway Bridges. 2nd paper (—id—. N° 4. 172. Tokyo 1907).

OMORI F.—Note on the stability of the Piers of the Naishagawa Railway Bridge, Formosa (—id—) I. N° 2. 196. Tokyo. 1908).

OMORI F.—Applications of seismographs to the Measurement of the vibrations of Railway Carriages. 3rd paper. Vibrations of Bogie Carriages (—id—IV. N° 3. 95. Tokyo. 1912).

III.—Sobre los sismógrafos y los sismogramas

(Conferencia leída el 5 de junio de 1911 ante los oficiales del Estado Mayor General del Ejército)

Señores:

Vuestro distinguidísimo Jefe, el general de división Goñi, se ha servido, hace poco, manifestarme el deseo de visitar con ustedes el observatorio sismológico del Cerro Santa Lucía, esta misteriosa cueva que abriga debajo de sus bóvedas los aparatos automáticos destinados al estudio del azote que, por desdicha, podría llamarse el fenómeno nacional de Chile, los temblores y terremotos. Esta curiosidad es tan natural que accedí sin vacilar y hasta con un verdadero deleite á una petición sumamente halagüeña para mi y con tanto mayor gusto que se trataba de descubrir á oficiales del ejército chileno, es decir, á camaradas míos, los arcanos de la sismología, ó sea, de la ciencia á la que, desde muchos años, dediqué mis estudios personales, á consecuencia de los cuales tuve la suerte de conocer á su hermoso país y de prestarle mis modestos servicios científicos. Pero lo muy estrecho y reducido del observatorio no me habría permitido darles explicaciones inteligibles delante de los aparatos y, por este

motivo, propuse de desarrollar previa y sucintamente los principios sobre los cuales están basados los sismógrafos, estos maravillosos aparatos que nos dan los medios de estudiar matemáticamente los fenómenos sísmicos aún en los países en donde no tiembla nunca.

Una ciencia cualquiera no progresa, ni tampoco puede pretender á este título, mientras tanto no posee los medios á propósito para medir numéricamente el fenómeno de que se trata. Antes de alcanzar este estado, no es ella sino un arte meramente empírica. Pero, por su esencia propia misma el fenómeno sísmico es tan fugaz ó muy á menudo tan violento y brueco, que nuestros sentidos son del todo impotentes para permitirnos de medir sus modalidades. Pasa como un meteoro y, salvo sus efectos destructivos, cuando los hay, no deja rastro duradero alguno que nos permita después estudiarlo en el silencio del gabinete. Es, pues, menester obligar á los temblores se inscriban de cualquier modo, pero de tal suerte que, pasado el terror que imprimen en nuestros sentidos, podamos escudriñar después sus propiedades con sangre fría. Así se demuestra la necesidad de registrar los temblores.

Los primeros aparatos que se han construido con este objeto, eran péndulos cuyas extremidades inferiores se terminaban en varitas delgadísimas que tocaban apenas una superficie horizontal ahumada ó cubierta de arena muy fina. Al temblar la tierra, el péndulo obedecía á la impulsión terrestre y la varita, ó el índice, trazaba una curva que, creían los sismólogos de antaño, representaba el movimiento sísmico, ó, mejor dicho, la trayectoria horizontal de la punta de la varita. Estos aparatos groseros resultaron incapaces de encaminar los sismólogos hacia descubrimiento científico alguno. Esto podía preverse, pues, la curva trazada, ó registrada, no era sino una mezcla indescifrable del movimiento terrestre y del movimiento pendular. Además, la amplitud de aquél es mucho menor que la que puede imaginarse uno al experimentar un temblor. Así, por ejemplo, una sacudida que aterroriza á la gente y hace saltar preci-

pitadamente de su cama hasta á los más valientes y sin que por esto ocasione daño alguno, no corresponde sino á una amplitud efectiva de algunas décimas de milímetros. Este hecho de observación no dejará de extrañarles á ustedes. Resulta que al mecerse la tierra, obra ella sobre nuestro cuerpo, ó sea sobre el sentido muscular, con toda la inmensa masa del planeta; así, la impresión que recibimos de una amplitud considerable del movimiento sísmico es una ilusión. Por consiguiente, es necesario amplificar el movimiento de la extremidad del péndulo, por ejemplo, por medio de un aparato accesorio bien conocido, el pantógrafo. En los sismógrafos del cerro Santa Lucía, la amplificación alcanza hasta 140 veces.

Las curvas así registradas se han mejorado á consecuencia de su magnitud, pero, quedan complicadísimas y del todo ilegibles todavía. Se trata de dar un paso más hacia la solución del problema. Para esto basta que el péndulo registrador no pueda moverse sino en un plano vertical, de tal suerte que dos aparatos iguales que oscilen sólo en dos planos verticales perpendiculares entre sí, por ejemplo, el meridiano y el paralelo, nos suministrarán las dos componentes del movimiento sísmico y por su recomposición en conformidad con la regla bien conocida del paralelógramo podremos en cada instante remontar á la verdadera trayectoria de una partícula terrestre mecida por un temblor.

Sin embargo, sería una ilusión gravísima el creer resuelta la cuestión: el movimiento así amplificado y descompuesto resulta una combinación del movimiento terrestre y del movimiento propio del péndulo. Hemos olvidado este principio imprescindible que para estudiar un movimiento cualquiera se debe medirlo relativamente á un punto ó á ejes fijos en el espacio. Así, por ejemplo, para calcular el movimiento de la luna al rededor de la tierra, se elimina previamente el movimiento de ésta al rededor del sol, en otras palabras, se inmoviliza nuestro planeta.

¿En el caso de un temblor, cómo obtendremos un punto

fijo en el espacio, mientras tanto todo se mueve violentamente al rededor del sismólogo? A lo menos, teóricamente es muy sencillo: bastará aumentar á la vez la longitud del péndulo y su masa de tal suerte que el periodo de sus oscilaciones propias esté lentísimo relativamente el movimiento sísmico. Así se eliminará el movimiento pendular con la aproximación que se quiera. Por desdicha, para conseguir este resultado se necesitan longitudes que alcanzan centenas de metros y masas cuyo peso pase de varias toneladas. La solución queda en el dominio de la teoría y prácticamente no hemos obtenido nada. Los medios al alcance de la mecánica moderna de precisión, permiten, sin embargo, de subsanar la dificultad. Para esto, se introduce en el aparato una resistencia, en una palabra, se amortigua el movimiento pendular en cada instante y, eliminado éste, se registra sólo el movimiento terrestre. Aquí se trata de procedimientos técnicos que será más cuerdo explicar sucintamente al ver los sismógrafos en el observatorio.

Abandonando el péndulo ordinario, es decir, una masa suspendida por un hilo, los sismólogos modernos han pensado en emplear otros cuerpos oscilantes y, en efecto, los resultados obtenidos se han mejorado de la manera más favorable. Se usan actualmente dos sistemas principales, el péndulo astático y el péndulo horizontal. El péndulo astático es una masa invertida que descansa sobre su punta inferior y oscila al rededor de una suspensión cardánica, la que se emplea para obtener á bordo la inmovilidad de las lámparas, o de la bitácora, mientras el buque cabecea y se balancea al capricho de las olas del mar.

En el péndulo horizontal se utiliza el principio de las puertas de las iglesias que, empujadas hacia adentro ó hacia afuera, oscilan automáticamente y vuelven á cerrarse en el plano vertical de su marco, porque sus goznes no están situados en la misma vertical. En ambos casos, el constructor dispone de las dimensiones y de la forma del péndulo para darle un periodo lentísimo y un aparato amortiguador completa su inmovilidad: en una palabra, se obtiene el

punto fijo en el espacio, del que se necesita para medir el movimiento sísmico.

Sucintamente descritos como están así los principios de la construcción de los sismógrafos, vamos á reseñar a la ligera los principales resultados obtenidos y especialmente dos de ellos que no dejan de extrañar á la gente leiga: aludo al cálculo de la distancia en que se ha producido un temblor registrado en un observatorio en dondé no se ha sentido sacudida terrestre alguna y á los conocimientos que nos dan los sismogramas sobre la constitucion interna del globo.

Cuando un artista toca la cuerda de un piano ó de un violin, se producen en ella dos series de ondulaciones ó de vibraciones; lo saben bien todos los músicos. Unas se propagan á lo largo de la cuerda y por esto se llaman longitudinales; otras hacen ondular la cuerda, con la que á cada instante cambia la forma de ésta, produciéndose crestas y vientres alternados; estas últimas ondas son transversales relativamente á la dirección de la cuerda y su velocidad de propagación es el doble de la de las primeras, según nos lo enseña la acústica. Este doble fenómeno de ondas coexistentes, bien conocido de los físicos y de los músicos, no difiere esencialmente del movimiento sísmico; en este caso la masa terrestre vibra longitudinalmente, es decir, á lo largo de la línea que une al foco del temblor al observador y, al mismo tiempo, transversalmente ó sea perpendicularmente á la misma línea.

A mediados del siglo último pasado se encontró esta identificación entre el movimiento sísmico y los fenómenos producidos en un cuerpo elástico cuando se lo golpea en uno de sus puntos y se debe este descubrimiento á dos franceses, el físico Wertheim y el matemático Cauchy. Pero, casi á la misma época un sabio inglés, Lord Rayleigh, combatió esta teoría y substituyó á las dos clases de ondas transversales y longitudinales antes aludidas una sola especie de ondas, transversales, y que se propagaban principalmente en la superficie del cuerpo sólido que se golpea. A consecuencia de

esta discrepancia fundamental, hasta pocos años ha, los sismólogos se dividieron en dos campos opuestos según aceptaban la una ó la otra de estas dos teorías. Entonces no existía «l' *entente cordiale*» y á los sismógrafos tocó el papel de resolver la duda.

Luego que se obtuvieron sismogramas netos se notó que se distinguían fácil y constantemente tres clases de ondas bien separadas entre sí. Primeramente aparecen vibraciones menudísimas y muy rápidas, á las que sigue una serie de vibraciones cuya amplitud es mayor y el período un tanto más lento. Son respectivamente las ondas transversales y longitudinales de los físicos franceses antes nombrados. No las perciben los sentidos del hombre y la velocidad de propagación de las primeras es precisamente el doble de la de las segundas. Se propagan por el interior de la masa terrestre, es decir, á lo largo de la línea que une el foco del temblor, por alejado que esté, al observatorio en cuyos sismógrafos se registran. Se llaman respectivamente los tremores preliminares de la primera y de la segunda fase. Después se registran otras ondas de gran amplitud y de período más lento aún. Caminan á lo largo de la superficie terrestre y constituyen el temblor sensible al hombre. Son transversales y corresponden á las ondas superficiales de Lord Rayleigh.

Así, merced al estudio de los sismogramas, resulta que los físicos franceses é ingleses tenían razón, pero que los unos y los otros no habían descubierto sino la mitad del fenómeno. En fin y últimamente un sabio inglés, Lamb, acaba de demostrar por el análisis matemático que las tres especies de ondas coexisten efectivamente como consecuencia de una única teoría, que resulta completa esta vez y conforme á la observación.

Una vez establecidos en la superficie del globo un número suficiente de observatorios sismológicos, y comparando las horas en que se registraban sismogramas en ellos, se notó que un terremoto ó un temblor fuerte, pone en estado de vibración elástica toda la masa terrestre. De la comparación de los diversos sismogramas correspondientes á un mismo

temblor se pudo deducir la velocidad de propagación de las tres especies de ondas, al interior de la tierra para los tremores preliminares y en la superficie terrestre para las ondas sísmicas propiamente dichas, es decir, las del temblor sensible. Por decirlo así, son tres mensajeros que salen al mismo tiempo del foco del temblor, cuando se produce el sacudimiento terrestre, pero caminan á lo largo de vías distintas y con velocidades diferentes. Sin entrar más en el pormenor, resulta claramente de esto que tenemos así los elementos de un cálculo matemático del cual se deducirá la distancia entre el foco del temblor y el observatorio en cuyos aparatos llegan los tres mensajeros para hacerse controlar, si queremos emplear una expresión de *sport*.

Falta todavía la dirección; se determina por varios procedimientos cuyo interés es meramente técnico; bastará decirles á ustedes que la recomposición de las amplitudes registradas en un mismo instante en ambas componentes de un sismógrafo da el medio de calcular el azimuto de donde viene el movimiento sísmico y así se resuelve con facilidad un problema cuya solución no deja de extrañar al público y que talvez encuentra á mucha gente escéptica.

Es interesante dar á conocer algunas cifras relativas á las velocidades de las ondas sísmicas. Los tremores preliminares caminan, según se ha dicho anteriormente, en el interior de la tierra y á lo largo de la cuerda con velocidades que varían con la distancia, es decir, aumentan con la profundidad á la que alcanzan dichas cuerdas. Sus límites son de 8 á 20 kilómetros por segundo y de 4 á 10 respectivamente. Las terceras ondas, ó sea las principales, corresponden al temblor sensible y su velocidad constante es de 3 kilómetros y medio por segundo. No difiere mucho de la del sonido en las capas de la superficie terrestre.

Sucede que las ondas sensibles dan muy á menudo dos ó tres vueltas al rededor de la tierra, de tal suerte que la registración sismográfica de ellas puede durar varias horas después de pasado el temblor ó el terremoto. En otras palabras, una vez mecida la masa terrestre entera por un fenó-

meno sísmico, no vuelve ella al reposo final, ó al equilibrio, sino largo tiempo después.

Los tremores preliminares, ó sea las vibraciones sísmicas insensibles al hombre que preceden un temblor, llegan á los sismógrafos después de haber atravesado una cierta porción de la masa terrestre y han pasado por el centro de la tierra, cuando se trata de un temblor cuyo foco se encuentra en el antipoda del observatorio. Los sismogramas nos darán, por consiguiente, noticias del interior del planeta, con tal que sepamos interrogarlos con bastante sagacidad.

¿Qué conocemos experimentalmente de la constitución interna del globo? Nada ó poco más.

Su densidad media es igual á cinco veces y media la del agua y se la deduce por cálculos astronómicos, pues, el movimiento de la tierra en los espacios celestes depende de su masa y por consiguiente de su volumen, que saben determinar los geodestas. Pero las rocas más comunes de la cáscara terrestre son mucho más livianas. Así es necesario que el interior de la tierra esté constituido por materias más pesadas.

Varios fenómenos dependen de la distribución de la materia en el interior de la tierra, ó sea de su constitución interna. Los principales son la precesión de los equinoxios, la rotación del eje del planeta, la amplitud de las mareas i las variaciones periódicas de las latitudes. Varias también son las hipótesis que pueden hacerse relativamente á esta constitución interna y que permiten conciliar los valores observados de estos fenómenos con la teoría matemática de cada uno de ellos. Pero una sólo puede conciliarse, con las velocidades observadas de los tremores preliminares. Consiste ella en suponer una cáscara exterior cuya densidad media sea la de dos veces y media la del agua y un núcleo interior de densidad uniforme hasta el centro de la tierra y poco superior á la del fierro. El radio de este núcleo debe ser igual á las cuatro quintas partes del radio terrestre.

Las velocidades de que se trata no dependen únicamente de la densidad de las masas al través de las cuales han ca-

minado; varían, al mismo tiempo, con su estado molecular. Dado los valores obtenidos por la comparación de los sismogramas registrados en varios observatorios, resulta que estas velocidades son mucho mayores que las que corresponderían á un estado fluido del interior de la tierra. Es necesario que el núcleo posea una rigidez á lo menos doble del acero más duro.

Este resultado experimental, insisto sobre el epíteto, no dejará de extrañar, puesto que es completamente contrario á la antigua creencia en un estado fluido, ó á lo menos viscoso del interior de la tierra. Esta célebre hipótesis parecía tener una base sólida, la teoría cosmogónica de Kant y de La Place, y acabamos de ver como las observaciones sismográficas bastan para derribarla. En tales condiciones, era menester se buscara otro método para confirmar la rigidez del núcleo terrestre. Pues bien, cualquiera que sea el estado molecular del interior del planeta, la atracción del sol y de la luna deben deformar constantemente su superficie, lo mismo que produce en el nivel líquido de los océanos la intumescencia de las mareas. Durante nueve años en el instituto geodésico de Postdam, Hecker ha aplicado los sismógrafos á la investigación del problema. El resultado de sus delicadísimas observaciones puede expresarse como sigue:

En cada punto del globo y en cada instante que se considere, la forma de la superficie terrestre en lugar de ser invariable, depende de la posición del sol y de la luna relativamente al punto de que se trata y la deformación constantemente variable de la superficie terrestre es precisamente la que se obtendría al suponer al interior de la tierra una rigidez igual al doble de la del acero más duro. En otras palabras, el estado rígido del núcleo terrestre se deduce de las observaciones sismográficas por medio de dos métodos completamente diferentes y es éste el descubrimiento más brillante de la Sismología moderna. El espectroscopio ha permitido á los astrónomos conocer la composición química y la constitución molecular de los astros más alejados; de la misma manera, el sismógrafo permite á los sismólogos penetrar

en el interior de la tierra y auscultarlo, á pesar de que, hasta estos últimos años, parecía inaccesible para siempre á las investigaciones positivas del hombre.

IV. El péndulo cardánico de Santiago

No deja de llamar la atención que los inventores de sismógrafos no hayan pensado nunca en utilizar la suspensión cardánica para conseguir la masa fija que necesita la registración de los movimientos terrestres, puesto que en los péndulos astáticos de Wiechert descansando la masa sobre dos pares cruzadas de resortes, no está suspendida, de tal suerte que no se trata de una verdadera suspensión de esta clase. Era, pues, lógico ensayar si aplicando este principio á la construcción de un sismógrafo, no se obtendrían diagramas satisfactorios. Así se hizo en Santiago y se encargó al mecánico ayudante del servicio sismológico lo construyera con los medios y materiales que pudieron conseguirse en el país.

Fuera de ser suspendida la masa fija exactamente como por ejemplo las lámparas á bordo de los navíos, el sismógrafo de que se trata no presenta nada particular. La masa pesa 65 kilogramos y está formada por 7 varas redondas de fierro ensambladas en forma de un exágono. Dos contrapesos laterales y otro inferior permiten obtener fácilmente la verticalidad de la masa.

El aparato ha sido puesto en servicio en el mes de junio de 1911 y desde luego ha registrado los temblores locales y regionales con toda regularidad. Su radio de vigilancia alcanza á unos 1,500 kilómetros, pues registra los temblores fuertes de Iquique. Si hubiera sido construido en algún taller de mecánica de precisión de Europa, no cabe duda de que registraría temblores mucho más alejados. Así resulta más sensible que el péndulo astático de Wiechert cuya masa pesa tres veces más que la suya.

Los sismogramas del péndulo cardánico se notan por la

regularidad de su forma sinusoidal y la larga duración de la cola. Quiere decir esto que interviene en alto grado el movimiento pendular propio, pero, sería fácil remediarlo con un aparato accesorio de amortiguamiento y el más á propósito sería un vaso de vaselina en que penetrarían cuatro paletas dispuestas en el prolongamiento de la masa fija.

Así queda comprobado por la experiencia que el principio de la suspensión cardánica es aplicable á la construcción de los sismógrafos y era éste el único objeto que se trataba de conseguir.

(El péndulo cardánico de Santiago ha sido adoptado por el Coronel Fontana en la estación Sismológica de San Juan.)

V.— La prevision de los temblores

(Conferencia leída en la Universidad el 22 de julio de 1910)

Cada vez que sucede en Santiago un temblor fuerte, muchas personas piensan que el servicio sismológico ha faltado a sus más elementales deberes al no avisarles de antemano, evitándoles así el terror tan natural que acompaña estos fenómenos emocionantes. Recuerdan en efecto tristemente ellas la pérdida reciente aún de parientes queridos y de amigos en el terremoto de agosto. No dejará, pues de ser interesante para el público una sucinta reseña de lo que dice actualmente la ciencia sismológica respecto de la prevision de los temblores.

Prescindiendo del mundo orgánico, ó sea de los fenómenos de la vida animal y vegetal, son tres los dominios en que se desarrollan las manifestaciones más grandiosas á la que es dado al hombre presenciar y que desca prever: el Cielo, la atmósfera y el subsuelo. Al astrónomo pertenece el Cielo y desde siglos atrás, él sabe anunciar sin error alguno y para un futuro tan largo como se quiere, la vuelta de los planetas y de los cometas, y sabe calcular exactamente los trayectos que caminan en la bóveda celeste. Al meteorologo toca en suerte la atmósfera azulada en que nacen magníficos espectáculos, el arco iris y la aurora polar; sabe anunciar con dos

ó tres días de anticipación el tiempo que hará, y vislumbra una época, sin duda poco alejada, en que sus previsiones abarcarán un tiempo mucho mayor. El pobre sismólogo debe contentarse del subsuelo, ó sea del infierno, porción congrua que le abandonaron en el Universo sus dos colegas; le toca el estudio de un terrible azote; no sabe prever nada, aunque no renuncie á tal esperanza en un porvenir más ó menos remoto.

Colocándonos en un terreno más elevado aún, la desigualdad de las tres ciencias se acentúa más. El astrónomo apoya sus teorías sobre las altas matemáticas, ó sea sobre el único ramo de los conocimientos humanos que conduzca á la verdad absoluta y puede prever, porque los fenómenos que estudia, son periódicos. Le basta conocer el pasado para profetizar con seguridad el futuro. El meteorólogo se encuentra en circunstancias más desfavorables: si algunos de los fenómenos que estudia, son periódicos, como las estaciones del año, los tiempos de la lluvia, del frío y del calor, al contrario otros estallan bruscamente, los huracanes, por ejemplo, pero fenómenos precursores no le dejan desapercibido. Por fin y al cabo prevé á lo menos parcialmente y si el astrónomo se cierne en las alturas de la ciencia pura, el meteorólogo se consuela por los servicios sumamente benéficos que rinde á los navegadores y á los agricultores. Por ser de índole práctica, su papel no falta de grandeza. Al revés de todo esto, el sismólogo investiga un fenómeno sin carácter periódico alguno y al que no se ha descubierto todavía ninguna señal precursora. Más aún, no puede ser sino un profeta de malas nuevas.

Veamos ahora como se han desarrollado las tres ciencias.

Durante más de treinta siglos, desde los pastores de la Caldea, los sacerdotes del Egipto, los filósofos del Gimnasio, y los monjes de la Edad Media, se han acumulado las observaciones astronómicas. Los grandes genios de los Kepler, de los Newton y de los Laplace las aprovecharon para descubrir las leyes geométricas, relativamente sencillas, de las carreras de los astros al través de los inmensos espacios celestes. Las observaciones meteorológicas verdaderamente

científicas no son tan antiguas, apenas si nacieron hace un siglo. Se aplican á los movimientos internos del aire, ó sea de un fluido, y la mecánica de los fluidos está apenas desbastada. Los meteorólogos esperan todavía al Newton que desemañará la complicadísima madeja de las observaciones. Al contrario la sismología racional no tiene más de un cuarto de siglo de existencia, y las observaciones científicas de que dispone son todavía escasísimas. El papel actual del sismólogo se reduce á acumular observaciones para sus sucesores, sin que pueda pensar en aprovecharlas él mismo con el objeto de resolver el problema de la previsión de los temblores. Una vez más queda desheredado respecto de los astrónomos y de los meteorólogos.

A pesar de estos obstáculos, desde siglos los sismólogos han perseguido la solución del problema de la previsión de los temblores. Han dirigido sus miras hacia la luna, á la que se atribuye una influencia directa sobre los fenómenos sísmicos y hubo un sismólogo, Perrey, que gastó á mediados del siglo último pasada toda su vida en esta pesquisa. Después de otros muchos, sus numerosos trabajos resultaron ilusorios y negativos. No faltan sudamericanos que se recuerdan como otro partidario de la Luna, Falb, por los años de 1869 escapó difícilmente al peligro de estar apedreado en el Callao por el populacho que le reprochó haber anunciado un terremoto que . . . no sucedió. Una tal creencia no es sino un recuerdo del paganismo, pero, en nuestra época, le quedan todavía devotos á la Diosa Phœbe, aunque desde tiempo atrás su papel meteorológico haya sido demostrado ilusorio y falso.

Defraudados estos investigadores, otros han dirigido sus miras hacia las conjunciones astrales. Son tan numerosos los cuerpos celestes que es siempre fácil encontrar cierta conjunción que haya sucedido poco tiempo antes ó después de un temblor. Pero no se atiende uno al hecho de que el fenómeno astronómico corresponde á todo el planeta terrestre, mientras que en un instante determinado no tiembla en toda su superficie. En realidad los partidarios de estas conjunciones han resueltamente rehusado someterse al desafío

siguiente: Se les propone calcular en cuales lugares ha temblado en fechas dadas ó bien fijar la fecha de temblores acontecidos en puntos determinados. Hace pocos años dos sabios entablaron entre sí una violenta polémica sobre si habían anunciado terremotos; se trataba del Director de un importante observatorio meteorológico y de un publicista científico de gran reputación: Jueces imparciales fallaron que ambos habían profetizado.....después. ¿Qué de sus conjunciones astrales?

Cerrado el camino celeste, hubo que descender en los espacios atmosféricos y se buscaron en los fenómenos meteorológicos señales precursoras. ¿Suceden los temblores en tiempo de lluvia ó de sequedad, con tempestades ó con calmas, con relámpagos ó arreboles, siendo el barómetro alto ó bajo, con calor ó con frío, etc.? Contestan las estadísticas: tiembla cualquiera que sea el estado del tiempo antes, durante ó después de la sacudida. Este resultado se comprende: calculándose que en término medio se extremece unas treinta mil veces al año la tierra, lo extraño sería que esto no sucediera igualmente con todas las combinaciones posibles de los elementos meteorológicos. En Chile, desde Tacna hasta Valdivia, tiembla medianamente 4 veces al día y naturalmente con sequedad en el primer punto, con humedad en el segundo.

¿Domina exclusivamente la casualidad en los fenómenos sísmicos? En otras palabras, después de un terremoto en Chile, sucederá indiferentemente otro en Italia ó en Japón? No se sabe todavía, pero los sismólogos dirigimos ahora nuestros trabajos en este sentido. Posiblemente se descubrirá más tarde, talvez mucho más tarde, que existe cierta orden geográfica en la sucesión de los terremotos. Lo cierto es que después del desastre de San Francisco, basándose sobre consideraciones de esta clase; un célebre sismólogo japonés, Omori, en una conferencia leída en la Universidad de Berkeley, anunció que á las costas meridionales del Pacífico americano amenazaba á su vez el peligro. La catástrofe de Valparaiso confirmó su pronóstico. En nuestra opinión era

prematura la tesis, y atrevido el anuncio, á lo menos en el estado actual de las observaciones. Sin embargo, no sería raro que algún día esta hipótesis se transforme en certitud y que así se resuelva el problema de la previsión de los terremotos.

El resultado más concreto obtenido en sismología durante los últimos treinta años es que la causa de los fenómenos sísmicos debe buscarse no en el espacio cósmico ni en la atmósfera, pero sí debajo de la superficie terrestre. Constituyen un acto geológico, y con muchísimas probabilidades el mismo que ha levantado las montañas y excavado los abismos oceánicos. Esta deducción se llama la teoría tectónica de los temblores, pero debe tenerse por inexacta la palabra teoría, pues se trata de observaciones y no de suposiciones ideadas por sabios dotados de imaginación más ó menos fecunda. De esto resulta que si hay alguna esperanza de poder anunciar los terremotos se la encontrará en las capas terrestres. Examinaremos lo ya obtenido en este sentido.

Todos sabemos que durante los meses que siguen á un terremoto, se sienten innumerables sacudidas consecutivas cuya frecuencia é intensidad disminuye paulatinamente hasta que la tierra haya vuelto sino al equilibrio, á lo menos á su estado de inestabilidad normal. La observación prueba que estas sacudidas están sometidas á una relación matemática y así se puede anunciar, por ejemplo, que 20 días después de un terremoto, temblará 5 veces en el día, con tal que se hayan contado los temblores de los dos primeros días, para introducir su número en la fórmula. Los cálculos resultan exactos, en otras palabras, se puede anunciar que en tal día temblará tantas veces, pero no se fijarán sus horas. Tales pronósticos no tienen interés práctico alguno.

Pero si á los terremotos suceden sacudidas consecutivas, les preceden también sacudidas precursoras. Por desgracia hasta la fecha no se ha podido descubrir la ley que las rige, ni tampoco distinguir las de los temblores normales del país en que se observan.

La cáscara terrestre de la tierra puede considerarse como

un arco que se arma lentamente hasta que traspasada la resistencia de las capas, se rompen ellas y estalla el terremoto. Ciertos fenómenos que se producen en las galerías de las minas, han demostrado lo exacto de esta suposición y al investigarlos un geólogo austriaco ha podido decir con derecho que había sorprendido en flagrante delito al demonio de los temblores. Nada más exacto, pero ¿Cómo vigilar el estado de tensión de las estratas debajo de una ciudad, cómo, pues, darse cuenta de la inminencia más ó menos cercana del peligro sísmico? Por el momento este método de previsión, por cuerdo que parezca, queda en el terreno de la teoría.

Sería extraño que los anunciadores de temblores no se hubieran dirigido á la electricidad con el objeto de prever los temblores. Es exacto que algunos de estos fenómenos están acompañados de manifestaciones eléctricas. Se idea, pues, y con facilidad, el medio de pedir á la hada electricidad se sirva anunciar los temblores por medio de aparatos que harán tocar campanillas en el instante á propósito. Estallará un cañonazo y toda la población de una ciudad, corriendo afuera de las casas, se pondrá al abrigo del peligro. Pero es ella muy caprichosa y falta mucho que fenómenos eléctricos precedan á todos los temblores. Este caso no deja de ser una excepción. Por este motivo han fracasado todas las tentativas ensayadas en este sentido. Así se justifica la actitud de los sismólogos que se niegan á adoptar los aparatos de esta clase que se les presenta muy á menudo. Sería menester también que estos aparatos avisen de la intensidad; sin esto ¿cuál no sería el estado de intranquilidad y de nerviosidad en que viviría la población á la quemás ó menos diariamente se anunciarían temblores? En poco tiempo se fastidiaría y volviendo al fatalismo se dejaría sorprender por el cataclismo en el día menos esperado.

Frustrada para el tiempo actual las esperanzas de prever los temblores, no por esto queda cabizbaja la sismología ante el éxito de la astronomía y de la meteorología. En vez de anunciar los desastres, sabe cómo puede salvar el peligro y

los esfuerzos de una pléyade de trabajadores han completamente resuelto el problema de las construcciones asísmicas. Por consiguiente tiene esta ciencia tanto derecho como sus émulas á enorgullecerse de los servicios prácticos que rinde á la humanidad.

VI. — La última sesión de la Asociación internacional de Sismología celebrada en Manchester.

La Sismología, ó más sencillamente la ciencia de los temblores, ha sufrido ya muchas vicisitudes y aunque recién constituida parece que se encuentra á punto de tomar un giro inesperado á lo menos para el público y que la aleje notablemente de su objeto primitivo y natural. No dejará, pues, de presentar algún interés se bosqueje aún á la ligera la suerte que le tocó á esa ciencia á consecuencia de una evolución que por racional que sea, hace olvidar á muchos de sus adeptos y desgraciadamente á los más sobresalientes entre ellos cuál es el fenómeno natural que se trata de investigar. Con el objeto de exponer este tema, aprovechamos la oportunidad que nos ofrece la última sesión de la Asociación Internacional de Sismología que tuvo lugar en Manchester del 18 al 22 de julio del año de 1911 y cuyas actas hemos recibido en forma de un resumen provisional y sucinto.

Chile forma parte de esta sabia asociación desde que se fundó en 1902 y en la reunión antes aludida, la representó oficialmente el afamado profesor suizo, A. Forel, de Morges, bien conocido por sus trabajos de historia natural, por sus investigaciones sobre la evolución geológica del lago Léman desde su formación en una era ya remota y por sus estudios sobre las «Seiches», movimiento de carácter periódico que presentan las aguas de los lagos y tal vez las de los mares y las de los océanos también. En colaboración con Stefano de Rossi, inventó la escala de intensidad de los temblores,

cuyo uso se generalizó en todos los países inestables. En fin ha sido en 1878 uno de los principales fundadores de la comisión sismológica suiza y con todos estos títulos científicos, no se podía escoger mejor persona para reemplazar en Manchester al delegado oficial de Chile ante la Asociación.

Veamos primera y sucintamente cuáles han sido las etapas sucesivas por las que pasó la Sismología para conseguir á duras penas la autonomía que merece y, en fin, para alcanzar al estadio que llamaremos de Manchester, en que el concepto de temblor ya no es sino un accidente accesorio y, según parece, fualto de importancia.

Prescindiremos del período prehistórico, durante el cual los temblores, lo mismo que cualquier otro fenómeno natural, se atribuían á la influencia directa y efectiva de seres de mal ó de buen genio, ó sea á dioses, cuyo papel en las armonías de la naturaleza era el de gobernar á su capricho las manifestaciones de las fuerzas exteriores. Más tarde y durante largos siglos, los temblores se incluyeron en el dominio de la meteorología. Considerados como eran por fenómenos más ó menos extraños y accesorios (?), figuraron en columnas aparte de las observaciones meteorológicas y al mismo tiempo se les buscaba causas en la atmósfera ó en los espacios cósmicos.

Se aprovechaba en aquella época cualquier descubrimiento nuevo en física ó en química para explicar tanto los movimientos del suelo como las erupciones volcánicas de las cuales no se les separaba. Fué ésta la era de las teorías magnéticas, eléctricas, etc., pero resultaron vanas porque no se apoyaban sus autores sobre observaciones, pero sí sobre ideas apriorísticas y porque se buscaban las causas de los fenómenos sísmicos en todas partes con excepción del medio en que se originan, la corteza terrestre. Hasta nuestros días estas fantasías no dejan de conservar unos que otros partidarios, aunque ellas hayan desaparecido por completo de las preocupaciones de los círculos competentes y desde algunos decenios atrás la Sismología ha sacudido el yugo de la meteorología.

Más tarde aún, á mediados del siglo XIX, cuando merced al rico material de observaciones que se había lenta y penosamente adquirido y acumulado, la geología se hubo posesionado de su dominio y amaestrado de sus métodos, saltó á los ojos de los más legos que los temblores originan en las capas más ó menos superficiales de la cáscara terrestre. Ha sido la gloria de Ami Boué, el gran geólogo austriaco, pero de sangre francesa, poner el problema en su verdadero terreno. Sucedió esto por los años de 1850 á 1860. La teoría tectónica de los temblores, ó sea la que basada sobre la observación los pone en relación íntima con la evolución del relieve terrestre, se constituyó entonces como un ramo especial de la geología y se encargaron de demostrarlo de la manera más clara Suess, Høernes, de Rossi, de Lapparent y Hobbs, restringiéndonos á mencionar sólo los más sobresalientes protagonistas de esta teoría. Sacó mucho provecho y alcanzó á varios y grandes adelantos la Sismología por su alianza tan racional con la geología y si, á la verdad, no es siempre dable encontrar con precisión la explicación tectónica de tal ó cual terremoto, á lo menos conocemos ahora los sismólogos sus causas generales y el porqué de su repartición geográfica, cuyos rasgos en la superficie terrestre son perfectamente definidos sin dejar nada al acaso, y es este último un problema que queda fuera del alcance de otra ciencia cualquiera.

Pero si los terremotos modifican el relieve terrestre y son un importante factor de su evolución, si derrumban las ciudades y aterrorizan á las gentes según sean más ó menos intensos, ponen también ellos en estado de vibración á toda la masa del planeta, ni más ni menos como si fuera un diapason, pero cuya constitución es en realidad sumamente compleja. De este último hecho ha resultado la intervención de los físicos y de los mecánicos en Sismología y, al mismo tiempo, el descubrimiento de los sismógrafos, es decir, de los aparatos que sirven para medir el movimiento sísmico á pesar de su brutalidad. Es ésta la escuela de Mallet, Wertheim, Rayleigh y de sus sucesores.

Así, durante algunos pocos decenios, los sismólogos se han alistado en dos campos émulos según sus preocupaciones é investigaciones eran de índole física ó geológica. Unos intentaban con éxito explicar los temblores como un fenómeno natural nacido debajo de nuestros piés, mientras que otros estudiaban el movimiento sísmico por sí mismo, sin tener en cuenta su origen, es decir, el temblor ni siquiera en el más mínimo grado. En ambos dominios se hicieron descubrimientos admirables que resultaron de una provechosa división del trabajo. Unos alcanzaban hasta explicar el génesis y la causa de varios terremotos, sino de todos, mientras que otros, escudriñando las delicadas vibraciones registradas en los sismógrafos deducían de ellas nociones muy concretas sobre el estado interno del globo desde el suelo que pisamos hasta su misterioso é inaccesible centro.

Podía creerse que se trataba de dos dominios independientes el uno del otro, pero que presentaban igual interés para los sabios. Sin embargo, las sesiones anteriores de la Asociación Internacional de Sismología no dejaban de dar á temer á los menos expertos que esta situación mutua entre los físicos y los geólogos estaba ya amenazada, á pesar de ser racional, legítima y hasta muy provechosa para la Sismología. Sin duda alguna era imposible imaginarse que el ramo geológico estaba á punto de desaparecer ahogado en un flujo de altas matemáticas, así como acaba de suceder en Manchester según nos lo dan á saber los documentos recién llegados. No se trata ya más de un fenómeno natural, pero sí de un vasto pretexto para sabios cálculos. El movimiento vibratorio que se investiga podría ser el de la masa de cualquier planeta del sistema solar ó hasta el de un astro cualquiera, de un satélite de alguna estrella por alejada que sea de nuestro microcosmo. Por extraño que pueda parecer, durante una larga semana 51 sabios han discutido sobre el movimiento sísmico sin ver en un temblor otra cosa que un fenómeno productor de diagramas. No dejaron por esto de derrochar en estas investigaciones tesoros de talento matemático, talvez demasiado según nuestra opinión.

Prescindiendo de algunas discusiones financieras ó de organización, bosquejemos sucintamente los principales problemas de que se preocupó la docta asamblea de Manchester.

El más vivo interés se reconcentró sobre los trabajos del delegado ruso, el príncipe Galitzine al que se eligió presidente de la reunión de San Peterburgo para el año de 1914. Señalaremos ante todo su nuevo método para deducir por medio de una sola observación sismográfica las coordenadas geográficas del foco de un terremoto por alejado que sea, mientras que hasta la fecha se necesitaban las observaciones hechas en tres observatorios. Sin duda alguna es muy interesante calcular desde San Peterburgo que un temblor acaba de originarse en una profundidad de 1,500 metros debajo del suelo del Almendral de Valparaíso. Pero nos atrevemos á pensar que el descubrimiento no tiene nada de sensacional respecto de la causa de los terremotos y que una simple comunicación telegráfica satisfaría ampliamente á las aspiraciones de los pueblos asolados por los fenómenos sísmicos.

Se sabe que durante siglos atrás se culpó á la luna de la producción de varios fenómenos naturales y en particular de la de los temblores. Los partidarios del papel sismogénico del satélite de la Tierra,—que no se han declarado vencidos todavía por completo—, se contentaban con afirmar sin pruebas, cuando Perrey, Falb, Schmidt y otros astrónomos quisieron á mediados del siglo último pasado explicar los sismos como una consecuencia de mareas luni-solares, que, según creían, se originaban en el núcleo terrestre interno, al que atribuían hipotéticamente un estado fluido, ó á lo menos viscoso.

Hubo sabios que pensaron en verificar esta hipótesis por medio de observaciones directas á pesar de las objeciones gravísimas que pueden hacerse á la teoría de que se trata y aunque se hubieran levantado contra ella estadísticas extensísimas, cuyo resultado le eran sumamente desfavorable. Se intentó, pues, medir efectivamente las susodichas ma-

reas, ó para hablar más exactamente, las deformaciones sufridas por la corteza terrestre bajo la influencia variable, pero permanente, de la atracción de la luna y del sol. Estas observaciones son tanto más notables cuanto que se aplican á la superficie sólida de la tierra que para nosotros es el verdadero emblema de la rigidez más absoluta. Se hicieron durante los años de 1902 á 1907 bajo la dirección de O. Hecker, el actual director de la afamada estación sismológica de Estrasburgo, pero sus resultados no se ajustaron tan exactamente con la teoría como se esperaba. Se trata aquí de movimientos infinitesimales para cuya discusión y crítica se dedicaron varias sesiones de la reunión de Manchester. Posiblemente el fenómeno está perturbado por la rotación terrestre y también por las mareas de los mares vecinos y por las olas de las tempestades que se desencadenan en los mismos. El análisis de los sismogramas llegó á tanta precisión en Göttingen que se pretende distinguir según se trata de los movimientos de las masas líquidas del norte del Atlántico á lo largo de las costas de Noruegia, ó de la Mancha? Por estos motivos, se decidió en Manchester repetir estas observaciones y se escogió á la ciudad de París para continuarlas bajo la dirección del distinguido meteorólogo Angot. Tratándose de lentas deformaciones terrestres cuya amplitud se mide sólo por milímetros, preguntaremos ¿qué interés vital presenta el problema para los países donde tiembla? Pero, más tarde, los sismólogos tendrán una base sólida para brillantes justas en que las altas matemáticas llenarán el papel principal.

Toda acción mecánica bastante potente pone en estado de vibración á toda la masa terrestre, lo demuestra la Sismología moderna y es éste el caso de las tempestades á consecuencia del empuje de las corrientes atmosféricas contra la superficie terrestre. Por esto los sismógrafos más sensibles quedan casi constantemente en movimiento y hasta tal grado que ha sido necesario renunciar á analizar por completo las pulsaciones, ó sea las tempestades microsismicas que registran, pues se llaman así las menudísimas vibraciones que

por días seguidos llenan los papeles ahumados de los aparatos y en Manchester se ha decidido restringir las observaciones á días y á horas determinados con el objeto de comparar entre sí las observaciones hechas simultáneamente en los diversos observatorios. Pues bien, la mayoría de las tempestades que agitan el Atlántico del norte y azotan á las costas occidentales de Europa, nacen en la superficie de la América del Norte y caminan del oeste hacia el este. Atraviesan el océano con una velocidad que no deja de ser grande, pero, que resulta mucho menor que la de las vibraciones originadas por ellas en la masa terrestre. Pueden así estas últimas registrarse en los sismógrafos de Europa antes de que lleguen á sus costas las perturbaciones atmosféricas. Un sismólogo dotado de alguna perspicacia no tendrá dificultad para señalar desde París ó Göttingen una tempestad que va á amenazar á los marineros de Irlanda ó de Bretaña y podrán ellos precaverse con oportunidad del peligro. El tema ha sido brillantemente desarrollado en Manchester. Felizmente se encontró un sismólogo bastante cuerdo para hacer notar que desde el descubrimiento de la telegrafía con ó sin hilos, este nuevo método de previsión meteorológico-sísmica no tenía interés alguno. No perdamos toda esperanza: Vendrá sin duda un día en que los sismólogos sabremos distinguir en los papeles ahumados de los sismógrafos las vibraciones debidas al estrépito de las batallas y entonces podremos aclarar las contradicciones de los cablegramas de las guerras italo-turcas del futuro. Un general puede desde luego soñar que se emplearán los sismógrafos para señalar los movimientos de las tropas enemigas y en lugar de servir estos admirables aparatos para la defensa del hombre contra el azote sísmico, ayudarán a sus ambiciones guerreras.

La naturaleza de los terrenos en que se propaga el movimiento sísmico influye mucho sobre sus efectos materiales y aunque la cuestión sea bien conocida en sus rasgos principales en cuanto al mayor ó al menor peligro que presentan las diversas clases de formaciones geológicas para levantar

edificios sobre ellas, sin embargo, no deja de necesitar más investigaciones de detalle este problema interesantísimo para los países donde tiembla. Se lo estudió en Manchester, pero, únicamente en lo tocante á las propiedades mecánicas de las diversas rocas y Oddone presentó á sus colegas un aparato nuevo y muy ingenioso para medir sus coeficientes de elasticidad y el histéresis. Desde luego un temblor no es sino un fenómeno cuya propagación á través de las estratas terrestres se relaciona íntimamente con un problema mecánico y matemático mucho más general, el de la elasticidad, que desde años ejerce la sagacidad de los mayores sabios.

Estas teorías en que desapareció casi por completo la noción del temblor y algunos otros problemas de menor cuantía, pero de la misma índole, monopolizaron la atención de nuestros sabios sismólogos de Manchester y estos pocos pormenores bastan para dar á conocer cuáles tendencias dominaron en esta última sesión de la Asociación Internacional de Sismología.

Por ahora, la ciencia de los terremotos queda sometida al yugo de las fórmulas matemáticas más abstrusas.

Sería injusto, sin embargo, dejar en silencio la tímida tentativa que hizo Oldham, antiguo Superintendente del Geological survey de la India, para atraer la atención de sus colegas sobre los fenómenos tectónico-sísmicos. ¿Cómo se producen dentro de las capas terrestres los esfuerzos de tensión ó de compresión que producen los temblores, cuando consiguen romper su equilibrio? ¿Después del terremoto, se han dilatado ó comprimido estas capas? El resumen de los debates de Manchester no dicen que la comunicación de Oldham haya sido acompañada por los mismos aplausos que estallaron con ocasión de las demás. Tal vez no los hubo por habersele tenido por un geólogo extraviado entre tantos sismólogos!

Ni una sola voz se levantó en Manchester en favor de las construcciones asísmicas; muy nimio el problema, no da oportunidad á complicados cálculos. Pero se disertó prolijamente sobre la posibilidad de publicar una bibliografía sis-

mológica. Eso sí que tiene interés: así ninguna memoria, por insignificante que sea, podrá escapar á la atención de los ratones de las bibliotecas del futuro.

¿Se lanzará el Servicio Sismológico de Chile con entusiasmo hacia estas vías nuevas, apenas pisadas todavía por los sismólogos de Manchester? Sustituyéndose á la Oficina de mensura de tierras, intentará registrar en el observatorio del Cerro Santa Lucía las mareas de Valparaíso? ¿O, asumiendo por sí mismo las tareas del Instituto central de meteorología y de Geofísica, se atreverá á pronosticar la llegada á las costas del país de las depresiones barométricas que preceden á los bagios del Pacífico? ¡No por cierto! Le basta el estudio de un sólo azote, el de los terremotos. Su papel racional es muy diferente, á lo menos según nuestra opinión.

Sin duda alguna, sería mucho más poético cernerse en las serenas regiones de la Ciencia en la que no tiembla y dejar á un lado la fatigosa redacción del Boletín en que se repiten hasta la saciedad las palabras: temblor, sacudida y remezón. Pero, ¿cómo entonces se resolvería más tarde el problema fundamental de que debe preocuparse el Servicio Sismológico, si no se acumulan observaciones concretas para deslindar con exactitud las regiones más ó menos peligrosas del país? Que si en un porvenir talvez alejado nos esté permitido descansar de esta tarea molesta con intentar descubrir porqué tiembla más en los desiertos del norte que en las selvas del sur y más á orillas del Pacífico que al pié de la Cordillera, nos tendremos por muy felices, en esto no cabe duda, porque el tema presenta bastante interés para satisfacer á todas las aspiraciones de un investigador que desea quedar sismólogo. ¿Y qué diremos del problema de las construcciones asísmicas? ¿Quién se atrevería á decir que su solución práctica no merece nuestra atención? Es éste un terreno en el que puede ejercerse ampliamente la sagacidad de un sismólogo con la esperanza [de rendir los mayores servicios al país. Nuestra ambición se restringe á que el Servicio Sismológico de Chile estudie temblores y no vibracio-

nes terrestres por menudas que sean y para nosotros un sísmograma es un medio y no un fin: representa á un temblor.

Varias veces se nos ha preguntado si debe escribirse sísmología ó seismología. La contestación es muy sencilla: con ó sin e ha temblado en Chile y temblará. Es ésta la importancia que atribuimos á un problema, cuya solución parece turbar el sosiego de los humanistas. Y lo mismo con ó sin matemáticas superiores; no sirven para dar á conocer en qué distrito deben habitar las personas que quieren ponerse al abrigo del peligro sísmico; no enseñarán á nadie cómo construir asísmicamente. Quedaremos pues, fieles á nuestro programa, porque, si en Manchester el temblor no ha sido sino un fenómeno teórico, por decirlo así, en Chile constituye una realidad siempre amenazante.

Además nos asalta una duda seria en cuanto al poder que se atribuye á las altas matemáticas para explicarlo todo, á lo menos en el dominio de los fenómenos naturales por demasiado complejos. Aunque seamos alumno de la escuela politecnica de París en que forman ellas la base de la enseñanza, la experiencia de una carrera científica ya larga nos ha mostrado con qué éxito se emplean para comprobar y apoyar sucesivamente las teorías más discrepantes. Las hemos visto explicar los átomos, no los en forma de gancho como los de los filósofos de la antigüedad clásica, pero sí los de forma geométrica determinada ideados por los Newton, los Biot y otros para justificar la teoría de la emisión de la luz; más tarde han explicado con igual felicidad la teoría de las ondulaciones del éter que habían levantado los Young y los Fresnel, la que reinó sin debate hasta estos últimos años; se prestan con la mayor facilidad en nuestros días para la teoría en boga, la de los *iones*. No cabe duda de que justificarán también la próxima teoría de la luz. ¿No será cuerdo, pues, conservar un prudente escepticismo ante la obra brillante, pero, según pensamos, vana de la Asamblea de Manchester respecto del temblor?

¿Puede explicarse este fenómeno singular, con la invasión algo intrusa de las altas matemáticas en el estudio de los

terremotos? Se divisan fácilmente algunas causas. Los habitantes del centro y del norte de Europa no conocen los temblores sino por oídas y por sus lecturas. No tienen que lamentar la pérdida de deudos ó de amigos en terremotos recientes y ya pasada la efímera emoción del desastre de Mesina, el temblor ha vuelto pronto á ser para ellos una especie de mito. Así se comprende cómo en la sesión de Manchester los delegados de los países del sur de Europa, los de España, de Italia, de Rumania y de Bulgaria no se han señalado ardientes matemáticos al nivel de sus colegas del norte: conocen aquellos lo efectivo del peligro sísmico y saben que no lo explicarán ni lo conjurarán á golpe de fórmulas y de ecuaciones; por esto permanecieron sísmólogos, aunque sus voces enmudecieron en el recinto de la Asamblea.

No sería raro tampoco que esta orgía de cálculos haya resultado hasta cierto grado del desarrollo intensivo mismo de la cultura intelectual de Europa. En nuestros días, muchos senderos de la ciencia no dejan de ser hartamente obstruidos por la multitud de los investigadores y no es siempre fácil á un joven sabio y curioso de la Naturaleza el encontrar un terreno científico bastante virgen en que pueda distinguirse y el de la Sismología queda todavía poco pisado, sobre todo si se trata del estudio de las vibraciones de la masa terrestre. En este camino, quedan todavía provechosas cosechas científicas que recoger. Poco importa, pues, á nuestros sabios que la tierra tiemble, si la masa del planeta vibra, esto les basta para sus investigaciones. Pero aquí, en Chile, pensamos de otra manera y por este motivo no prescindiremos del fenómeno natural, que tantas veces ha asolado á nuestras ciudades.

VII.—La sismicidad de Bolivia.

La república boliviana está tenida por muy estable entre sus vecinas Chile, Perú y Argentina andina, cuyos terremotos han adquirido la más lastimosa celebridad á través de

los siglos que nos separan de la conquista española. Si fuera justificada esta reputación envidiable, este país constituiría una excepción no solamente á lo largo de la cordillera de los Andes, pero hasta en el mundo, pues, según lo enseña la experiencia, las regiones sísmicas ó sea las frecuentes y gravemente assoladas por los terremotos, son las de alto relieve y de surrección geológicamente reciente, conjunto de circunstancias que se realizan lo mismo en Bolivia como en los países antes aludidos. Así en conformidad con la teoría tectónica de los terremotos, tiene esta región montañosa que temer también los movimientos sísmicos y su fama de tranquilidad sísmica resulta un error contrapuesto á los hechos.

Tratándose de un país, cuyo acceso es difícilísimo, y que se encuentra alejado del mar y de las grandes vías de comunicaciones internacionales, uno se se explica el porqué de su abandono durante los tiempos de la colonia á pesar de sus riquezas minerales, de donde se origina la escasez de documentos científicos que se refieren á Bolivia, relegada entre dos portentosas cadenas de montañas. Por la pobreza de las construcciones á lo menos relativamente á los edificios fastuosos de la Ciudad de los Reyes durante los siglos del coloniaje y á consecuencia de la poca densidad de su población, los terremotos no han encontrado nunca jamás allí una presa comparable á la que se ofrecía á los estragos sísmicos en las ricas costas del Pacífico. Por estos motivos los desastres bolivianos han quedado casi desconocidos por completo hasta la fecha y ha sido necesario que el distinguido Director de la oficina de estadística de La Paz, señor Ballivian, (1) exhumase del polvo de las bibliotecas varios documentos y datos al respecto, para que se demuestre lo poco exacto de la estabilidad sísmica del suelo boliviano. Hemos agregado á este interesante trabajo de recopilación algunos fenómenos más y aprovechado también los que acaba de co-

(1) Datos sobre los terremotos y temblores habidos en el territorio boliviano. Recopilación de varios autores. Primera serie (Bol. de la of. nacional de Estadística. Primer semestre de 1909. 54. La Paz).

municarnos un joven profesor oriundo de Tarija, Don Delfin Ichazo, y que está estudiando en el Instituto Pedagógico de Santiago. Este conjunto, de datos ha sido aprovechado para la redacción de la segunda entrega de la historia sísmica de los Andes meridionales y en la lista de los terremotos más ó menos destructores figuran nueve fenómenos sísmicos de Bolivia.

Sin duda alguna la región más expuesta es la cordillera oriental que se presenta en forma de una muralla encima de las inmensas planicies selvosas del Beni y del Chaco. Los terremotos de Sipesipe (1909), de Santa Cruz de la sierra (1848 1850), de Yacuiba (1887 y 1899) y de Tarija (1734) demuestran lo exacto de esta afirmación. Esta faja sísmica prolonga, pues, hacia el norte la región inestable argentina que se extiende á lo largo de la cordillera desde Mendoza hasta Jujuy, Salta y Oran por San Juan y La Rioja. Así la cordillera oriental boliviana está expuesta á los terremotos precisamente en el grado que le asignan su alto relieve encima de las planicies del este y lo reciente de su surrección.

Entre las dos cordilleras bolivianas es probable que la parte del sur es inestable, así como parece demostrarlo el semi-terremoto de Tupiza de 1909 y lo que se sabe de la frecuencia sísmica de Tarija. Pero de la parte septentrional no puede decirse nada cierto, pues, se ignora si el temblor de 1650 era propio á la Paz y en cuanto á los estragos ocurrido en el Desaguadero, en Santiago de Anchaca y en Corocoro el 9 de mayo de 1877, resultaron ellos de un terremoto, cuyo origen era neta y únicamente chileno.

En varias ocasiones el territorio boliviano ha sido el teatro de grandes y asoladores derrumbes de tierra en sus cordilleras y son muy numerosos los acontecimientos de esta clase que han sido relatados y que, según dicen, han sido acompañados por temblores ó han sido la consecuencia de fenómenos sísmicos. Pero para la mayoría de ellos no pueden deducirse de los documentos pruebas convincentes de que algunos de estos derrumbes hayan sido la causa ó la consecuencia de los temblores supuestos, ni tampoco que derrum-

bes ni temblores hayan sucedido simultáneamente. Por otra parte las observaciones verdaderamente científicas modernas demuestran que los temblores debidos á derrumbamientos de tierras, sea superficiales sea subterráneos, en caso de que sucedan estos últimos, lo que niegan redondamente algunos sismólogos, tienen un papel insignificante y por esta razón hemos prescindido completamente en nuestra historia sísmica de los Andes meridionales de los hechos de esta clase, en que las crónicas les atribuyen un origen sísmico, á pesar de que esté bien probado que entre los efectos de los grandes terremotos figuran importantes derrumbes.

El pueblo boliviano yerra, pues, si se cree al abrigo de los desastres sísmicos, porque á consecuencia del progreso mismo de su cultura y de su adelanto material, no cabe duda de que en lo futuro tendrá que sufrir tanto como sus vecinos de los fenómenos sísmicos en los edificios más importantes que se levantarán paulatinamente en las principales ciudades de su vasto territorio.

Excluimos de este pronóstico tan lastimoso como científico, las llanuras del oriente, ó sea el Chaco y el Beni, á lo menos á una distancia bastante grande de la cordillera del este.

Hé aquí todo lo que puede decirse actualmente sobre la sísmología de Bolivia, y la situación no cambiará mientras tanto no se establezcan observaciones sísmicas sistemáticas en este país.

VIII.—Aperiocidad de los terremotos de Chile.

Nadie se extrañará si se afirma que en Chile, á pesar de la dura lección del terremoto de agosto, muy pocas personas, sea pertenezcan al gremio de los constructores de profesión, sea estén propietarios, se preocupen seriamente de levantar edificios asísmicos, aunque se divise cierto movimiento en este sentido. Originan este fenómeno varias causas, entre las cua-

les sólo una se refiere á un problema de sismología propiamente dicha y aludimos al intervalo de tiempo que, según dicen, separa las catástrofes sucesivas entre sí, pues, se cree generalmente que pasado un terremoto, le sucederá un período de tranquilidad de unos ochenta años. Vamos á investigar con cifras en mano lo que nos enseña la historia sísmica de Chile en cuanto á esta peligrosa confianza.

Tomando en cuenta solamente los terremotos que han dejado hondos rastros sea en la historia, sea en la memoria de pueblo, son cinco los que han assolado Santiago desde la época de los conquistadores de antaño. Sus intervalos resultan pues, de sesenta y cinco años en lugar de los ochenta tradicionales. Pero, en una investigación de esta clase, no debe prescindirse uno de otros terremotos que sin haber sido verdaderamente arruinadores, no por esto han dejado de originar daños y pérdidas materiales de gran consideración, así por ejemplo el del 6 de diciembre de 1850. En realidad Santiago ha sufrido ya ocho veces ruinas más ó menos graves, con lo que tenemos en término medio un intervalo de 43 años entre ellas. Cierto que á muchas personas todavía en la flor de su edad linsonjea la esperanza de vivir otros cuarenta años más, de donde les resulta una gran probabilidad de presenciar otro terremoto y la obligación de tomar las precauciones constructivas del caso.

Pero Chile no se reduce á su Capital y á los contornos más ó menos inmediatos de ella y varias veces su vasto territorio ha sido assolado desde Tacna hasta Castro. Pues bien la forma misma del mapa de este país permite investigar el problema de una manera sencilla, cuyos resultados se prestan á una exposición clara. Consiste el método en contar el número de veces que cada uno de los intervalos entre los paralelos de grado en grado de latitud ha sido incluido en las áreas de destrucción de los terremotos y de esta pesquisa se ha deducido el tiempo que para cada uno de estos intervalos de latitud y en término medio separa los terremotos conocidos. Para que el cuadro así formado resulte menos abstruso, se designa estas porciones del mapa por medio de

las principales ciudades, advirtiendo que no se sabe nada sobre los terremotos destructores que han podido sacudir el intervalo comprendido entre Antofagasta y Copiapó. Se agrega también el resultado obtenido para las ciudades de Arequipa y de Moquegua, cuyos temblores no pueden separarse de los de Tacna y de Arica.

Arequipa, 26 años; Moquegua 32; Tacna y Arica 32, Pisagua, Tarapacá 65; Iquique 98; Huanillos 131; Tocopilla 131; Antofagasta 98; . . . Caldera, Copiapó 48; Vallenar 48; La Serena, Coquimbo 48; Ovalle 78; Combarbalá, Illapel 65; Pectorca, San Felipe 43; Valparaíso, Santiago 43; San Fernando Curicó 78; Talca, Linares 65; Cauquenes, Concepción 43; Arauco, Lcs Angeles 78; Temuco, La Imperial 131; Valdivia 93; Osorno 93; Puerto Montt, Ancud 93; Castro 93.

No escapará á la atención del lector que estos números representan el estado de los documentos históricos que han llegado hasta nosotros y que por consiguiente dependen en gran parte de los progresos de la colonización española. No dan, pues, una idea exacta de la repartición geográfica del peligro sísmico en Chile y son inferiores á la realidad.

Estos intervalos de tiempo son tanto menos fidedignos que para Chile no disponemos sino de cuatro escasos siglos, mientras que los terremotos de Calabria están conocidos con exactitud desde más de veinte por documentos históricos de gran valor. Pues bien hasta estos últimos tiempos se creía en la Italia meridional que un intervalo de unos ochenta años separaba á los terremotos sucesivos entre sí, los de 1703, de 1783 y de 1894 parecían dar razón á esta opinión, cuando sucesivamente los desastres de 1894, de 1905 de 1907 y de 1908 han comprobado su falsedad al mismo tiempo que arrancando á los italianos del sur de su ciega quietud, les han incitado á construir asísmicamente. ¿Quién podría afirmar que un porvenir más ó menos cercano no prepara á Chile alguna sorpresa como la de los terremotos italianos de 1894, 1905, 1907 y 1908?

IX.—Ideas generales sobre las construcciones asísmicas

Son varios y múltiples los problemas que se imponen á la atención de los sismólogos sudamericanos con aplicación particular á las circunstancias propias á estos países, es decir, con un carácter regional y particular que pueda presentar interés en el Congreso Científico Panamericano celebrado en Buenos Aires. Se clasifican naturalmente según se refieren á la geografía y á la geología sísmica, ó sea á la propagación y naturaleza del movimiento sísmico y su observación instrumental, y, en fin, según tienden á esclarecer los principios del arte de construir en los países expuestos á terremotos, deduciendo de ellos reglas salvadoras de edilidad antisísmica. Van á examinarse á la ligera el estado actual en Sud-América de estos tres temas generales y á ver cuál de ellos está bastante cercano á una solución madura y completa para que se la pueda exponer aquí.

La geología sísmica se dedica á las investigaciones de las causas secundarias de los temblores y su objeto es el de confrontar la sísmicidad, grande ó pequeña, de cada región particular de área reducida con su historia geológica, hasta las más remota, para deducir el origen tectónico más ó menos probable de cada fenómeno sísmico de importancia. Tiene por base necesaria la geografía sísmica, la que no puede establecerse sino después de largas observaciones. Si en Chile acaban ellas de normalizarse, por otra parte, son demasiado recientes para su determinación precisa y pormenorizada en este vasto territorio, y no se conocen todavía sino los rasgos generales de la repartición de la sísmicidad. Además su geología no ha sido estudiada en sus detalles. Sería, pues, prematura é imprudente cualquier deducción concreta en lo tocante á relaciones tectónicas particulares además de las causas generales, que son bien conocidas, la surrección geológicamente reciente de los Andes meridiona-

les y la formación probablemente más remota del Pacífico. Al desarrollar este tema caería en el peligro de desarrollar hipótesis vanas.

Bien pudiera ser que las propiedades del movimiento sísmico presenten algún carácter especial en Sud-América que debe atraer la atención de los sismólogos. Desde dos años á esta parte el gran péndulo Stiattesi de Santiago rehusa registrar convenientemente los terremotos alejados de América, como si mecida la cordillera de los Andes en el sentido de su inmensa longitud, bastase su masa para absorber casi completamente la fuerza viva correspondiente. Se trata por el momento de una mera suposición y es éste un problema delicadísimo, cuya solución necesitará el empleo de otro telesismógrafo basado sobre principios diferentes y que no parece haberse presentado en otros países todavía. La propagación de las ondas sísmicas se produce en mejores condiciones paralelamente á la gran Cordillera. Sea lo que fuere, el tema no puede dar lugar á una comunicación al Congreso.

Así apartados los dos primeros ramos de la sismología sudamericana en lo tocante á la posibilidad de exponer los resultados obtenidos en estos países sin hacer hipótesis, queda el tercero, el del arte de construir en los países expuestos á terremotos, adaptándolo á las costumbres constructivas de la región. Si este tema es de vital importancia en Chile, cuyos desastres sísmicos dominan en su historia, no lo es menos para la Argentina andina, que ha padecido catástrofes, sino tan ruidosas, á lo menos harto lastimosas desde la ruina de la ciudad de Nuestra Señora de Talavera á orillas del Río Salado en 1632 hasta la de Mendoza en 1861. A pesar de que existe una literatura ya considerable dedicada á este ramo tan importante, los principios generales del problema no han sido expuestos todavía con claridad por este motivo, sin duda, que los autores no conocían bastante las propiedades íntimas del movimiento sísmico; la mayoría de los autores que trataron del problema eran arquitectos, ó ingenieros, no sismólogos. No podían, por con-

siguiente, formarse una idea correcta y cuerda sobre el cómo y el porqué de la destrucción de los edificios. En esto no cabe duda, y se explica así la poca ó nula resistencia de ciertos edificios en los recientes terremotos, aunque hayan sido levantados, según se decía, con disposiciones asísmicas. Van á reseñarse las causas de este fenómeno bastante extraño, á lo menos á primera vista y exponer á la ligera los principios generales, cuya aplicación salvará los construcciones del peligro sísmico y que se deducen directamente de la observación y de la teoría juntas.

En primer lugar, debe afirmarse con la mayor energía la resistencia casi completa de cualquier edificio que haya sido construido con excelentes materiales y en conformidad con las reglas clásicas del arte de construir sin epíteto, aunque no se hayan tenido en cuenta los fenómenos sísmicos. La experiencia de los siglos lo demuestra de la manera más indiscutible y basta para esto recordarse la perfecta conservación de varios monumentos griegos y romanos. No lo comprueban con menor evidencia y claridad las investigaciones de los sismólogos en las ciudades arruinadas por terremotos, cuando comparan las estructuras constructivas de los edificios vecinos según han resistido ó no á un mismo terremoto. Resulta de este examen que es dable á un ingeniero ó á un arquitecto poner sus edificios completamente al abrigo del peligro salvo en un caso muy particular, el de que se encuentren en el trayecto mismo de las fallas cuyo movimiento produce el fenómeno sísmico, ó en su proximidad inmediata, reduciéndose en las demás situaciones las averías á desperfectos sin consideración, como rasgaduras de papeles, caídas de yeso, etc., y otras del mismo estilo. Basta para convencerse uno de la exactitud de esta afirmación estudiar prolijamente las descripciones científicas de los desastres modernos. Sin embargo no deja de ser necesario añadir al arte ordinario de construir, algunas pocas reglas que resultan del empleo racional de los elementos constituyentes de las construcciones y del conocimiento de la manera con que obra sobre ellos el movimiento sísmico.

Los elementos constituyentes de las construcciones han sido inventados, dispuestos y calculados con el objeto de resistir á un esfuerzo estático, vertical de arriba hacia abajo y permanente, la pesantez, y además á los esfuerzos oblicuos ó sea á los empujes mutuos que resultan de su yuxtaposición misma. Al contrario, en los terremotos deben resistir además á esfuerzos dinámicos, verticales de abajo hacia arriba, horizontales también, y por consiguiente, oblicuos en todo sentido, y, en fin momentáneos, en una palabra al movimiento sísmico. ¿Cómo obran estos nuevos factores? Tal es la cuestión.

Se sabe que el movimiento sísmico propiamente dicho se compone de movimientos sucesivos cuya intensidad, amplitud, aceleración y dirección en el espacio varían en tiempos sumamente reducidos y es éste el resultado correcto del estudio de los sismogramas. Presenta en un mismo instante ondulaciones que atacan las masas consideradas como un sólo conjunto y vibraciones moleculares que mecen las partículas de los cuerpos sólidos sometidos á su acción. Estas dos clases diferentes, pero de efectos simultáneos son igualmente peligrosas para las construcciones y se las remediarán al mismo tiempo como se verá en adelante.

Hay más: hasta pocos años ha, los sismólogos tenían como leyendas las relaciones de terremotos en las que se pretendía haberse visto el suelo mecerse al igual de las olas del mar y pensaban que era éste un efecto directo del aturdimiento de los observadores en presenciar el azote sísmico. Estudios críticos muy prolijos han probado últimamente que se trata de un fenómeno efectivo: los terrenos poco coherentes, como las aluviones y las arenas participan entonces y momentáneamente de las propiedades de los líquidos y, en los terremotos, se producen olas visibles, que se llaman gravíficas, por intervenir en su formación la gravedad de las partículas. La distancia entre dos crestas sucesivas puede alcanzar hasta más de 40 metros, su velocidad de propagación á algunos metros por segundo y su altura hasta á unos dos ó tres metros. En los terrenos sólidos no se mani-

fiestan, pero debe suponerse que su fuerza viva no deja de existir á lo menos en forma latente. ¿Cuál no será la magnitud de su acción sobre los edificios?

De esto se deduce inmediatamente que el problema de la asismicidad de las construcciones se confunde idénticamente con el de las construcciones navales; el movimiento sísmico propiamente dicho, ondulatorio y vibratorio corresponde exactamente al choque de las olas del mar contra el casco de un buque, mientras que las olas sísmicas gravíficas corresponden exactamente también á las olas del mar que lo hacen balancear y cabecear. Así el problema de la asismicidad se simplifica, puesto que se reduce á un arte especial, pero ya bien conocido, el de las construcciones navales. Después del terremoto de San Francisco, los ingenieros del oeste de los Estados Unidos han llegado á deducciones análogas, y afirman ahora que se obtendrá la asismicidad de un edificio sólo con calcular sus elementos de manera que resistan el viento. Su opinión aunque no haya sido sometida todavía al crisol de la observación, puede defenderse, porque el viento, lo mismo que el movimiento sísmico, se compone de impulsos sucesivos y desiguales; pero parecen faltar al primero un elemento análogo á las olas gravíficas del segundo. A pesar de esta diferencia no será imprudente aceptar la solución de los ingenieros de California por este motivo que merced á las enormes velocidades del aire en los huracanes, la aceleración á la que se trata de resistir, es mucho mayor que la de la gravedad, mientras que en los terremotos la aceleración no pasa nunca de 5,000 milímetros por segundo, es decir un poco más de la mitad de la de la gravedad. Puede esperarse que de esta manera se compensarán las diferencias de efectos en los dos fenómenos; mucho mayor aceleración en el uno, existencia de ondas gravíficas en el otro. Añadiremos además que según las recientes experiencias hechas en Japón por Koychino, la acción de una corriente indefinida de aire sobre un plano resulta mucho mayor que la supuesta hasta entonces.

Merced á esta identificación entre las construcciones asís-

micas y navales, á pesar de que pueda parecer ella extraña y hasta hipotética á primera vista, el arte de construir en los países expuestos á los terremotos va á entrar en una fase racional, mientras que hasta la fecha se reducía á reglas empíricas, que sin embargo no dejaban de ser salvadoras por resultar de la observación de los hechos. Veamos ahora cuáles deducciones generales y racionales pueden sacarse de la descomposición antes expuesta del movimiento sísmico y de la asimilación comprobada entre la situación de un cuerpo según esté sometido al movimiento sísmico ó al embate de las olas de un fluido.

Si la asísmicidad de las construcciones puede estudiarse racionalmente á consecuencia de las consideraciones generales que acaban de aclararse, no deja su solución de depender de algunos resultados sacados de la mera observación. El más importante de ellos se refiere á la acción del movimiento sísmico sobre las fundaciones de un edificio y son pocos los sismólogos que han pensado en tenerles en cuenta en sus estudios de construcciones asísmicas. Consiste en la disminución muy rápida de su amplitud á medida que se trata de puntos más profundos relativamente á la superficie del suelo y que explica cómo se sienten raras veces los temblores en las minas. A pocos piés de la superficie, se reduce la amplitud á menos de la mitad. Además las olas gravíficas son puramente superficiales. Por consiguiente aparece como salvadora la precaución de levantar las fundaciones tan bajo como se pueda y de mantenerlas sin contacto vertical con el terreno, disposición que no será difícil al constructor disimular por medio de artificios á propósito.

Las fundaciones constituirán un conjunto y no presentarán solución alguna de continuidad, puesto que, de otra manera, las olas gravíficas tenderían en separar entre sí los diferentes lados del polígono que limita y encierra el edificio, con lo que sería en el acto comprometida su existencia. Es este punto de vista que parece no haber sido nunca considerado y que es de vital importancia.

Se deduce de estas observaciones generales que el método

más resistente de fundaciones consistirá en un cajón abierto hacia arriba, es decir, que deben ellas levantarse sobre una plataforma. Así el efecto de la impulsión sísmica se reducirá al bamboleo de un buque sobre el mar y no peligrará el edificio al inclinarse como un conjunto indeformable, siendo imposible que la proyección vertical de su centro de gravedad salga del polígono de sustentación.

La solidez de un edificio resulta en gran parte de la de sus fundaciones, pero no llenan ningún papel tocante al objeto de la construcción misma, puesto que este es el de aislar de la atmósfera ambiente un cierto espacio y el de abrigar sus habitantes de las intemperies, lo que corresponde á las murallas y á la techumbre. Tienen además aquellas que soportar los pisos sucesivos y el techo. La experiencia adquirida en varios terremotos y muy especialmente en el de San Francisco, prueba que este papel de las murallas debe reducirse al de separar del exterior el espacio cubierto por la construcción: en una palabra, no deben soportar ningún peso además del suyo propio. Están ahora condenados en las regiones sísmicas los muros *self-supporting*, es decir los que se soportan ellos mismos.

De esto se deduce claramente que una construcción asísmica debe consistir en un armazón y que los muros no deben servir sino para tapar los vacíos ó claros. Serán, por consiguiente, aquellos tan livianos como sea posible.

Las construcciones mixtas, ó sea las de armazón de madera ó metálicas resuelven, pues, el problema de la asísmicidad, pero con tal que sus elementos horizontales y verticales, no puedan ceder á las deformaciones pantográficas debidas al movimiento sísmico.

Este concepto no es nuevo y después de los tremendos terremotos del Portogallo y de la Calabria de 1755 y de 1783, dió lugar al sistema llamado de las *Case barracate* por los italianos y que reglamentaron los gobiernos de ambos países. Consiste en armazones de carpintería con muros de albañilería ó ladrillos. Este sistema se ha mostrado perfectamente asísmico siempre que se haya obedecido á las re-

glas clásicas y bien conocidas del caso, es decir, cada vez que se han empleado ensambladuras en lugar de clavos ó pernos, para obtener una ligazón estrecha entre los elementos horizontales y verticales de los armazones por lo que se completó el método por medio de cruces de San Andrés en todos los rectángulos. Se notará entonces que las paredes no soportan nada sino su propio peso y su papel se restringe á cerrar los claros del armazón. En otras palabras, el sistema de las *Case barracate* es conforme á la regla formulada por los ingenieros norte-americanos en lo tocante a la prohibición de los muros *self supporting*.

En este sistema es necesario que los elementos verticales del armazón sean continuos de un piso á otro, regla generalmente infringida en Sud-América. De esta manera los pisos sucesivos constituyen un sólo conjunto en lugar de estar sobrepuestos los unos á los otros, como se hace en la mayor parte de los casos, así que bastaría solo si se tratara de resistir á la sola gravedad. El olvido de esta precaución ha sido fatal en los últimos desastres de Italia y se ha agravado la situación por haber los habitantes levantado pisos nuevos sobre sus casas durante el siglo XIX para aprovechar mejor el aumento progresivo del valor de los terrenos y es ésta una práctica malísima también muy común de este lado del Atlántico.

Claro que estas precauciones tienen la misma fuerza para los edificios de armazones metálicos, puesto que se trata también de resistir al movimiento de pantografo debido al esfuerzo sísmico. Con ellos el peligro se agrava cuando se disimula el armazón por medio de mampostería, olvidando entonces los constructores esta regla arquitectónica clásica, según la cual debe manifestarse á la vista la razón de ser de todos los elementos ó miembros de las construcciones. Esta práctica trae consigo la destrucción del edificio á consecuencia de la diferencia de dilatación del metal y de la mampostería en los incendios y se sabe cuán frecuentes son después de los terremotos.

De cualquier modo, pues, que se examine la cuestión sur-

ge á la vista la idea de constituir un edificio en forma de una jaula elástica é indeformable en la que los muros no sirven sino para cerrar los claros del armazón y tal es la fórmula definitiva y correcta de la asismicidad arquitectónica.

La primera exigencia trae consigo la necesidad de la homogeneidad de los materiales y la segunda no está satisfecha á menos que todos los ángulos de los diedros y de los tiedros formados por elementos horizontales ó verticales estén reforzados por escuadras á propósito y también que cruces de San Andrés resfuercen todos los rectángulos en donde no hay aberturas.

En lo tocante á las techumbres, se deduce de estos principios que deben hacer parte íntima del conjunto, ó sea de la jaula, en lugar de descansar simplemente sobre el piso superior. Sus tijerales estarán estrechamente ligados entre sí, lo mismo que los elementos de cada uno, como las riestras, los puntales, etc. De esta manera la techumbre constituirá una pirámide indeformable que hará parte integrante de la jaula.

Un edificio debe también conformarse en el mayor grado posible con las reglas del sólido de igual resistencia de abajo hacia arriba, puesto que oscila como un péndulo invertido. Las disposiciones adecuadas se escogerán con la mayor facilidad por cualquier constructor, con tal que comprenda bien su arte y no sea un empírico.

La estricta é inteligente aplicación de estos principios generales bastará para conseguir una asismicidad perfecta de un edificio por complicado que sea, sin descuidar de algunas reglas particulares que resultan de observaciones bien conocidas ahora en los países expuestos á los terremotos, como por ejemplo la prohibición de las bóvedas. Así es en el poder de los arquitectos y de los ingenieros el borrar los terremotos de la lista de los azotes humanos, en esto no cabe duda, con tal que lo quieran. La experiencia de los siglos lo prueba y la teoría lo afirma.

Concluiremos diciendo que el sistema del cemento armado

resuelve completamente el problema de la asismicidad de las construcciones sin que sea necesario conformarse á regla especial alguna.

X. —Algunas palabras sobre la asismicidad de los edificios de cemento armado (á pedido de la Sociedad Central de los arquitectos de Chile. Santiago, 3 de Julio de 1911).

Señores:

Vuestro distinguido presidente me hizo el honor, pocos días ha, de pedirme expusiera ante ustedes mi opinión sobre las construcciones de cemento armado. Accedí con tanto mayor gusto que en una época ya remota y cuando apenas entraba este sistema en la práctica, he sido el primer sismólogo que previó la perfecta resistencia de este material contra los temblores. Entonces se trataba de una mera opinión—pero los últimos desastres sísmicos se han encargado de hacerla pasar por el crisol de la observación.

Bajo este punto de vista, los métodos de construcción se clasifican en tres categorías según los edificios se destruyen irremediabilmente, ó según pueden resistir á los terremotos merced á ciertas precauciones especiales ahora bien conocidas y hasta codificadas, ó, en fin, según resisten naturalmente y eficazmente por sí mismos sin que el constructor tenga menester preocuparse del problema de la asismicidad. El cemento armado es el único de la tercera categoría.

(Continuara)
