



LOS TEMBLORES DE TIERRA



CONFERENCIA DADA EN FRANCÉS EL 14 DE ABRIL DE 1892 EN EL SALON DE LA BOLSA COMERCIAL DE SANTIAGO, POR DON ALFONSO FRANCISCO NÖGUES, PROFESOR DE FÍSICA INDUSTRIAL I TECNOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD I PRESIDENTE DE LA SOCIEDAD CIENTÍFICA DE CHILE.

Señoras, señores:

La Sociedad Científica de Chile, al establecer las conferencias, se ha propuesto el fin de la difusión de la ciencia; ella ha creído que su rol social no consistía únicamente en el estudio de la ciencia pura o aplicada en el seno de sus reuniones jenerales quincenales, en la publicación de memorias orijinales en sus actas, sino que debía ensanchar mas su órbita de acción i estender su horizonte; que debía tambien hacer partícipe de sus trabajos a la masa del público; que debía, en fin, convertirse en vulgarizadora de los conocimientos científicos. Para responder a estos propósitos, nuestra sociedad dará conferencias mensuales durante este año sobre asuntos diversos de los conocimientos humanos, unas en frances, otras en castellano, segun sean la conveniencia de los conferencistas i los hábitos que tengan del idioma hablado.

En calidad de Presidente para 1892, cábeme el peligroso

honor de inaugurar la série de las conferencias de este año. Voi a hablaros acerca de los temblores, i me atrevo a contar con vuestra benevolencia, ya que estoy obligado a tratar en una hora de un asunto que, para ser estudiado a fondo i en detalle exijiria varios meses.

¿Por qué, me preguntareis quizas, habeis elegido un tema semejante? Voi a satisfacer esta justa curiosidad.

Chile es una rejion sacudida a menudo por movimientos del suelo; los *seismos* (1) son aquí frecuentes i a veces violentos. El señor Obrecht os ha hecho saber que el terreno de Santiago oscila constantemente; i, sin embargo, pocos son los que se ocupan de estos fenómenos de física terrestre de que se ha apoderado la supersticion, i que algunos espíritus interesados aparentan considerar como manifestaciones sobrenaturales. He creído que el asunto no podia ser mas apropiado; pues sí, a la verdad, los países poco o nada sujetos a oscilaciones terrestres, como, por ejemplo, la Holanda, las llanuras de la Rusia etc., deben interesarse poco en los temblores de tierra, estos terribles fenómenos no pueden dejar de ser dignos objetos de temor i de estudio para los habitantes de las vertientes occidentales de la Cordillera andina.

Ademas, señores, el asunto me interesaba por sí solo; por mis estudios, por mis trabajos, por mi enseñanza, me sentía preparado para dilucidar ciertas cuestiones todavía oscuras de los *seismos*, de esta parte de la física del globo poco conocida aun. Encargado de un curso de *sismología o dinámica de la corteza terrestre* en la Facultad de Ciencias de Paris, llamado a ese puesto por el Decano i el Consejo Jeneral de las Facultades, a causa de mi versacion especial en materia de *seismos*, he tenido ocasion de verificar todo lo que se ha dicho i escrito en orden a los temblores de tierra. He aquí por qué voi a ocuparme algunos instantes en los *seismos*, en las teorías que esplican estos fenómenos, en la velocidad de propagacion de las ondas sísmicas, en las relaciones entre la constitucion jeológica del suelo, sus fracturas i los *seismos*; en fin, terminaré con algunas consideraciones acerca de la prevision de los temblores de tierra.

(1) *Seismos* o *sismos*, palabra griega.

*
* *

Señoras, señores: Para un observador superficial de la costra terrestre, nada parece tan estable, tan bien equilibrado, tan sólido, tan inmóvil, como el suelo en que nos movemos i que sostiene nuestras moradas i nuestras construcciones. La jeneralidad de los habitantes considera que la tierra o el suelo es el tipo mas perfecto de la inmovilidad i de la estabilidad, del mismo modo que el océano con sus movibles ondas lo es de la inestabilidad. ¡Ilusion! error profundo! Léjos de estar en una inmovilidad permanente, la corteza mineral de la tierra, se ve, por el contrario, ajitada, sacudida, i cada una de las partes que la componen puede entrar a cada instante en vibraciones: ora es una porcion de la costra terrestre que oscila en una rejion fracturada del mundo, ora una lonja que se levanta o se hunde en otro punto, ora un jiron que entra brusca i brutalmente en vibraciones, derribando cuanto hai en pie en su superficie, ora, en fin, un segmento que se hincha poco a poco insensiblemente, i cuyas variaciones no llegan a hacerse apreciables sino al cabo de largos siglos. Nuestro globo no es un cuerpo muerto; el movimiento i la vida se manifiestan en él por todas partes, así en la superficie como en el interior; él tiene su circulacion, su respiracion; es un cuasi-organismo con sus actividades, desfallecimientos i paroxismos.

La movilidad de la corteza terrestre, la inestabilidad de los continentes es un hecho constante i permanente.

Esta movilidad de la corteza de la tierra es señal de la actividad de las fuerzas endójenas, i de ahí la vida telúrica; su inmovilidad seria un signo de muerte.....

Señoras, señores: Fuera de los movimientos bruscos, repentinis, ademas de las sacudidas violentas, la corteza terrestre experimenta movimientos jenerales, oscilaciones lentas, seculares, que han producido la emersion e inmersion sucesiva de una parte de las tierras firmes. Estos lijeros cambios no producen en las condiciones topográficas i orográficas del suelo, alteracion alguna sensible i apreciable, de tal modo que no pueden ser reconocidos sino despues de gran número de años i con la ayu-

da de medidas mui exactas i de delicadeza suma. Los movimientos del suelo, cualquiera que sea su orjén, no son más que consecuencia de la naturaleza de la corteza mineral de nuestro planeta, i las fracturas que la surcan están en relacion con las variadas temperaturas por que han pasado las masas minerales que la componen, o con las presiones i compresiones que han sufrido.

Los jeólogos clasifican los movimientos jenerales de la capa terrestre: 1.º En *movimiento orojénico*, periódico i no cataclístico, que rompe i fractura el suelo; el cual se manifiesta por impulsiones que afectan diversas direcciones, trazando las grandes hendiduras, las fracturas jenerales del globo, las riberas de los mares, la direccion de los valles, de las corrientes de agua, las cadenas de montañas, las fajas volcánicas, las líneas de derrame de las rocas eruptivas etc. 2.º El *movimiento de largo período*, afecta grandes superficies, en que el suelo se solevanta i se hunde con suma lentitud. Ya este movimiento es ondulatorio, o de báscula, comparable al de una almadía o balsa sobre el agua, dedonde resultan movimientos alternativos de solevantamiento o de hundimiento; cuando una rejion se hunde otra se levanta; la Escandinavia, la Escocia, la Arjelia, Groenlandia, Terranova, las costas de Chile i del Perú etc., experimentan hoi un movimiento de elevacion, miéntras que la Inglaterra, la Francia, el sur del Mar Báltico, el sur de la Groenlandia, las costas del noreste de la Australia, las orillas del Adriático etc., se hundén. 3.º El *movimiento oscilatorio*, es comparable al efecto producido por una marea de un mar interior; se manifiesta por oscilaciones i se ejerce sobre comarcas mui estensas i durante largos períodos: este movimiento determina los períodos jeolójicos de emersion de las tierras i de inmersion de los continentes. Finalmente, 4.º El *movimiento de intumescencia*, ha presidido a la emersion de las numerosas i considerables masas minerales, i a la ereccion de los continentes. Este movimiento es el mas prolongado i el que obra mayor tiempo sobre un mismo punto.

Se puede todavía considerar otra especie de movimiento, el de *hundimiento jeneral* de la costra terrestre, el cual se manifiesta por una atraccion que solicita toda la corteza mineral de

nuestro globo hácia el centro de la tierra, i se efectúa mediante la influencia de dos causas, la contraccion de la zona solidificada i la salida de las materias internas por vía eruptiva o jeiseriana.

*
* * *

Pero no es de estos movimientos jenerales de la corteza terrestre de lo que tenemos que ocuparnos en esta conferencia, sino únicamente del *movimiento sísmico o vibratorio*, acción dinámica instantánea, violenta i de poca duración; la costra terrestre vibra, experimenta desviaciones o estremecimientos en sentido opuesto. Estos movimientos se producen en la corteza exterior del globo, enjendrados por una fuerza cuyo oríjen escapa a la observación directa.

Los movimientos sísmicos se traducen, o bien por movimientos muy débiles o *microsísmicos*, que algunas veces no son perceptibles sino con ayuda de instrumentos delicados: estos pequeños estremecimientos de la corteza terrestre son los *tremiti* de los italianos, los *temblores* de los españoles; o bien, constituyen movimientos de grande amplitud, o *macrosísmicos*, terremotos, temblores de tierra, que se manifiestan en la superficie por sacudidas horizontales o verticales de una potencia eminentemente destructora. ¿Qué cosa son estos temblores del suelo? ¿qué cosa son estos ruidos subterráneos?

Los físicos i los jeólogos se dirijen unos a otros estas mismas preguntas, que son tambien objeto de la curiosidad del público.

Los temblores de tierra son movimientos instantáneos o de poca duración que se producen en la corteza exterior del globo, enjendrados por una fuerza interior cuyo oríjen está fuera de la observación directa. Pero esta definición no se funda mas que en los efectos del fenómeno i no dice nada de su causa.

Manifestándose los temblores de tierra unas veces en un solo punto o en una comarca restringida, i otras veces en rejiones extensas, los unos son horizontales i ondulatorios, los otros verticales, circulares o vertijinosos, en algunas ocasiones mas sensibles en el interior que en la superficie de la tierra, en otras, aun, sucede lo contrario; en una palabra, su intensidad no es la misma en todos los puntos a que se estienden.

Puede decirse con verdad que los temblores de tierra son los fenómenos mas aterradores de la naturaleza: así nada turba i atemoriza tanto como estas terribles manifestaciones de las fuerzas jeodinámicas; hasta los animales se sienten afectados por ellas, i los mas feroces pierden su ferocidad i sus crueles instintos mientras duran las sacudidas violentas de la tierra! En efecto, ¿hai algo comparable en espanto i horror al hecho de sentir temblar la tierra o faltar el suelo a nuestros pies, oír el crujido de los cielos i tabiques de nuestras habitaciones, ver derribarse los muebles i romperse, las paredes de nuestras moradas rasgarse, los edificios mas sólidos desplomarse i nuestros parientes i amigos sepultados bajo los escombros; mirar, en fin, el suelo quebrajarse o cubrirse de abismos abiertos debajo de nosotros?

*
* *

La observacion ha constatado para las manifestaciones de las fuerzas internas una actividad i una variacion contínuas, que obran ya en un sitio limitado, ya en una vasta rejion. «Esta actividad, dice Rossi, se revela bajo la forma de corrientes dinámicas que circulan en las fracturas del suelo, rápida o lentamente, teniendo como punto de partida o de centralizacion los volcanes activos.»

Analizando i comparando los sismólogos, las vibraciones sonoras de oríjen microséismico, han probado su semejanza absoluta con los ruidos que se perciben en los grandes temblores de tierra o en las erupciones volcánicas. Por otra parte, la relacion íntima de todos los fenómenos endójenos se deduce del análisis de los hechos i se impone al espíritu. En todos estos fenómenos, que tienen su sitio en el interior de la tierra, la circulacion subterránea del agua o su vapor ha adquirido una importancia capital.

Si podemos considerar las vibraciones séismicas como corrientes dinámicas con períodos i fases semejantes a los de las borrascas, cuya accion se desarrolla i trasmite a traves de la tierra por las fracturas o hendiduras; si todos los fenómenos de oríjen interno son ocasionados, activados o trasformados los unos en los otros por medio de gases i vapores, ¿no es lójico

suponer que los fenómenos endógenos todos, son manifestaciones de una fuerza única que se trasforma continuamente? En esta escala variada de fenómenos ¿no parece imponerse el vapor de agua como causa i efecto a la vez?

Entre las fuerzas endógenas que se trasforman i modifican conservando su enerjía, el vapor de agua i los gases internos de alta tension parecen desempeñar el rol principal.

El agua se vaporiza i, como los gases internos, adquiere tensiones mui elevadas; las cavidades subterráneas, inmensos aparatos que encierran estos fluidos elásticos, tienen sus paredes destrozadas como cuando revienta un caldero; una parte de los vapores encuentra salida, se escapa i se condensa; pero ella ha producido un choque que estremece las paredes subterráneas, i pone en movimiento algunas masas minerales. La *fuerza inicial* se trasforma en calor, movimiento, electricidad, sonido etc.; en fin, los fenómenos constatados en las erupciones de los volcanes i en los temblores de tierra, parecen entrar en el dominio de la termo-dinámica i ser, por lo tanto, de la competencia del físico i del jeólogo. Así consideradas, las cuestiones todavía dudosas de la sismología, no serian, pues, mas que problemas de dinámica por resolver, a los cuales, sin embargo, faltan aun algunos datos indispensables para su solucion.

*
* *

El estudio de los temblores i de las manifestaciones volcánicas nos conduce lójicamente a las observaciones sobre las áreas sísmicas, las direcciones de los movimientos, sobre su intensidad i su amplitud, a las determinaciones del epicentro i del centro sísmicos i de la velocidad de las sacudidas, al estudio físico, en fin, de los movimientos de la corteza terrestre. Se distinguen en los temblores de tierra varias especies de movimientos; los tres principales son: el movimiento de *succusion* o *subsultorio*, que resulta de los choques verticales de abajo arriba i que produce la sensacion de un movimiento brusco, seguido de un movimiento contrario o de arriba abajo; su efecto es parecido a la explosion de una mina, de la cual, sin em-

bargo, difiere en la repetición de las sacudidas. Estos movimientos verticales son causa de las trepidaciones, tan peligrosas en los temblores de tierra.

Los *movimientos ondulatorios* se propagan horizontalmente a la manera de las ondas líquidas; la superficie del suelo parece elevarse i abajarse, sufriendo una especie de balanceo de efecto muy parecido al del mareo; este movimiento es mas sensible en el vértice de los edificios que en su base i es el mas comun en los temblores de tierra.

Los *movimientos jiratorios* o *rotatorios* no han sido observados directamente; se les conoce únicamente por sus efectos i se esplican, por lo demas, por la combinacion de los movimientos de trepidacion i de oscilacion.

Los elementos que se deben distinguir i estudiar en un temblor de tierra son, primero, *la sacudida*, estremecimiento especial i distinto del suelo producido por una impulsión única; la sacudida es simultánea en toda el área de conmocion; pero una sacudida única es rara. Por lo demas, un temblor de tierra no es otra cosa que un conjunto de sacudimientos que se hacen sentir en una misma zona de sacudimiento determinado durante cierto tiempo.

El *área sísmica*, o área de conmocion, es la porcion de la superficie de un país en que se hacen sentir las sacudidas. El *centro sísmico* o *foco* es el punto de arranque de la sacudida; está situado en la corteza terrestre a una profundidad variable, pero siempre inaccesible a la observacion directa; en un punto de una rejion profunda es, pues, donde se encuentra el oríjen de las conmociones. Este centro sísmico se determina, i a continuacion citamos algunos ejemplos de su profundidad en la corteza terrestre:

Centro sísmico al tiempo del terremoto de la Calabria en 1857, a 10,667 metros de profundidad.

Centro sísmico al tiempo del terremoto de Gera (Alemania) en 1871, a 17,951 metros de profundidad.

Centro sísmico al tiempo del terremoto del Rhin en 1846, a 38,800 metros de profundidad.

Centro sísmico al tiempo del terremoto de Scillen (Hungría) en 1858, a 26,266 metros de profundidad.

Centro sísmico al tiempo del terremoto de Herzogeurat en 1873, a 11,130 metros de profundidad.

Centro sísmico al tiempo del terremoto de Ischia en 1883, de 9,000 a 15,000 metros de profundidad.

Centro sísmico al tiempo del terremoto de Andalucía en 1884, de 4,000 a 11,000 metros de profundidad.

El *epicentro* es uno de los elementos mas importantes que hai que determinar cuando ocurre un temblor de tierra: se llama así la seccion superficial de la corteza terrestre por donde sale al exterior el radio que pasa por el foco. Se ha observado algunas veces en el curso de un temblor que dos conmociones que se suceden con un corto intervalo, no presentan siempre un mismo epicentro.

La *onda sísmica* o *de conmocion* es la reunion de los puntos de la corteza terrestre que experimentan al mismo tiempo la accion de la sacudida.

La *onda de traslacion* es la onda sísmica que recorre los mares; se trasmite con ménos velocidad que a través de la tierra firme, con la lijereza de las mareas mas o ménos, es decir, en razon directa de la raíz cuadrada de la profundidad. Al tiempo de la esplosion de Krakatoa, la propagacion de la onda ha tenido que recorrer un trayecto mui largo hácia el oeste, desde que ella se hizo sentir en el Cabo de Hornos, a 14,000 kilómetros, i en el mar de la Mancha, a 20,000 kilómetros de distancia. Por lo tanto, su velocidad ha variado de 300 a 430 metros por segundo.

El observador que quiera formarse una idea cabal de los fenómenos en los temblores de tierra, debe determinar las líneas o curvas isosísmicas, o de igual intensidad; estas líneas ideales trazadas en el mapa pasan por los puntos en que la intensidad de la sacudida ha sido la misma; estas curvas son jeneralmente elipses alargadas en la misma direccion; pero al paso que ellas casi se tocan por una de las estremidades de su eje mayor, se alejan, al contrario, mas i mas por la otra estremidad.

Las curvas isosísmicas son concéntricas al epicentro, zona epicentral, o zona del máximo de intensidad.

*
* *

Hasta los últimos tiempos, la velocidad de propagacion de las ondas sísmicas se determinaba mediante la observacion directa de los movimientos en el instante de verificarse los temblores de tierra; de modo que los guarismos que este método ha suministrado, han variado necesariamente con los observadores, las localidades i las circunstancias de cada conmocion. Pongamos algunos ejemplos de esta velocidad.

Terremoto de la Calabria en 1857.—Velocidad, 305 metros por segundo (Mallet).

Terremoto de Lisboa en 1755.—Velocidad, 500 metros por segundo (Mallet).

Terremoto de Andalucía en 1884.—Velocidad, 3,000 metros (Aoliens) 1,600 (Fouqué).

Terremoto de Pointe à Pitre en 1847.—Velocidad, 2,426 metros por segundo.

En vista de lo disconforme e incierto de los resultados de la observacion directa, los sismólogos determinaron recurrir a la esperimentacion para medir con alguna aproximacion la velocidad con que se propagan las ondas sísmicas o los sacudimientos de la corteza terrestre. Los señores Scaff, Mallet, Milne Gray, Abbot etc., han tratado de calcular, por medio de procedimientos de laboratorio u operando sobre el terreno, la velocidad de propagacion de las sacudidas en las diversas rocas.

El asunto, de suyo, es delicado i difícil: i por otra parte, la velocidad de propagacion de las ondas sísmicas varía segun sean la composicion de los medios, la naturaleza i composicion de la roca, la especie de sacudimiento; segun la orientacion de las *estratas*, su densidad i segun sean éstas mas o ménos compactas; varía finalmente, con el plano que trasmite el movimiento con relacion a la vibracion inicial, i con muchos otros factores todavía.

Los señores Fouqué i Miguel Levy se han entregado a una série de pesquisas esperimentales delicadas sobre la velocidad de propagacion de las ondas sísmicas; hé aquí los resultados obtenidos por estos hábiles esperimentadores:

		Velocidad
En el granito:	de 2450 a 3141 metros	
« los asperones hulleros compactos.	2000 a 2526	«
« asperones permianos menos aglutinados	1190	«
« mármol cambriano	623	«
« arenas de Fontainebleau	300	«

Yo mismo he hecho esperiencias acerca de la velocidad de propagacion de las sacudidas por medio de un dispositivo análogo al de Mallet i de Abbot; los resultados de mis pesquisas, publicados en las *Comptes rendus de l'Academie des sciences de Paris*, se consignan en el cuadro siguiente:

		Velocidad
1.º Traquitas porfiróideas del Cabo de Gates (España): en direccion de los filones metalíferos.	1500 metros por segundo	
Normalmente.	1400 a 1450	« «
2.º Filones de granito de la Sierra de Santa Elena i de Lináres (España): en direccion de los filones de galena	1480 a 1500	« «
Normalmente	1400 a 1450	« «
3.º Calcáreas compactas de la Sierra Alhamilla i de Gador: en direccion de los filones o paralelamente a las capas	1400	« «
Normalmente	1200	« «
4.º En los esquistos antiguos: en direccion de los filones	800	« «
Normalmente	750 a 700	« «

La velocidad de trasmision de los sacudimientos subterráneos, no solamente varía con la naturaleza de la roca, sino que depende tambien de varios factores, algunos de los cuales es mui difícil determinar. Por lo demas, los números encontrados por la esperiencia sobre rocas dadas, no se podrian aplicar al cálculo de la velocidad de las ondas séismicas en los temblores de tierra, cuando éstos se producen fuera de las rejiones en que se han hecho los esperimentos.

Los sismólogos reconocen tres clases de temblores de tierra: los *volcánicos*, los *perimétricos* i los *telúricos*.

Los temblores de tierra volcánicos tienen un área poco estensa, se producen en los distritos volcánicos, están encerrados, localizados entre los perímetros de los conos de los volcanes, tienen aun su centro de máximum de intensidad en las cercanías, al pié o sobre el cono mismo de los volcanes activos (Vesubio, Etna), o semi-activos. Los séismos, aunque violentos, tienen un área poco estensa; se repiten a menudo con los mismos caracteres, i tienen por distintivo especial fenómenos de esplosion que concluyen por la erupcion.

Los temblores de tierra perimétricos se producen en los alrededores de los distritos volcánicos antiguos o modernos, sin estar, empero, en relacion directa con los volcanes actualmente en actividad; abrazan vastas estensiones; se repiten a menudo en las mismas localidades i a veces durante años enteros. Aunque estos séismos parecen en jeneral ser independientes de las erupciones volcánicas, no obstante, algunos de ellos las preceden i cesan cuando se produce la erupcion. La Calabria (Italia), la Andalucía (España) i sobre todo la vertiente occidental de la América del Sur se ven frecuentemente amagadas por esta especie de temblores.

Los temblores de tierra telúricos se hacen sentir en las rejiones mas apartadas de los volcanes; sus manifestaciones están separadas por largos intervalos de tiempo i obran sobre una superficie mui grande. Poulet Scrope, Stoppani, piensan que estos temblores de tierra están en relacion con las grandes oscilaciones del globo i que son una consecuencia inmediata de las rupturas que se producen de tiempo en tiempo sobre inmensas lonjitudes de la corteza terrestre, la cual se entregaria a una gimnástica colosal produciendo sacudimientos formidables por la fractura de la corteza de nuestro globo.

*
* *

Señoras; señores: conocemos ahora todos los elementos de un séismo i los factores que el observador debe tomar en cuenta en el estudio de los temblores de tierra. Podemos, por consi-

guiente, abordar desde luego el exámen de las teorías sísmicas.

La inestabilidad de la superficie del suelo era un motivo de inquietud para los antiguos; la imaginación de sus poetas veía en los sacudimientos de la tierra la lucha de los Titanes contra una divinidad encolerizada. Pero sus filósofos, lejos de participar de la superstición popular, trataron de explicar las oscilaciones de la corteza terráquea por el juego de las fuerzas naturales. Tales de Mileto las atribuía al movimiento del agua, Anáxímenes a trozos desprendidos de la tierra misma que ruedan i saltan en las capas inferiores o caen en las aguas estancadas: este filósofo es un precursor de la teoría de los *hundimientos*. Para Demócrito, el aire i el agua son los principales agentes de los temblores de tierra, producidos unas veces por una especie de viento subterráneo, otras veces por un movimiento de las aguas subterráneas, comunmente por las dos causas juntas. Epicuro reúne a estas causas la acción del aire exterior que entraba en las cavernas, i también la conmoción producida por la caída de rocas a las cavidades subterráneas.

Hé aquí cómo Lucrecio espresa su pensamiento:

Nunc age quæ ratio terræmotibus motivus existet,
 Percipe, et imprimis terram fac ut esse rearis
 Subter item, ut supera est, ventis atque undique plenam
 Speluncis, multos quæ lacus multas que lacunas
 In gremio gerere et rupes deruptaque saxa,
 Multa que sub tergo terrai flumina tecta,
 Volvere vi fluctus submarsaque saxa putandum est
 Undique enim similen esse sui res postulat ipsa.

(*De rerum Natura*, liber sextuo, v. 533-540).

Anaxágoras atribuye los temblores de tierra al fuego i al éter, Aristóteles a la acción de los vientos subterráneos; atribuye igualmente algun influjo a la luna; Plinio considera las oscilaciones del suelo como producidas por los vientos i las corrientes interiores de aire; Séneca no las atribuye al fuego ni al agua, sino al aire, rápido i movable que, careciendo de los medios de escapar, sacude las montañas hasta destrozalas; en fin, los babilonios, al decir de Plinio, hacían depender los tem-

blores de tierra de los astros, del sol, de los planetas (Saturno, Júpiter, Marte). En resúmen, así los antiguos como los modernos, han hecho esfuerzos para explicar los temblores, i todo lo que de ellos se ha dicho, deja aun muchos puntos oscuros.

Hoi mismo los físicos i los jeólogos están bien léjos de encontrarse de acuerdo acerca de las causas o fuerzas que producen los movimientos de la corteza terrestre. Los unos, les reconocen un orijen ígneo, volcánico, i los consideran como una manifestacion al exterior de las masas fluidas internas, incandescentes, como efectos de gases encerrados en el interior de la tierra. Otros, rechazando esta hipótesis de un calor central que les da orijen, de un núcleo interno fluido todavía, explican los fenómenos sísmicos haciendo intervenir la electricidad, la presion, la compresion, el calor producido por causas mecánicas o químicas, i enjendran una *meteorología endógena* que se asemeja a los fenómenos del mismo orden que tienen lugar en nuestra atmósfera (1). Pero, si todos los físicos no reconocen una misma causa a los fenómenos sísmicos, todos están acordes en cuanto al poder extraordinario de las fuerzas internas de la tierra. Es, pues, sobre el orijen i naturaleza de esta fuerza donde existen las diverjencias de opinion. Los unos sustentan las teorías mas o ménos modificadas de Descartes, Leibnitz, Laplace, Elie de Beaumont, como Fourier, Dana, Credner, de Lapparent, Fouqué, Daubrée etc., fundadas en la existencia de un núcleo central líquido, incandescente, rodeado de la costra solidificada de la tierra, que va enfriándose sin cesar. Otros, aceptando mas bien las ideas de Ampère, de Davy, de Herschell, como Poisson, Lyell, Hopkins, Daubeny, Tyndall, Sterry-Hunt, Thompson, Stoppani, Rossi, Roche etc., no admiten la necesidad de este calor interno de orijen, para explicar los fenómenos volcánicos i las manifestaciones jeodinámicas. Reconociendo, no obstante, un aumento de temperatura en la profundidad, estos físicos atribuyen una accion preponderante al agua que se infiltra

(1) Don Miguel Luis Amunátegui, en su libro *El terremoto del 13 de Mayo de 1847*, dice que en el momento del cataclismo el cielo estaba sereno, i que despues del terremoto se oscureció a consecuencia de la condensacion de los vapores.

de la superficie i penetra en las rejiones profundas de la tierra.

Se pueden clasificar las teorías séismicas mas conocidas, bajo las denominaciones que siguen: 1.^a *teorías volcánicas*; 2.^a *teorías jeodinámicas*; 3.^a *orojénicas o de enfriamiento secular*; 4.^a *teluro-mecánicas o de los hundimientos*; 5.^a *electro-telúricas*; 6.^a *de las depresiones*; 7.^a *de las mareas subterráneas*.

En las *teorías volcánicas*, para unos, las fuerzas volcánicas son una consecuencia de la contracción de la corteza sólida de la tierra, cuyo contenido penetrase por las hendiduras de la costra o saliese al exterior en forma de erupcion, produciendo temblores de tierra i explosiones por los cráteres. Para otros, los fenómenos volcánicos son fenómenos superficiales; pero la temperatura elevada producida por el agente dinámico de los séismos es, para los unos, el *calor central*, i para los otros, *las fuerzas físicas o jeodinámicas*. Para los volcanistas un temblor de tierra es una erupcion volcánica abortada. Algunos naturalistas atribuyen los séismos i las erupciones volcánicas al estado de disociacion en que se encontrarían todos los elementos situados en el interior del globo a una temperatura de cerca de 5,000 grados. Bastando un enfriamiento cualquiera para permitir que estos elementos se reconstituyeran, él debería dar nacimiento a reacciones mecánicas violentas capaces de sacudir algunas porciones de la costra terráquea.

La teoría pseudo-volcánica i la teoría jeodinámica atribuyen las manifestaciones de la actividad interna del globo al vapor de agua i a diferentes gases, sometidos en las rejiones profundas de la tierra a la accion del calor; en donde adquieren una tension capaz de producir los efectos terribles de los séismos i de las erupciones volcánicas. Don Francisco Martínez Moles, profesor en la Universidad de Alcalá desde 1755, i John Michel, profesor de mineralojía en la Universidad de Cambridge, tuvieron la idea de la teoría jeodinámica, al indicar la influencia del vapor de agua en los fenómenos séismicos; esta teoría, esplayada por Humphrey Davy, ha sido sostenida por Lyell, Bischof, Angelot, Stoppani, i demostrada sintéticamente por Mr. Daubrée.

Mr. Daubrée ha tratado de descubrir, por medio del método experimental, las causas de los movimientos telúricos, i de po-

ner en evidencia el poder explosivo de los gases a una alta tension. Nosotros no haremos aquí mas que referirnos al conjunto de estas experiencias conocidas de todos los físicos.

En la hipótesis de Mr. Daubré, el agua seria el principal agente productor de los temblores de tierra i de las erupciones volcánicas. Esta hipótesis, por lo demas, se basa en la propiedad que posee el agua de descender desde la superficie del suelo hasta las rejiones calientes i profundas, donde la temperatura que ella adquiere le comunica una fuerza de expansion capaz de producir sacudimientos intensos.

La observacion constata, en efecto, que en las grandes manifestaciones de la actividad interna del globo, se ven desprenderse de las profundidades cantidades enormes de agua al estado de vapor. Estas pérdidas incesantes ¿no serian reparadas por una alimentacion que partiera de la superficie?

¿Por cuál procedimiento se operarian las infiltraciones? Segun Mr. Daubré, por la porosidad i la capilaridad, a pesar de presiones contrarias considerables; las condiciones de su esperimento se realizan con la naturaleza. «En resúmen, dice nuestro ilustrado maestro i amigo, sin escluir el agua orijinaria i de constitucion inicial, me sentiria inclinado a concluir que el agua de la superficie podria, bajo la accion combinada de la capilaridad i del calor, descender hasta las partes profundas del globo. Estas partes se verian así restablecidas a su estado diario de entradas i gastos: en la hipótesis, el agua de cantera no seria mas que esta agua de alimentacion sorprendida en el principio de su descenso.»

Recordad, señores, que a una alta tension basta una pequeníssima cantidad de materia explosiva para dar lugar a resultados dinámicos que parecen fuera de toda proporcion con la causa; con los nuevos explosivos se han medido presiones de seis mil atmósferas i mas. La potencia motriz de los gases, cuyos efectos gigantescos vemos en las protuberancias solares, parece ser bastante considerable en el interior de la tierra, para explicar todos los efectos de los séismos mas intensos i violentos.

El autor de los *Études synthétiques de Géologie expérimentale* da la siguiente explicacion de un movimiento séismico. «Bajo

las rejiones dislocadas el aplanamiento definitivo de las partes profundas puede no estar todavía establecido. Deben quedar intersticios i cavidades internas a una alta temperatura, que a la larga se llena de agua por la accion de la capilaridad. Habiendo llegado el agua, en una de estas cavidades, a una temperatura esplosiva, desvía bruscamente algunas paredes de su prision. De ahí una primera sacudida, seguida de una expansion en las hendiduras o cavidades vecinas que se hallan a menor temperatura o tension. Las paredes que habian cedido vuelven sobre sí mismas i recobran su primera posicion para ceder de nuevo cuando el receptáculo primitivo haya recuperado la tension perdida. En otros términos, las comunicaciones entre las cavidades se tapan de nuevo i deben ser destapadas mas tarde por un nuevo esfuerzo. Este derramamiento de cavidades en cavidades que, en vez de ser continuo se hace por ruptura i sobresaltos, podrá reproducirse un cierto número de veces i continuarse así hasta el agotamiento del receptáculo natural. Con todo, el mecanismo no se destruye; despues de haber dado lugar, descargándose, a un período séismico, podrá volver a cargarse lentamente merced al fenómeno de alimentacion que acaba de explicarse.

«Reconocida la constitucion jeológica como relacionada especialmente con los temblores de tierra, tendrá, pues, por efecto favorecer la alimentacion de agua de las rejiones profundas i calientes, i facilitar al mismo tiempo, por la independencía de las dovelas que las hendiduras han despedazado, el movimiento que tiende a imprimirles la expansion de los vapores. En los países vecinos a una boca volcánica, estos vapores consiguen encontrar salida. En las rejiones alejadas de los volcanes encuentran mas obstáculos para escapar, lo que explica por qué las conmociones se propagan en una estension tan considerable, su gran violencia, i los esfuerzos a menudo reiterados que ha de hacer la Naturaleza ántes de entrar en reposo.

«En resúmen, los temblores de tierra de las rejiones desprovistas de volcanes parecen debidos a los efectos de una especie de erupcion volcánica que no puede alcanzar hasta la superficie, i, lo mismo que los de las rejiones volcánicas, parecen depender tambien de una causa única, *el vapor de agua animado*

de un poder enorme adquirido por él en las profundidades de la costra terrestre. Finalmente, ciertos países dislocados, con numerosas hendiduras en donde las aguas superficiales pueden introducirse con facilidad, son atacados mas particularmente por los séismos.»

No carece de sencillez esta teoría séismica del profesor de jeología del Museum de Historia Natural de Paris; pero ella está basada en una experiencia no del todo probatoria, i supone la existencia, no demostrada todavía, de cavidades subterráneas elásticas.

Para esplicar los séismos, mi amigo Mr. Estanislao Meunier, naturalista del Museum, ha sentado una hipótesis que reposa sobre el mecanismo empleado por el motor de los fenómenos, el agua, para penetrar a las rejiones profundas en que se enjendra súbitamente su fuerza explosiva. Ella consiste en admitir que las detonaciones i sacudidas séísmicas resultan de la caída inopinada de bloques rocosos impregnados de agua de cantera en algunas zonas internas de temperatura mui elevada. Como se ve, Mr. Meunier hace llegar el agua al interior de nuestro globo por medio de un vehículo sólido, lo que evita las resistencias opuestas a la penetracion infragranítica de los fluidos, líquidos o gaseosos.

«A lo largo de las grandes quebraduras o rasgaduras, dice Mr. Estanislao Meunier, se desprenden bloques que pueden ir, deslizándose, desde las zonas de las masas hidratadas a las rejiones incandescentes, donde el agua no podria subsistir. Un fragmento que tenga un kilómetro cúbico solamente, nos suministra, en fuerza elástica del vapor libertado así de repente de presiones irresistibles, trepidaciones capaces de destruir ciudades enteras, detonaciones, redobles subterráneos, ruidos formidables, en una palabra, todo el cortejo de los fenómenos séísmicos.»

La *teoría jeodinámica*, sostenida i desarrollada con talento por Stoppani i Rossi; atribuye tambien las manifestaciones de la actividad interna del globo, al vapor de agua i a diferentes gases que adquieren allí altas tensiones; sin embargo, Stoppani no admite la existencia de un resto del calor inicial de la tierra, calor que él supone perdido por irradiacion. Pero la teo-

ría que pretende explicar los constantes i continuos fenómenos de movimientos terrestres i de oscilaciones de la costra de nuestro planeta, exige algo mas que el calor que reduce el agua a vapor i da a ésta i a los gases internos las fuertes tensiones necesarias a la produccion de los terribles efectos jeodinámicos. Esta teoría exige que este calor sea capaz de reproducirse continuamente, que él sea una fuerza perpétua i permanente, que no sufra ninguna disminucion, o bien, que sus pérdidas sean reparadas. Stoppani no admite el enfriamiento progresivo del globo por el desperdicio de calor del núcleo central; sino que, por el contrario, cree en la reproduccion continua del calor interno, sin poder explicarse cómo este calor, que el globo pierde de continuo por irradiacion, vuelva otra vez a la tierra.

El agua lanzada constantemente del interior a la superficie por las fuentes i los volcanes, vuelve continuamente a esta profunda rejion de alta temperatura, de donde, por efecto del mismo calor, es rechazada de nuevo al exterior. Este ciclo de la actividad calorífica del globo, este incesante ir i venir del agua del interior, cargada de calor, hácia la superficie, donde lo pierde, i vice-versa, conduce a admitir *una produccion de calor*, i lleva a reconocer en el interior de la tierra, la existencia de un calor perenne o perpétuo. En resúmen, Stoppani no niega la existencia de un calor inicial, él la cree hasta necesaria para la produccion de los fenómenos endójenos; sino que él encuentra la causa inmediata de estos fenómenos, *volcanes, temblores de tierra, oscilaciones del suelo* etc., en el calor que desarrolla la combinacion incesante de todos los elementos telúricos; él la encuentra en un calor que puede reproducirse a medida que se pierde. En fin, las acciones químicas, térmicas, mecánicas, que producen las aguas provenientes de la superficie, bajo el influjo del calor interno, pueden considerarse como la causa inmediata de los fenómenos endójenos.

Es de toda evidencia que una parte del calor interno se pierde por las emanaciones termales, geiserianas, volcánicas, como tambien que estas pérdidas se reparan de un modo continuo, pues la actividad séismica no disminuye.

Pero ¿cómo, señoras i señores, se reproduce este calor interno de la tierra cuando se ha perdido en la superficie? Don Manuel

Fernández de Castro, Director de la Carta Jeológica de España, explica esta reproducción del calor haciendo intervenir los datos de la termodinámica. Considerado el calor como una especie de movimiento vibratorio de las moléculas, como una fuerza susceptible de modificarse, enjendra por sus diferentes transformaciones los diversos fenómenos telúricos. La temperatura interna del globo puede, pues, tomar origen en todos los puntos de la masa mineral en que se producen acciones moleculares. En cualquiera parte de la masa que se considere, las acciones moleculares son capaces de enjendrar puntos caloríficos microscópicos de una intensidad tan grande como es posible concebirlo; el calor así enjendrado es necesariamente menor en la superficie que en el interior.

Estas mismas acciones electro-telúricas son capaces de producir en momentos dados, sobre secciones determinadas, i cuando concurren las circunstancias convenientes, todos los efectos caloríficos i mecánicos del volcanismo. El calor desarrollado por estas acciones electro-telúricas produce la disociación de los elementos del agua, de los cuales el hidrógeno puede adquirir por su condensación una potencia enorme. Además, el oxígeno i el hidrógeno, combinándose por la acción de la electricidad, pueden enjendrar una cantidad considerable de calor; siendo de observar que estas diversas cantidades se suman unas con otras.

Resumiendo, tenemos que, bajo el punto de vista de la teoría jeodinámica de la escuela italiana, el calor interno que evapora el agua, dilata los gases, funde las rocas, levanta las capas terrestres, i lanza las lavas, toma origen en cada punto del interior de la tierra en que se produzca una acción molecular capaz de transformarse en manifestación calórica i en movimiento.

*
* *

La teoría *orojénica* ha sido sostenida por jeólogos de gran renombre, algunos de ellos ilustres, como Elie de Beaumont, Dana, Heim, Suess, Forel, Mac-Pherson, de Lapparent etc., está basada en la hipótesis del enfriamiento secular de la cor-

teza terrestre i en la retraccion i fracturas consiguientes a este enfriamiento; las roturas, las fracturas van acompañadas de movimientos i de dislocaciones concomitentes. Para Elie de Beaumont, el desarreglo de las estratas, la emersion de los continentes, la formacion de las montañas i el derramamiento de las rocas pirojénicas son fenómenos debidos a una misma causa interior, *el calor central*.

Elie de Beaumont hace derivar la dislocacion del suelo, el solevantamiento de las montañas, de una disminucion lenta i progresiva del volúmen de la tierra, producida por el enfriamiento; todos estos grandes fenómenos jeolójicos son mirados por él como efectos de las materias incandescentes internas obrando contra la costra enfriada; los atribuye al enfriamiento secular del globo i a las contracciones que son sus resultados. Elie de Beaumont ha tomado en consideracion el exceso de contraccion de la parte interna del globo sobre la envoltura exterior; bajando la temperatura del interior mas que la de la superficie en un tiempo dado, su envoltura disminuye incesantemente de capacidad a fin de no dejar de abrazar su masa interna. Se ve, pues, que el creador de la teoría orojénica ha buscado la causa de los movimientos del suelo en la contraccion del núcleo central líquido i de la costra terrestre ya solidificada. La primera película sólida formada en la superficie del globo, dilatada o contraída en ciertos instantes, ha debido romperse en todas direcciones, solevantarse a fragmentos en crestas salientes, i la materia fluida o pastosa a que rodeaba ha debido salir a su vez al exterior a lo largo de las fracturas, para formar rodetes mas o ménos elevados, sacudiendo todo eso la corteza terrestre. Todos estos fenómenos de arrugamiento i plegadura de la corteza terráquea, así como los de erupciones, han sido acompañados de conmociones violentas del suelo, de sacudidas, de trepidaciones, de movimientos oscilatorios intensos.

La teoría orojénica considera, pues, los movimientos séismicos actuales, como una manifestacion presente de los agentes que han presidido al arrugamiento de la corteza terrestre, a las dislocaciones que ella ha experimentado i a la formacion de las montañas. La corteza terrestre estaria tambien en un estado permanente de tension, i, rompiéndose de tiempo en tiempo el

equilibrio segun las líneas de tension máxima, la ruptura acarrearía sacudidas i temblores del suelo.

Mr. Forel, de Lausanne, orojenista distinguido, define un temblor de tierra orojénico, "el estremecimiento causado en el suelo por la produccion de una fractura o de una desviacion de capas terrestres bajo la accion de presiones, empujones, dilataciones (distensiones) o contracciones que sufren estas capas al plegarse la corteza terrestre i al formarse las montañas."

Para Mr. de Lapparent, otro orojenista, los temblores de tierra son las vibraciones de la corteza terrestre, cuyas causas tienen su origen en la disminucion progresiva del volúmen de la tierra bajo la influencia del enfriamiento secular.

Don José Mac-Pherson, orojenista de gran talento, espone la esplicacion de los séismos, como sigue: "Como consecuencia del enfriamiento interior, resultan en la tierra zonas de mayor fragilidad espuestas a riesgos mas graves por el enfriamiento secular; hé aquí cómo:

"1.º Si la adaptacion entre la masa interna i la costra se hace de una manera tranquila i regular, las estratas de esta última parte de la tierra se plegarán o deslizarán las unas sobre las otras, subiendo o descendiendo en la vertical; darán lugar a la formacion de masas montañosas para las partes realzadas, i de llanuras para las partes hundidas. Todo esto sucederá de una manera lenta i gradual, pero incesante.

"2.º Si a causa de la rijidez de las masas que deben plegarse, la masa interna puede contraerse mas rápidamente, de manera que la corteza exterior no se adapte a ella, resultarán de aquí cavidades, espacios vacíos que deben producir una ruptura de las masas superiores, haciendo que éstas caigan i produzcan así conmociones i sacudimientos. Hai mas: penetracion de las aguas de los lagos i de los mares en las grietas, aguas que, reducidas a vapor, producen los efectos volcánicos.

"Si se admite el enfriamiento de nuestro globo por la irradiacion, añade el señor Mac-Pherson, se sigue de ello: 1.º, que el solevantamiento de las montañas, los volcanes i los temblores de tierra, son consecuencia de una misma causa, el enfriamiento secular del globo; 2.º, que los temblores de tierra pueden sencillamente ser el efecto de un retardo en la adaptacion de

las rocas superiores sobre la masa interna; 3.º, que los temblores de tierra dependientes de las manifestaciones volcánicas, tienen una esfera de acción más limitada que los que dependen de una irregularidad de adaptación de las capas superiores »

Mr. Faye no acepta en toda su integridad la teoría orojénica de Elie de Beaumont; él le opone otra muy original; según este sabio, la tierra está sometida a una especie de enfriamiento que tiende a exajerar el espesor de la costra submarina, de manera que la costra continental se ve forzada a encorvarse hacia arriba progresivamente, a medida que se hunde la región opuesta con una lentitud extrema. Mientras que Elie de Beaumont supone que tiende a formarse un vacío entre la costra y el núcleo, Mr. Faye, al contrario, cree que, aumentando de espesor la costra terrestre se ha retraído y quebrado en diversos sentidos, y que la masa líquida interior ha sido inyectada aquí y allá por la presión de la costra terrestre hasta en las hendiduras de las capas sedimentarias. «Yo concluyo, dice Mr. Faye, del conjunto de los hechos, que las revoluciones de nuestro globo no se deben a la retracción proveniente del enfriamiento general y uniforme, sino a esta circunstancia particular de la tierra: que el enfriamiento marcha más ligero y más profundamente bajo los mares que bajo los continentes.»

*
* *

La *teoría electro-telúrica* atribuye una gran importancia a las acciones eléctricas; Ami Boué, Chapel, Capucci, Válet etc., han hecho intervenir la electricidad, las corrientes electro-telúricas, para explicar los sismos; por otra parte, estos fenómenos afectan los aparatos eléctricos, magnéticos y electro-magnéticos. Válet d'Aoust admite la existencia de tempestades sísmicas que se anuncian por ruidos subterráneos y detonaciones interiores, a las cuales suceden sacudidas del suelo violentas y repetidas.

Teoría de las depresiones.—Algunos físicos han creído que las explosiones de los volcanes eran influenciadas por el estado de la presión atmosférica. Mr. Palmieri, Director del Observatorio del Vesubio, ha concluido de sus estudios que no solamente las explosiones aumentan de intensidad y de frecuencia cuando hai

disminucion en la presion atmosférica, sino que el derrame de las lavas estaba sometido a todas las influencias meteorológicas. Mr. Schmidt ha sostenido las mismas ideas; mi sabio amigo el señor Castro, Inspector Jeneral de minas i Senador del Reino de España, no concibe que se pueda negar la íntima relacion que existe entre los fenómenos séismicos i las depresiones barométricas.

Mi compañero i amigo M. Francis Laur, ingeniero de minas, diputado del Sena, ha observado que los desprendimientos mas fuertes de grisú corresponden jeneralmente a una baja barométrica. Él parte de estas observaciones para establecer la teoría séismica. Nuestro colega esplica los temblores de tierra por la accion de los gases subterráneos sobre la corteza, los cuales no son suficientemente mantenidos en equilibrio por la presion exterior.

Mr. Forel cree que algunas veces hai coincidencias entre un séismo i una fuerte baja barométrica, pero que ésto no es la regla.

El capitán de artillería Mr. de Montessus de Ballore, distinguido sismólogo, no piensa que haya concordancia entre los fenómenos meteorológicos i los séismos; él cree poder afirmar, como resultado de las numerosas observaciones i de un estado de 9,000 curvas barométricas, que las esplosiones de los volcanes no son influenciadas por el estado de la presion barométrica, i que los desprendimientos de gases naturales no son modificados por las variaciones de la presion de la atmósfera.

La teoría de las mareas subterráneas, fundada por Alexis Perrey, admitia como punto de partida, que bajo la corteza sólida de débil espesor, el globo terrestre encerraba una masa enorme de líquido ígneo, influenciado por las atracciones del sol i de la luna, de la misma manera que el agua en la superficie de la tierra. Perrey creia, pues, que habia mareas subterráneas de materia incandescente como hai mareas en los mares. Suponia, ademas, que estas mareas subterráneas, ejerciendo presion sobre la pared de la corteza mineral de nuestro planeta, debian inyectar en ella materias incandescentes i enjendrar acciones mecánicas capaces de producir los séismos, o a lo ménos de facilitar su desarrollo. De aquí ha nacido, pues, la teoría que atribuye los

séismos a una especie de flujo i reflujó de la masa interna, cuyas reacciones serian idénticas a las de nuestras mareas, producidas sobre los mares por influjo de la luna i del sol.

Alejo Perrey comenzó desde 1841 a establecer su teoría, que formuló netamente en 1863; fué mui envalentonado por Elie de Beaumont, quien encontraba en las ideas de Perrey algunas pruebas en favor de sus concepciones orojénicas. Pero, a pesar del apoyo que le prestó nuestro ilustre maestro, seducido mas bien por su sencillez, la teoría de las mareas subterráneas no ha sido nunca bien establecida, i hoi está ya abandonada.

Perrey recojió la estadística de 10,000 temblores de tierra, acaecidos desde 1750 a 1800, o sea 200 por año, reunió él mismo 5,588 casos de séismos, de los cuales la mayor parte tuvieron lugar durante la luna nueva. El profesor de física de Dijon formuló las tres leyes siguientes, conocidas bajo el nombre de *leyes de Perrey*.

Primera lei.—Los temblores de tierra siguen en su desarrollo las fases de la luna, lo que parece indicar que proceden del movimiento de las mareas de los fluidos del interior de la tierra.

Segunda lei.—Se reconocen dos *máxima* i dos *mínima* de frecuencia, relativamente al mes lunar; los *máxima* siguen inmediatamente las zizijias (plenilunio i novilunio), i los *mínima* corresponden a las cuadraturas (cuartos).

Tercera lei.—Con relacion al pasaje de la luna por el meridiano, se reconocen tambien dos *máxima* i dos *mínima*; los *máxima* responden al pasaje superior, i los *mínima* a las épocas intermediarias.

Como consecuencias de estas leyes, las conmociones sísmicas deberian observarse en mayor número: 1.º, en las zizijias que en las cuadraturas; 2.º, en el perijeo que en el apojeo, sobre todo, en la estacion de los equinoccios; 3.º, mas numerosas, en un lugar dado, en el momento del pasaje de la luna por el meridiano.

Se han hecho innumerables objeciones a las leyes de Perrey; Mr. de Montessus, que era uno de los asíduos asistentes a mi curso de sismolojía en la Facultad de Ciencias de Paris, les ha hecho las refutaciones mas serias.

Sobre 4,943 séismos americanos, anotados por el capitán de

Montessus, 1,225 han tenido lugar en el novilunio, 1,221 en el primer cuarto, 1,278 en el plenilunio, i 1,218 en el último cuarto. Por consiguiente, el máximum del novilunio es insignificante, i el del plenilunio es 1,90 del total de los séismos.

Como se vé, la primera lei de Perrey parece mal sostenida por la estadística.

Sobre 5,388 séismos de Perrey, 2,543 han tenido lugar en el perijeo, i 2,400 en el apojeo; la diferencia es de 143 o de tres por ciento; en consecuencia, la 2.^a lei debe tambien rechazarse lo mismo que la 3.^a

La teoría teluro-mecánica o de los hundimientos, debida a Scheuchzer, ha sido desarrollada por Mr. Fuchs en su libro *Volcanes i temblores de tierra*. Segun el autor que citamos, los temblores de tierra no volcánicos consisten en movimientos mecánicos de ciertas porciones de la masa sólida del globo: hundimientos, desarreglos, deslizamientos de las capas, cambio de equilibrio de ciertas posiciones de las rocas. Todo lo que puede dar nacimiento a tales cambios puede provocar temblores de tierra. Un temblor de tierra no va necesariamente acompañado de hundimiento de la superficie; estos hundimientos se limitan, por lo comun, a algunas partes internas del globo; ademas, el movimiento mas débil en el interior de la tierra puede hacer nacer en ciertas circunstancias, sacudimientos considerables en la superficie; «en fin, dice Fuchs, los temblores de tierra, no son efectos de una causa única, sino que son efectos semejantes producidos por causas diversas.»

Boussingault admitia para los temblores de tierra de la region de los Andes, la teoría de los sacudimientos ocasionados por hundimientos interiores i por el aplanamiento que se opera i que es una consecuencia del solevantamiento de la gran cordillera.

*
* *

Acabamos de esponer las principales teorías e hipótesis concernientes a los temblores de tierra; citaremos todavia algunas notables, sobre todo por lo estrañas.

La teoría de los *astercides* del capitán Chapel, debe ocupar el

primer rango entre éstas, pues no resiste a la discusión. La cito solo por curiosidad.

El capitán Chapel atribuye una influencia considerable sobre el desarrollo de los séismos al pasaje de los enjambres de asteroides por la vecindad de la tierra. Atribuye a los asteroides no solamente los temblores de tierra, sino también los fenómenos meteorológicos más diversos. Los elementos cósmicos, a pesar de sus dimensiones pequeñísimas por lo general, determinarían a causa de su caída, vibraciones de la corteza terrestre susceptibles de propagarse a grandes distancias.

La *periodicidad* de los temblores de tierra no está basada sobre ninguna ley cósmica bien establecida. Perrey reconocía una cierta vuelta periódica de los séismos, en relación con la influencia lunar sobre la masa interior líquida. Mr. Rodolfo Falb, ha desarrollado las teorías de Perrey i ha agregado a los dos factores principales del profesor de Dijon algunos otros cuyo rol no está demostrado todavía. Las predicciones de Falb, del capitán Delauney etc., en el estado actual de la sismología, son hipótesis, por no decir fantasías, que no resisten a la estadística ni a la discusión.

El capitán Delauney pretende también poder predecir los séismos; ha tratado de probar la existencia de periodicidades de 12 i 28 años, que corresponden a las revoluciones de Júpiter i de Saturno.

Otro aficionado a la sismología, Mr. Gautier, ha creído que la importancia i el número de las conmociones sísmicas, se hallaban sometidas a una periodicidad de 10 años, que corresponde al ciclo de Méthon.

Los sismólogos serios no tienen la pretensión de predecir los temblores de tierra con varios meses de anticipación: ellos se contentan con un papel más modesto, cual es el de predecirlos en el mismo día en que deben verificarse, solo algunas horas antes de las conmociones, por medio de aparatos avisadores.

Se han buscado también las relaciones entre la aparición de las manchas del sol, las desviaciones de la aguja magnética, las auroras boreales o polarias i los séismos (1). Aplicando el mé-

(1) Mr. Ch. V. Zenger ha pasado a la Academia de Ciencias de Paris, en

todo estadístico a la comparacion de las manchas solares con los fenómenos magnéticos, M. M. Loomis i Wolf han admitido la existencia de una relacion bastante simple entre estos fenómenos. Segun estos sabios, durante un período de cerca de 150 años, se constatan *máximas i mínimas* que coinciden con intermedio de 10 años, poco mas o ménos. Mr. Wolf ha dado a esta lei la fórmula siguiente: "El número de manchas i las variaciones medias de declinacion, no solamente están sometidas al mismo período de 10 años i un tercio, sino que tambien estos períodos coinciden hasta en los menores detalles, de manera que el número de manchas presenta máximas en ia misma época de las variaciones."

Así, pues, averiguar si existe una relacion sencilla entre la aparicion de las manchas solares i los temblores de tierra, equivale en definitiva al exámen de las relaciones que pueden ligar los fenómenos sísmicos con fenómenos magnéticos. Se han constatado algunos hechos en favor de estas relaciones, pero ellos no son bastante numerosos ni han sido sometidos a una crítica severa para poder basar una teoría sobre ellos; sin embargo, Mr. Tacchini ha constatado que el trazado de las curvas magnéticas corresponde al de las gráficas de los séismos. Hé ahí un hermoso tema de estudio para los físicos de Chile que tienen medios de observar i de experimentar. Buscar las relaciones entre los fenómenos de nuestra atmósfera, las corrientes terrestres, los séismos i la actividad solar, entre el interior i el exterior de nuestro globo ¿no es verdad que estas cuestiones importan problemas seductores que resolver?

Se han hecho esfuerzos considerables para demostrar que hai una relacion estrecha entre los séismos i otros fenómenos físicos. Uno de los elementos de este estudio es una operacion estadística que consiste en determinar el número de temblores de tierra que se producen en tal o cual período de tiempo, en tales o cuales condiciones conocidas. Este trabajo fundamental es mui difícil e incierto; tambien los resultados suelen ser con-

7 de Marzo de 1892, una nota relativa a las perturbaciones atmosféricas, magnéticas i sísmicas de Febrero de 1892, en la cual atribuye un oríjen comun a todos estos fenómenos, es a saber, la actividad solar.

tradictorios. El sabio profesor de jeología en el Colejio de Francia, Mr. Fouqué, parece no aceptar las relaciones de los séismos con algunos otros fenómenos físicos; lo que importa negar la meteorología endógena, que ha sido establecida tan brillantemente por la autoridad de Rossi, Director del observatorio jeodinámico de Roma, i que muchos sabios observadores sostienen. Examinemos algunas de estas relaciones. MM. Mallet, Perrey, Volger, Hoff, Mérian, Kluge, Eliseo Réclus, Fuchs, Poey etc., han construido tablas que muestran las relaciones entre las estaciones i la produccion de los séismos; casi todos están acordes para concluir en un *máximum séismico durante la estacion pluvial*. Las observaciones i las estadísticas gráficas de Mr. de Montessus no confirman la lei de Mérian; Mr. Falb ha estudiado tambien la relacion entre las estaciones i la frecuencia de los séismos; sobre una serie de 2,750 séismos, ha encontrado un máximum en Enero i un mínimum en Agosto; la segunda serie, tambien de 2,750 séismos, le ha dado dos *máxima* en Agosto i Octubre, un máximum de menor importancia en Enero, i un mínimum en Junio. Para el norte de Chile (Copiapó), un *máxima* en Octubre i Enero, un *mínima* en Setiembre i Diciembre. Los temblores de tierra parecen mas frecuentes durante la noche que durante el día; pero estos hechos pueden ser negados i no quedarán establecidos definitivamente sino cuando las observaciones resulten hechas con la ayuda de aparatos enrejistradores.

Si se considera la estructura de la corteza terrestre quebrada, rota, fracturada, interrumpida i a las veces aun invertida por rasgones, los movimientos que la ajitan no deberian sorprender a nadie. Semejante a un inmenso entablado (parquet) cuyas piezas sólidas están mal juntas i mal equilibradas, la superficie de la tierra no nos ofrece ninguna garantía de inmovilidad i de seguridad. Este mosaico, formado de fragmentos varios en su naturaleza, edad, composicion, resistencia i conductibilidad; cortado en segmentos por un sinnúmero de soluciones de continuidad; cuyas partes, sin homojeneidad pueden oscilar, solevantarse o hundirse derribando todo lo que se halla en la

superficie; finalmente ¿puede esta corteza terrestre, fracturada por todas partes, ofrecer alguna seguridad o alguna estabilidad? Nó, no hai en la costra terrestre reposo, ni inmovilidad, ni estabilidad. Por doquiera el suelo es movable, por doquiera el suelo tiembla, por doquiera un movimiento violento, instantáneo, imprevisto, puede derribar los edificios i causar irreparables ruinas en unos cuantos segundos. Si hai países que, por su situacion sobre líneas o ejes volcánicos o séismicos, están frecuentemente espuestos a los temblores de tierra, i si hai otros, al contrario, que, ubicados bajo rejiones mas favorecidas, parecen estar al abrigo de las agitaciones del suelo, no obstante, ningun país, ninguna rejion se halla absolutamente sustraída a las manifestaciones de las fuerzas endodinámicas. Si el suelo de ciertas rejiones de la tierra parece haber entrado en cierto estado de reposo relativo (como, por ejemplo, la cuenca de Paris) él no se encuentra, con todo, al abrigo de futuras sacudidas. El suelo tiembla allí como en otras partes; la diferencia está en la intensidad i en la amplitud de los movimientos séismicos; al paso que las sacudidas son sensibles, a veces violentas en las rejiones fracturadas o dislocadas, ellas son, por el contrario, poco perceptibles en las hoyas poco atacadas, i lejanas de las líneas de fractura.

La naturaleza del suelo i la estructura jeológica de una rejion desempeñan un importante papel en la formacion, propagacion i estension de los movimientos séismicos. Voi a citar aquí algunas investigaciones personales i a indicar los resultados obtenidos.

El estudio comparado de los temblores de tierra de diversas rejiones, que yo he debido hacer para mi curso de sismolojía en la Sorbona, me ha conducido a la averiguacion de ciertas relaciones entre las fracturas de la corteza terrestre i los movimientos séismicos. Cuando se anotan las estadísticas exactas de los temblores de tierra manifestados en una rejion séismica determinada, se constata en ellas *máxima* i *mínima* de intensidad i de variaciones en las formas de las líneas séismicas, que no pueden explicarse sino buscando los centros de conmocion i las áreas sacudidas. Uno se asombra entónces de las relaciones que ligan los movimientos séismicos a las hendiduras del país sacudido.

Pero el punto importante que yo he establecido es que *en una rejion sísmica dada que presenta un sistema complicado de fracturas i de interrupciones, de direcciones, dimensiones, i profundidades diferentes, los temblores de tierra están siempre relacionados con uno de estos sistemas de hendiduras, siendo independientes de los otros.* Tomemos, por ejemplo, una rejion sísmica que he estudiado bien durante varios años, la Andalucía desde Murcia hasta Sevilla. Se conocen allí una série de rasgadas que cortan en trozos la Sierra Bética por fracturas sensiblemente perpendiculares a la cadena. Desde Murcia hasta la Serranía de Ronda, cuatro grandes rasgadas están constantemente en relacion con los temblores de tierra que estremecen con frecuencia esa comarca; éstas son las fallas o hendiduras del Segura o de Murcia, de Almería, de Guadalfeo o de Motril, i del Guadalhorce o de Málaga.

El señor don José Mac-Pherson que ha estudiado tan bien la orografía de la Península Ibérica, ha distinguido desde hace largo tiempo tres grandes fracturas en el sistema hespérico, dirigidas paralelamente a las dislocaciones fundamentales del pais, i orientadas, unas de S.O. a N.O., otras de O.N.O. a E.S.E., i las últimas, en fin, de O.S.O. a N.N.E.; estas grandes hendiduras o fallas se hallan cortadas por fracturas secundarias. Así, la Sierra Bética ha sido dislocada, despedazada en sierras distintas por un sistema de hendiduras trasversales casi normales a las primeras.

Consultando los catálogos de MM. Perrey, Casino de Prado, Mercalli, de Montessus etc., relativos a los temblores de tierra de Andalucía, se constata este notable resultado: que *cuando el centro de conmocion de un séismo se encuentra en Murcia, los movimientos son coordinados con relacion a la hendidura del rio Segura i no se estienden sino mui poco fuera de este centro de conmocion;* rara vez llegan las ondulaciones a las provincias andaluzas vecinas, o si se propagan a ellas, es mui débilmente. El sitio de conmocion de la corteza terrestre está aquí en relacion con una hendidura que parece no tener ninguna comunicacion subterránea con las hendiduras de las provincias vecinas.

Los temblores de tierra de la provincia de Almería presentan los mismos fenómenos de independencia; raras veces los

séismos violentos o desastrosos de Almería, de Vera, de Berja etc., han sido intensos en Málaga, en Granada, en Murcia. Los temblores de tierra de Málaga o de Granada, evidentemente en relacion con las hendiduras del Guadalfeo i del Guadalhorce i con las rasgadas de la Sierra Tejeda i Almjera, a menudo intensos i desastrosos en las provincias de Granada i de Málaga, se transmiten bien al resto de Andalucía, al valle del Guadalquivir, pero con una intensidad decreciente a partir de los centros de conncion vecinos a las hendiduras. Los mismos fenómenos se notan en la rejion sísmica de la Andalucía occidental i del Portugal. Se pueden distinguir, pues, diversos centros sísmicos en la España meridional: Murcia, Almería, Granada, Málaga, a los cuales se puede añadir el Portugal. La actividad sísmica parece trasportarse de una rejion a otra, a largos intervalos de tiempo: así los temblores de tierra de los años de 1828, 1829, 1883, tuvieron por centro a Murcia; los de los años de 1804, 1860, 1863 a Almería; los de 1581, 1680, 1884, 1885, a Granada i Málaga. Cuando la Andalucía está tranquila, el Portugal ordinariamente se halla atormentado: el máximo sísmico ha sido para Almería en 1804, para Murcia en 1828-29, para Granada i Málaga en 1884-1885.

Pero, señoras i señores, admitir el trasporte de la actividad sísmica sería dar una interpretacion aventurada a estos hechos. Los hechos constatados son susceptibles de una interpretacion mas exacta. El sitio del séismo, que reside en la corteza terrestre a una profundidad que varía con las circunstancias del fenómeno, está en comunicacion con las hendiduras de la rejion donde se manifiesta el temblor de tierra. Estas hendiduras tienen dimensiones i profundidades diferentes, i, como ellas son independientes las unas de las otras, los séismos que en ellas se producen son tambien independientes unos de otros.

Las conclusiones que inferimos de nuestras pesquisas i observaciones acerca de los séismos, son las siguientes:

1.^a Donde quiera que se manifiesta un temblor de tierra, el suelo se encuentra hendido o fracturado: el séismo supone la hendidura; pero la recíproca no es verdadera; por todas partes donde hai hendiduras no hai necesariamente temblores de tierra;

2.^a Una hendidura, *faille*, está en relacion con un séismo cuando por su profundidad alcanza a la parte de la corteza terrestre donde se encuentra el asiento de la causa del séismo;

3.^a Residiendo las causas que producen los séismos en el interior de la corteza terrestre, i poniendo las hendiduras en comunicacion el foco séismico con el exterior, los temblores de tierra de una comarca están en relacion con las hendiduras;

4.^a Cuando las hendiduras no tienen la misma profundidad, ellas no comunican con la misma parte de la corteza interna en que reside la causa séismica i son, pör consiguiente, independientes de las hendiduras de profundidad diferente;

5.^a Las hendiduras de igual profundidad i que pertenecen a un mismo sistema de fracturas, deben estar subterráneamente en comunicacion, i, en consecuencia, la causa que produce los séismos puede obrar simultáneamente sobre las fracturas de profundidades iguales.

Habria deseado continuar en Chile mis investigaciones de sismoiojía, pero los medios de investigacion me faltan; aunque profesor de física de la Universidad, no tengo a mi disposicion ningun instrumento de observacion; he podido constatar, sin embargo de ésto, algunos hechos que confirman mi opinion sobre los séismos.

Los temblores de tierra de Chile afectan dos direcciones jenerales, poco mas o ménos normales entre sí, en relacion, por lo demas, con la estructura orográfica del pais i los sistemas de hendiduras; los unos toman la direccion de norte a sur, paralelamente a la cordillera i segun las fracturas estratigráficas que han formado la gran depresion o valle longitudinal comprendido entre las dos cadenas; los otros siguen la direccion de Este a Oeste o normalmente a la cordillera, en relacion con otro sistema de fracturas, i su estension está limitada de un lado por el Pacífico, del otro por la gran cordillera; algunos cruzan angularmente las dos direcciones principales i parecen debidos a ondas terrestres refractadas o reflejadas. Mr. Obrecht, Director del Observatorio Astronómico de Santiago, me ha comunicado algunas observaciones que interesan principalmente a la meteorolojía endójena i a la física del globo. Sobre 18 temblores de tierra bien constatados que se han hecho sentir en la

capital de Chile, 5 han tenido lugar en la primavera del hemisferio austral, 1 en el verano, 4 en otoño i 8 en invierno. Sobre 6 en que se ha determinado exactamente la direccion de su movimiento, 3 tienen una direccion de este a oeste, 1 de suroeste a noroeste, 1 de norte a sur, i finalmente 1 de sur a norte.

En un temblor de tierra de un pais dislocado, la violencia de los choques depende esencialmente de los movimientos jeolójicos de la rejion. La intensidad de los choques aumenta al llegar a las hendiduras porque una parte de la fuerza viva se transforma en trabajo; pero, a una disminucion de amplitud en las vibraciones que atraviesan las fracturas, corresponde un decrecimiento en la intensidad del séismo. Si las hendiduras transversales son paralelas a la direccion del movimiento, el cual no siempre se ve obligado a atravesarlas con pérdida de fuerza viva, la intensidad de las conmociones no disminuye gradualmente, al contrario, ella crece si encuentra zonas frájiles. La intensidad de los movimientos séismicos está ligada a la estructura del suelo. Las capas plegadas, contorneadas i fracturadas de un pais denotan un estado de equilibrio poco estable, i la actividad intermitente de las causas que han presidido a estas dislocaciones: las hendiduras i fracturas antiguas pueden volver a abrirse bajo el impulso de las fuerzas orojénicas internas; por otra parte, la estructura jeológica del suelo de un pais dislocado no ofrece garantías de ningun jénero contra futuras eventualidades séismicas.

La teoría orojénica de Mr. Suess, espuesta en *Das Antlitz der Erde* i en su otro libro intitulado *Die Enttehung der Alpen* explica la formacion de los continentes i las grandes dislocaciones que han contribuido a formar las cadenas alpinas, pireneana, caledoniana etc.; pero seria salir del campo de esta conferencia, esponer i discutir las brillantes concepciones del jeólogo austriaco.

*
* *

Señoras; señores: en nuestra época positiva se pide a cada ciencia un continjente práctico, utilitario o social. ¿Es prema-

tura esta exigencia en lo que concierne a la sismología? (1) No se puede pedir a esta rama de la física del globo que impida las manifestaciones de los temblores de tierra, así como tampoco se puede pretender que la meteorología se oponga a la marcha de un ciclón, o a la caída de la lluvia o del granizo. Pero se exige sí al meteorólogo que señale la marcha del torbellino, de la tempestad, la velocidad de su propagación, la previsión del tiempo etc. Así como el meteorólogo, mediante la observación del barómetro, prevé i predice, el sismólogo, por medio de la observación de sus aparatos, de sus sismómetros, sus auscultadores, sus indicadores o avisadores, ha llegado a notar las sacudidas débiles, los tiritones de la corteza terrestre, los movimientos precursores, los ruidos subterráneos, los preludios de los remezones; a prever, en una palabra, los temblores de tierra.

I quien dice prever, dice saber i prevenir; no prevenir los terribles fenómenos que se originan fuera de nuestra observación directa, sino advertirnos a tiempo, a fin de que podamos ponernos en guardia contra sus temibles efectos.

No se limita a eso solo el lado práctico i utilitario de la sismología. Nó; su influencia va todavía mas léjos. Efectivamente, la observación i la experiencia han enseñado que las temibles sacudidas de los temblores de tierra, los quebrantos de las rejiones sísmicas se producen casi constantemente en direcciones determinadas que están en relación con ciertas líneas de fracturas. De aquí resultan preceptos arquitectónicos que parece no han ignorado los arquitectos de la Antigüedad. En efecto, los monumentos de este período de la historia, en Roma, lo mismo que en otras partes, que han sido construidos en conformidad a esos preceptos, a esas reglas arquitecturales, han resistido a todas las sacudidas de los temblores de tierra que, durante largos siglos desolaron i conmovieron el suelo de Italia.

(1) La *sismología* es el estudio i conocimiento de la dinámica interna de la tierra; ella se ocupa de todos los fenómenos volcánicos, pseudo-volcánicos, de los movimientos del suelo, de las oscilaciones, de las fracturas de la corteza terrestre, de la circulación subterránea de los gases i de los líquidos, del estudio, en fin, de las fuerzas geodinámicas.

El arquitecto que construye en las rejiones sísmicas, debe tomar en consideracion no solo los ejes de fracturas, sino tambien la naturaleza jeológica del suelo sobre que edifica. La sísmología prevé i aconseja, i el arquitecto construye conformándose a las reglas que la ciencia formula. Los observatorios sísmicos o jeodinámicos, esparcidos en Italia, en Suiza, en el Japon, no existen todavía en Chile. I para prever i prevenir, es necesario, ante todo, poder observar.

Concluyo haciendo votos por que en la rejion sísmica de los Andes, se establezcan observatorios, en los cuales se puedan observar todos los fenómenos de la física terrestre, tanto internos como externos; los que dependen así de la meteorología endógena como de la meteorología atmosférica; los fenómenos jeodinámicos e igualmente la estructura jeológica de la parte de la costra de nuestro globo accesible a la observacion. ¿Serán coronados estos votos? El porvenir nos lo dirá.

A. F. NOGUES

Profesor de Física Industrial i de Tecnologia de la
Universidad

