

DISCURSOS

LEÍDOS ANTE LA

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS

EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

EN LA RECEPCIÓN PÚBLICA

DEL

ILMO. SR. D. EDUARDO MIER Y MIURA

el día 28 de Mayo de 1911.



MADRID

ESTABLECIMIENTO TIPOGRÁFICO Y EDITORIAL

CALLE DE PONTEJOS NÚM. 8.

1911

Señores Académicos:

Las primeras frases de este discurso debieran encaminarse á daros una explicación de mi tardanza en escribirlo, y así sería si no lo impidieran razones que vuestro sereno y elevado espíritu apreciarán, sin duda alguna, como suficientes.

Tengo la pretensión de creer que la explicación habría de ser cumplida; pero, tan larga resultaría, de tal modo se sucederían en ella narraciones de trabajos tenazmente proseguidos y de amargas y decepciones de todos géneros, que preferible parece, por el mal gusto que revelaría hablar de sí mismo y por el desaliento que en algunos pudiera producir tan lamentable historia, suprimirla por completo y consignar tan sólo que mi tardanza, más que de mi voluntad, ha sido hija de falta de tiempo, y, sobre todo, de estados de ánimo de los que no es posible emanciparse cuando en la lucha de la vida se pierden, una tras otra, batallas con esmero y entusiasmo preparadas y del alma, llena de pesimismo, se alejan las ilusiones y los atrevimientos tan necesarios para ocuparse en ciertos asuntos.

Ilusión se necesita tener, en efecto, para pensar que yo pueda decir algo que digno de vosotros sea, y atrevimiento

hace falta para pretender ocupar de hecho un puesto al que la benevolencia de esta Academia me llamó, otorgándome indulgencia y merced tan notorias que huelga evidenciarlas.

Tan grandes han de ser ese atrevimiento y esa ilusión que, en disculpa mía, he de decir que sólo han llegado á infundirme el primero requerimientos cariñosos y persistentes de algunos de vosotros, y que, á pesar de amistosas exageraciones y de mis buenos propósitos, sigo creyendo que al ser elegido académico, sin duda para alentarme en mis estudios, no merecían mis trabajos, hablando de un modo absoluto, la honra con que se me favoreció.

De los que me la otorgaron, tantos son los que ya faltan y tan grandes méritos adornaban á todos ellos, que no parece acertado esbozar el retrato científico de cada uno, ni siquiera citarlos, y si de esta última regla general excluyo á mi queridísimo amigo D. Francisco de Paula Rojas, todos comprenderéis, porque conocíais el mutuo afecto que nos profesábamos, que á ello me obliga, con irresistible impulso, el dolor profundo de no hallarle hoy entre vosotros.

A pesar de haber rendido, en sazón oportuna, á mi inolvidable amigo, que tan sabio y bueno era, mi modesto homenaje, lo repetiría ahora de buen grado, ampliando la biografía de hombre tan eminente, si no tuviera la absoluta seguridad de que Rojas está considerado por todos como una verdadera gloria de la ciencia española, según reconocía no ha mucho nuestro insigne Presidente al contestar al notable discurso de D. Blas Cabrera.

Dejó en la Academia la vacante para la que fué elegido el Ilmo. Sr. D. Manuel Pardo, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, y una costumbre, digna de alabanza, me impone el deber, que respetuosamente cumplo, de tributar un recuerdo á la memoria de mi antecesor.

Y como por las circunstancias que concurrieron en la

elevación á Académico de aquel sabio Ingeniero pudiera haber quien creyera difícil que yo cumpliera, con la indispensable imparcialidad, la misión de recordar los méritos del Sr. Pardo, prefiero valerme, para llenarla, de los conceptos con que los expresó y de los adjetivos con que los calificó el ilustre D. Miguel Merino, Secretario de esta docta Corporación durante tantos años, cuya respetable autoridad tan exenta ha de estar de encomiar méritos ajenos, para ensalzar indirectamente los propios, como de exagerarlos por miedo á que la malicia suponga tibieza en el aplauso.

De ingeniero sobresaliente y de reconocido mérito fué calificado el Sr. Pardo por el Sr. Merino, y en testimonio de que así era, citaba este sabio astrónomo el largo ejercicio de su profesión hecho por mi antecesor en España y lejos de nuestra patria; sus enseñanzas en la Escuela de Caminos de asignaturas tan importantes como el Cálculo infinitesimal, la Hidráulica y la Química; sus servicios como Secretario inteligente y activo de la referida Escuela, y el “ser autor de numerosas, bien pensadas y elegantemente escritas producciones científicas y de libros de texto y de consulta, como el titulado *Materiales de construcción*, justamente apreciados por la doctrina que contienen y por el orden y claridad de exposición”.

Tan elevado concepto de la ciencia del Sr. Pardo no era inferior al que le merecía, como hombre, al Sr. Merino, según se desprende de la semblanza moral que de él escribió en los siguientes términos: “Era hombre de tacto y experiencia y de vastos conocimientos administrativos, como lo demostró en el desempeño acertado, por algún tiempo, de la importante Dirección de Obras públicas, en el Ministerio de Fomento, y persona de afable trato, y de conversación amena y substanciosa, que revelaba su mucha y variada instrucción, sin asomo de pedantería nunca, y la rectitud y

agudeza de su juicio: un sabio y un caballero, en toda la extensión de la palabra, .

Con esto y con agregar que el mismo Sr. Merino reconocía en el Sr. Pardo "extenso saber, desinteresado amor al estudio, extraña capacidad intelectual y elevación y nobleza de carácter,, queda retratado mi antecesor, con evidente beneficio de todos, por la mano de un maestro, en vez de serlo por la torpe mía.

* * *

La elección de tema para este discurso y el modo de tratarlo han sido consecuencias naturales del concepto que tengo del fin primordial de esta Academia y de las circunstancias particulares en que me hallo.

Para muchos, entre los cuales figuro, el principal deber de cuantos estudian no es el de provocar el progreso de las ciencias que cultivan, sino el de producirle directamente.

Estas frases algo obscuras exigen una explicación. Quieren decir, en efecto, que quienes repiten, con mejor ó peor fortuna, razonamientos, observaciones, cálculos, experimentos é hipótesis que otros idearon, contribuyen indudablemente á que pueda progresar la ciencia, pero no la hacen adelantar un solo paso.

Si nosotros, los españoles, por ejemplo, logramos introducir la civilización en Marruecos, no me atrevo á decir si para bien ó mal suyo, y enseñamos á nuestros vecinos cuanto se sabe de Física y Química, no por ello habrán progresado ambas ciencias, y lo único que habremos hecho es provocar el adelanto de ellas, aumentando el número de seres capacitados para discurrir con acierto en esas ramas del saber humano y para decir el día de mañana algo nuevo acerca de ellas, que realmente las haga progresar.

Líbreme Dios de menospreciar, ni remotamente, cuanto supone extender, facilitar y vulgarizar los conocimientos científicos, tareas loables é importantes todas ellas, á las que también he procurado contribuir con mis escasas fuerzas; pero líbreme aún más de confundir el progreso verdadero de la ciencia con los medios para provocarle y obtenerle.

Como corolario de lo expuesto, dedúcese que los trabajos académicos, más que hermosas síntesis, mejor que brillantes disertaciones y con preferencia á alardes de erudición, deben ser estudios de los que obtenga algún provecho la ciencia, á cuyo hermoso y ya abundantísimo tesoro lleven algún contingente, que agrande, de efectivo modo, sus ya dilatados dominios.

Entre muchas páginas llenas de bellas frases, de aguda crítica y de concienzudas exposiciones de asuntos ya sabidos y un solo y breve párrafo en que se dé cuenta de un fenómeno ignorado, de un experimento, de una observación, de una ley, de un instrumento ó aparato que antes no se conociera, la elección no es dudosa, y acaso llegue un día en que la costumbre imponga la sustitución de los discursos por la obligación de presentar el académico electo algunos de esos substanciosos párrafos de que se acaba de hablar.

Estas ideas, unidas al deseo de acatar respetables tradiciones y á la necesidad en que recientemente me he hallado, para cumplir con mi deber, de estudiar Sismología, me aconsejaron elegir esta ciencia como tema del presente trabajo y discurrir algo nuevo acerca de ella, aunque desde luego abrigara el justificado temor de no conseguirlo y de que cuanto pensara por cuenta propia había de ser mucho peor que cuanto por la ajena pudiera haber repetido.

Sin embargo, tan escasas son mis fuerzas, que imposible hubiera sido escribir esta disertación sin ayuda extraña y así resultará formada por ideas ajenas y propias, y de ella

podrá decirse lo mismo que de la música de un célebre compositor, cuyo nombre debe ocultarse, toda vez que no es alabarle afirmar que en sus obras musicales lo bueno no era nuevo ni lo nuevo bueno.

Disculpado de este modo cuanto sigue, parece que ya es tiempo de entrar de lleno en este *discurso acerca de la Sismología*, en el que sólo se tratan algunas de las muchas cuestiones que forman la vasta ciencia de los terremotos, constituída en pocos años con tantos alientos que, como en otras palabras dice el eminente sismólogo de Montessus de Ballore, pocas ciencias pueden alabarse de haber realizado tan brillantes, rápidos y decisivos progresos.

I

(Utilidad de la Sismología.)

Siempre me han inspirado respeto y admiración, por la claridad y firmeza de juicio que revelan, todos aquellos que, sin vacilación alguna, forman con los conocimientos humanos dos grandes grupos, en uno de los cuales reúnen las ramas del saber que reportan inmediata utilidad, para dejar en el otro cuanto se les antoja que carece de positiva influencia en el bienestar material de las sociedades, único fin al que se viene atendiendo modernamente, con evidente error y notorio daño.

Aun desde este punto de vista utilitario, difícil es, para quien piense algo hondo, reputar como superfluos ciertos estudios, que actualmente no parecen ser susceptibles de aplicación práctica, y más que difícil resulta expuesto burlarse de quienes se consagran á tal género de trabajos ó menospreciarlos, asestándoles uno y otro día la eterna y poco cortés pregunta en que se les pide expliquen para qué

sirve cuanto hacen, como forma velada de indicarles la creencia de que se ocupan en asuntos que no sirven para nada.

Muchos serían, sin duda alguna, los que compasivamente se rieran de los primeros electricistas al verles frotar con gran afán unos y otros cuerpos para darse el infantil placer de electrizarlos, ó repetir el célebre experimento de Nicholson y Carlisle de la descomposición del agua, para tener el gusto de ver subir por ese líquido acidulado burbujas gaseosas, ó bien hacer pasar corrientes eléctricas cerca de agujas imanadas no más que para observar cómo, cuándo y cuánto estas últimas se desviaban; pero si ahora resucitaran todos aquellos escépticos burlones y entre nosotros hubieran de vivir, trocarían sus risas en el amargo llanto de su error, su compasión en admiración profunda, y sus aires de inteligencias superiores en otros humildes de criminales convictos y confesos ante el abrumador tribunal formado por las mil maravillas por la electricidad realizadas mediante el cultivo de aquellos gérmenes que despreciaron, asiduamente proseguidos por hombres que, muchas veces, no merecieron mayor aprecio de sus contemporáneos que el otorgado por ellos á quienes les parecía perdían el tiempo en inútiles estudios.

Estas consideraciones, que con miles y miles de ejemplos fácil sería reforzar, no indican, en modo alguno, que la Sismología sea ciencia, como algunas otras lo son, necesitada de refugiarse por completo en ellas, ni siquiera de buscar amparo en el noble afán de saber, ni en la conveniencia de atender á las exigencias de la vida espiritual, no menos importante para muchos que la corporal, porque de una parte principalmente obedecen al deseo de combatir el utilitarismo exclusivista, siempre que de ello se presente ocasión, aunque sea forzándola algo, y de la otra parte el estudio de los terremotos ha sido ya, por fortuna, lo suficientemente

fecundo para que los incómodos y tenaces preguntones, infatigables buscadores de la actual utilidad de todo, puedan quedar satisfechos.

La Sismología, en efecto, indica cuál es el grado de sismicidad de las diversas regiones de la Tierra y señala, por lo tanto, el peligro de vivir en algunas de ellas ó la confianza con que en otras puede permanecerse.

Verdad es que el hombre se cuida poco de esas advertencias y parece que impulsado sólo por el deseo de vivir, fiado á la casualidad, ya que su existencia tan aleatoria es, por otras mil causas, no para mientes en esa sismicidad, como tampoco tiene en cuenta la insalubridad de ciertas comarcas; y si la Sismología no hiciera más que advertirle en dónde es más ó menos probable la presentación de terremotos, escaso valor tendría el servicio que esa ciencia le prestara.

Pero, afortunadamente, los estudios sismológicos, en los que, como de rigor es, se concede gran atención al modo de propagarse las ondas sísmicas en las diversas clases de terrenos y á medir la intensidad y velocidad de esos movimientos, proporcionan abundante enseñanza, aunque algo confusa todavía en determinados puntos, acerca de la elección de los lugares en que conviene edificar en las regiones sísmicas, de la orientación que á los edificios debe darse, de los materiales que han de emplearse y de las reglas á que en la construcción ha de atenderse.

Los trabajos realizados por eminentes sismólogos, tales como Wahner y el japonés Omori, para experimentar cuáles son los efectos de los terremotos sobre las construcciones; las disposiciones oficiales, adoptadas en diversas épocas y por varios países, dictando reglas para construir en comarcas de gran sismicidad; la descripción de los distintos modelos de edificios recomendados para esas inestables regiones y el gran número de estudios publicados acerca de

los efectos de los terremotos en las ciudades, constituyen extensa relación, capaz por sí sola, por breve que su comentario fuera, de llenar páginas y páginas, en las que se afirmaran los grandes servicios prestados por la Sismología al arte de construir.

Aunque ni siquiera intente exponer esos estudios, guiado por sentimientos, seguramente disculpables para mis oyentes, he de permitirme recordar que en tal género de conocimientos ocuparon los españoles, no sólo uno de los primeros, por orden cronológico, sino también de los más importantes lugares, por sus disposiciones oficiales acerca de las construcciones americanas, cuyo olvido tan caro pagaron los acaudalados extranjeros de Quetzaltenango, en el terremoto del 18 de Abril de 1902, y por las que dictaron acerca de los edificios filipinos, con fecha de 17 de Agosto de 1880, basadas estas últimas en las reglas elaboradas en Manila, á consecuencia del terremoto del 3 de Junio de 1863, por nuestro Cuerpo de Ingenieros Militares, al que también pertenecieron Cortés y Agulló, autor de "Los terremotos, sus efectos en las edificaciones y medios prácticos para evitarlos en lo posible,, obra calurosamente elogiada por Montessus de Ballore; el general Cerero, que publicó un "Estudio sobre la resistencia y estabilidad de los edificios sometidos á huracanes y terremotos,, profundo, erudito y notable, como todos los suyos; y el Sr. Cazorla, autor también de estudios referentes á la construcción de almacenes de pólvoras en países sujetos á los efectos de los terremotos.

Y ya que he tratado este punto, parece oportuno llamar la atención hacia el hecho, antes apuntado y que pudiera ilustrarse con tantos ejemplos, de que casi siempre que los españoles hemos hecho algo notable ha sido cuando nos hemos dejado llevar de nuestra originalidad, y hemos valido poco siempre que nos hemos consagrado á copiar ó remedar lo ajeno y á seguir servilmente los derroteros trazados

en extrañas tierras, como hoy seguimos en costumbres, en política, en ciencia y en todo.

Ni para mí, ni para español alguno, es agradable tal afirmación; pero no disminuye ciertamente el mal por desentenderse de él, y revelaría cobardía espiritual no atreverse á señalarlo, más censurable aun cuando se notan entre nosotros síntomas de regeneración científica, que por todos los medios y en todas las ocasiones conviene estimular, para que dentro de la ciencia universal adquiera la española la importancia de que son merecedoras nuestras cualidades intelectuales, y que sin duda alcanzará cuando todos nos convenzamos de que sobre el favor y la intriga debe ponerse muy alto el verdadero mérito y de que actualmente es indispensable cultivar toda la vida una rama muy limitada de los conocimientos humanos y obtener de ello honra y suficiente provecho, en vez de tener que ocuparse en ciencias y asuntos de muy diversa índole, para ganar trabajosamente la subsistencia, sin gloria para nadie, ó con mucha menos de la que pudiera correspondernos.

Pero, como las consideraciones á que este tema se presta, por interesantes que sean, no encajan bien en el presente trabajo, mejor es darlas por terminadas y seguir exponiendo las aplicaciones de la Sismología.

Utiliza esa ciencia en sus investigaciones instrumentos que sirven para indicar cuáles son los movimientos del terreno ó para medirlos por la observación directa ó bien para registrarlos, constituyendo los tres grupos de sismoscopios, sismómetros y sismógrafos, de linderos no siempre bien definidos; pero todos los que en uso están, dotados de extremada sensibilidad, como se procurará hacer resaltar con algunos ejemplos.

En la estación sismológica de Leipzig se observaron extraños sismogramas, cuyo origen no podía atribuirse á terremotos, que no habían registrado aparatos de otras esta-

ciones, y cuyo trazado, si bien recordaba el de las llamadas tempestades sísmicas, tenía con estas últimas la capital diferencia de la duración: de algunos minutos en Leipzig y de varios días, generalmente, en las tempestades. Cuanto más se repetían esos extraños sismogramas y más empeño se ponía en descifrarlos, mayor era el misterio que los rodeaba, hasta que se cayó en la cuenta de que se obtenían en los días de grandes fiestas y en sus vísperas y de que se debían sencillamente á las vibraciones producidas por las campanas de la ciudad.

Análogo á este caso es otro que tuve ocasión de observar, por indicación del eminente sismólogo Agamennone, en el Observatorio de Rocca di Papa, por él dirigido.

Hállase esa estación sismológica á unos 100 metros de la torre del pueblo que le da nombre, y entre los instrumentos con que cuenta figura un grupo de sismoscopios Cancani, que vienen á reducirse á varillas verticales de acero, flexibles, empotradas por su pie y con pesos á cierta altura, cuya inercia, cuando el suelo vibra, produce oscilaciones en esas varillas ó péndulos invertidos. Se quitó el badajo de la esquila, de pequeñas dimensiones, que en la torre había, para eliminar los efectos de las ondas sonoras; se echó á vuelo la campana, y las vibraciones que al girar determinaba por su inercia en el macizo de la torre, se transmitían por el terreno y hacían oscilar los sismoscopios, encerrados bajo una campana de cristal, para eliminar también la acción del aire en movimiento. Especialmente uno de esos sismoscopios, verosimilmente dotado de período igual al de las oscilaciones del suelo, adquiría tan amplio movimiento, que fácilmente se observaba al primer golpe de vista.

A los que visitan nuestra estación central de Toledo, les llama siempre poderosamente la atención ver cómo al más ténue soplo entran en gran agitación las plumas inscriptoras del sismógrafo Vicentini, en ella instalado, y cómo ocu-

rre lo propio con las del Bosch, colocado no lejos de aquél, apenas se apoya ligeramente un dedo en las columnas de fundición que soportan las masas pendulares.

Sobra con estos ejemplos para comprender que los instrumentos sismológicos, por su gran sensibilidad, han de prestarse perfectamente al estudio de muchos movimientos que no constituyan terremotos.

Dos sabios sismólogos, Milne y Omori, han hecho construir sismógrafos especiales para obtener diagramas de los movimientos verticales, transversales y longitudinales de las locomotoras y vagones al circular, á diversas velocidades, sobre las vías férreas, adquiriendo de esta suerte seguros datos para la construcción y mejor conservación, tanto del material móvil como del fijo.

Si cuando una vía férrea se halla en buen estado se toman, por medio de sismógrafos, diagramas del efecto que produce el paso sobre ella, especialmente sobre las obras de arte, de trenes, de determinadas condiciones y á velocidad conocida, se tendrán referencias seguras para conocer después, rápidamente, por la obtención de diagramas en iguales condiciones y su comparación con aquellos otros, cuándo pelagra la indispensable solidez de la vía.

Este género de vigilancia, estudiado por el sismólogo Belar, se ha aplicado en las cercanías de Laibach y se ha empleado también en el Japón.

En este último país, al estudiar con sismógrafos el paso de los trenes por los diversos tramos del puente metálico de Kawasaki, entre Yokohama y Tokyo, era tan diferente el diagrama correspondiente á uno de esos tramos de los que suministraban los restantes, que se decidió inmediatamente una inspección minuciosa del puente, que evidenció la urgente necesidad de repararle y evitó seguramente una catástrofe.

Sismógrafos instalados en varias partes de una mina ó

cerca de ella, se comprenderá que pueden proporcionar útiles indicaciones, tanto respecto al número y potencia de los barrenos que en la jornada se empleen, cuanto al modo de propagarse sus trepidaciones por las diversas regiones de la mina, indicando á dónde debe acudirse con más esmero para evitar posibles derrumbamientos. Cerca de Salzburgo, en la mina de Tollingreben, se ha aplicado el sistema acabado de referir.

Por otra parte, el oscilógrafo de Bertin, para estudiar los movimientos de los buques y de las olas, así como el sismógrafo recientemente ideado por Hecker para el primero de esos dos fines, son ejemplos también de aplicaciones prácticas de la Sismología.

Además, esta ciencia explicará en muchos casos cuál es la causa, al parecer misteriosa, de hundimientos de construcciones á ellos propensas, por la simultaneidad de los derrumbamientos con la llegada de ondas sísmicas, imperceptibles para los sentidos del hombre, pero registradas por los sismógrafos.

Otra nueva aplicación de la Sismología se desenvolverá rápidamente merced al colosal desarrollo adquirido por la industria, que ha traído como corolario la profusa instalación de motores de enormes potencias, generalmente dotados de piezas de grandes masas, de movimientos alternativos, como los émbolos, con sus vástagos y bielas, que producen trepidaciones en el terreno, transmisibles á distancias relativamente grandes y origen de gran número de reclamaciones y pleitos, bien por las incomodidades que causan á los habitantes de edificios cercanos ó ya por los perjuicios reales ocasionados á la estabilidad de estos últimos.

Era antes lo peor que no había medio seguro de comprobar si las trepidaciones podían tener las consecuencias á ellas atribuídas y que se daba con frecuencia el caso de gastar los industriales grandes cantidades en dificultar la pro-

pagación de aquellos movimientos, para obtener el desconsolador resultado de que se asegurara no había disminuido el mal, si es que no se llegaba á pretender que había aumentado.

El sismógrafo fotográfico Wiechert-Mintrop, y el de registro mecánico del príncipe Galitzine, ideados con objeto de estudiar los movimientos artificiales del suelo, ambos acabados de construir, y otros análogos que, sin duda, les seguirán, con iguales fines industriales concebidos, permitirán resolver de plano esas obscuras y litigiosas cuestiones, de que se ha hablado, originadas por las trepidaciones de las máquinas, poco ó nada equilibradas, ya que proporcionarán el modo de evaluarlas, y sobre todo de compararlas. Con ese sismógrafo Wiechert-Mintrop, empleando la amplificación fotográfica de 12.000 veces, se ha obtenido un curioso diagrama, de regularidad verdaderamente notable, correspondiente á trepidaciones registradas á 400 metros de un gran motor de gas, que justifica la realidad de esa nueva aplicación de la Sismología.

A raíz de la última catástrofe de San Francisco, á consecuencia de un terremoto, se habló de la conveniencia de utilizar, con fines bursátiles, las rápidas indicaciones que tres estaciones sismológicas, convenientemente situadas en Europa, podrían suministrar, señalando la ciudad en que pudiera ocurrir algo parecido, ya que los sismogramas de cada estación marcarían la distancia á ella en que ocurriría el terremoto, y por lo tanto, la combinación de dos, salvo el caso muy particular de hallarse el epicentro en línea recta con ellas, señalaría la existencia posible de dos lugares, duda que desaparecería por la distancia acusada por la tercera estación, que con las otras formara un triángulo.

Si en tal aplicación se insistiera, el notable estudio de que dió cuenta el príncipe Galitzine, eminente sismólogo ruso, en la última reunión celebrada en Zermatt, en Sep-

tiembre de 1909, podría ser utilísimo, ya que las tres estaciones se reducirían á una sola, toda vez que el citado príncipe dió el medio de conocer, por el estudio de un sismograma, el azimut del epicentro y, por lo tanto, se tendría averiguado que este último se hallaba en una dirección determinada y á una distancia también conocida.

Aunque en casos muy contados las indicaciones de los sismógrafos se pueden utilizar con fines meteorológicos y aunque se haya sostenido por muchos que existe estrecha relación entre las perturbaciones de nuestra atmósfera y los fenómenos sismológicos, es lo cierto que la aplicación de la Sismología á la Meteorología no puede estimarse como práctica, ni en ella cabe insistir.

Sin embargo, á pesar de esa creencia negativa, preciso es hacer constar que un hombre tan eminente como Sir George Howard Darwin, vicepresidente de la Asociación Geodésica Internacional, decía en la última reunión de ella, en Septiembre último, refiriéndose á los estudios realizados con sismógrafos en El Canadá por Napier Denison, para relacionar las desviaciones de la vertical con la marcha de la región de grandes presiones barométricas, que *no le parece imposible que el péndulo horizontal tome un puesto entre los instrumentos de Meteorología, porque la deformación de la Tierra se transmitirá seguramente con mayor rapidez que las noticias enviadas por la telegrafía sin alambres.*

Claro es que mi opinión, no sólo adversa á esa conquista de los sismógrafos en la Meteorología, sino también al supuesto de que las ondas sísmicas puedan transmitir noticias con más rapidez que las herzianas, vale muy poco; pero menos valdría aún mostrarse convencido sin estarlo.

‘No hace falta excesiva imaginación para idear algunas más aplicaciones, que en lo futuro pudieran tener los instrumentos sismológicos.

Desde luego se ocurre que por las mismas razones que se han empleado esos instrumentos para medir los movimientos trepidatorios de las locomotoras, vagones y barcos, se podrán usar también para registrar los que tengan los restantes vehículos, tales como coches ordinarios, tranvías, globos dirigibles, aeroplanos y automóviles.

Seguro es, dada la competencia existente entre los fabricantes de esos últimos carruajes, que apenas alguno de ellos presente, como prueba irrefutable de la comodidad y acertada construcción de sus automóviles, diagramas obtenidos á distintas velocidades en un trayecto determinado de prueba, se apresurarán los demás á imitarle y nacerán tipos distintos de sismógrafos especiales, en los que fácil será registrar, no sólo las tres componentes de las trepidaciones, según otros tantos ejes rectangulares, sino también las velocidades correspondientes de marcha. Con relacionar los movimientos de la banda de registro y de los ejes de los automóviles, fácilmente se conseguirá esto último por el trazado cronográfico que en las citadas bandas aparezca.

También, por analogía, debe presumirse que, así como se usan los sismógrafos para averiguar el estado de conservación de los puentes de las vías férreas, se emplearán con iguales fines, no sólo en los demás puentes y viaductos, sino también en los edificios. Un peso determinado, cayendo siempre de la misma altura, producirá en ellos vibraciones distintas, según el estado de conservación de los edificios y el registro de ellas, una vez estudiado este asunto detenidamente, podrá proporcionar útiles indicaciones.

Son numerosos los casos en que, sin haber propósito de ello, han registrado los sismógrafos de estaciones sismológicas las vibraciones del terreno, engendradas por salvas de artillería, y aun algún experimento se ha efectuado en tal sentido, situando el sismógrafo á pocos kilómetros de las bocas de fuego. Los resultados obtenidos permiten creer

que en lo porvenir esos instrumentos podrían servir para señalar, desde grandes distancias, en dónde se está librando una de esas tremendas batallas, de las cuales todas las pasadas son sólo aproximada imagen, y en las que el choque de enormes contingentes y el furioso y nutrido cañoneo harán vibrar con fuerza la tierra, hondamente estremecida por la espantosa tragedia sobre ella desarrollada.

Pasando á otro género de aplicaciones, del anterior muy distinto, los sismógrafos y aun los sismoscopios, creo que son susceptibles de prestar importantes servicios de vigilancia y comprobación.

Por ejemplo, si cerca de una vía férrea se establece, dentro de una caseta y de sus paredes aislado, un mediano sismógrafo, seguramente registrará la hora precisa del paso de los trenes y aun su velocidad, sin que haya temor alguno de que la connivencia de los empleados pueda falsear las indicaciones, como es posible suceda con otras clases de registros mecánicos ó eléctricos.

Claro es que análogos servicios pueden prestar los sismógrafos para dejar registrados en casos especiales el paso de rondas en fuertes, bancos comerciales, etc., etc.

La cualidad de los sismoscopios de poder cerrar un circuito eléctrico á la menor trepidación experimentada por el apoyo sobre que insisten, también creo que se utilizará en muy diversos casos: para disparar automáticamente fogatas y torpedos terrestres, producir señales de alarma en cajas de caudales, etc., etc., etc.

De este género de aplicaciones, fundadas en el cierre automático de un circuito eléctrico, señalaré, para concluir y dar idea de su facilidad de adaptación, algunas más referentes á los caminos de hierro.

El paso de un tren por un lugar determinado: antes de un cruce, de una estación ó donde preciso sea, puede producir, automáticamente y eliminando por completo la inter-

vención de los empleados de la vía, mediante un sismoscopio, el cierre de un circuito eléctrico, cuya corriente cabe utilizar de mil diversos modos, ya para producir señales visibles ó sonoras, ya para cerrar circuitos más potentes, cuyas corrientes realicen determinadas maniobras de seguridad, ó bien para registrar telegráficamente el paso de los trenes á largas distancias.

No es imposible, ni mucho menos, que llegue el día en que sismoscopios, convenientemente instalados á lo largo de una línea férrea, inscriban automáticamente en un papel, movido por un aparato de relojería y establecido en el despacho del director de la Compañía á que esa línea pertenezca, las vicisitudes de la marcha que cada tren tenga, indicando en todo instante el lugar aproximado en que este último se halla.

Con esta sumaria exposición de las aplicaciones prácticas y útiles de la Sismología, y dejando á un lado la que ha tenido en manos de Milne, Benndorff, Oldham y otros, para determinar la constitución interna de la Tierra, forzosamente, por la índole de este trabajo, he de dar por terminado uno de los puntos acerca de los cuales consideraba oportuno llamar la atención, antes de indicar algo que á esa misteriosa constitución de nuestro planeta se refiera.

II

(Constitución interna de la Tierra)

Ignoramos verosímilmente más de lo que sabemos, y al alcance de nuestro limitado espíritu escapa lo más fundamental: la esencia íntima de los fenómenos, como lo prueban el hecho, relativamente moderno, de describirse libros y libros que de la electricidad tratan, sin saber en qué consiste tan

misteriosa y fecunda hada, y el otro hecho, para citar sólo dos, tan antiguo como el hombre y burla cruel de la soberbia humana, de observar á diario los efectos de la fuerza de la gravedad, sin poder explicar su causa fundamental; pero, á pesar de ignorar tanto, forman los actuales conocimientos científicos abrumadora carga, imposible de soportar por cerebro alguno, por excepcionalmente organizado que se halle.

Consecuencia de esa impotencia espiritual del hombre es el artificio, por él empleado, de dividir el saber en multitud de grupos, para facilitar el conocimiento de ellos; pero las clasificaciones, con tal objeto establecidas, como artificiosas que son, carecen de linderos bien definidos y de aquí provienen discusiones, muchas veces ridículas, sostenidas por los que, al juzgarse en posesión de una ciencia, se consideran algo así como habitantes de su territorio, y de este último quieren que formen parte comarcas, de las que otros á su vez se creen dueños, con análogo derecho y con no menor tesón y falta de fundamento.

Y consecuencia natural también es que, por vanidad, se dé frecuentemente el caso de que, siguiendo el símil, los hombres reputen el cantón que habitan como el mejor, y menosprecien los demás, hasta el punto de exagerar desmedidamente la importancia de cuanto saben ó hacen á expensas, por supuesto, de la ciencia y el trabajo á que son extraños.

Así se explica que no falten geólogos para quienes la Sismología es sólo una parte de sus estudios favoritos, como no faltará quien sostenga la tesis inversa, cuando esta última ciencia adquiriera mayor desarrollo, y así se concibe también que existan hombres eminentes que á la Sismología experimental conceden escaso valor, para atribuírsele muy grande á sus investigaciones puramente geológicas, en compensación, quizás, de aquellos otros que otorgan poca ó nin-

guna importancia á estas últimas, al lado de las que realizan en sus observatorios sismológicos.

Cuerdo es apartarse de tales aberraciones, y, para predicar con el ejemplo, conveniente parece no ceñir este trabajo á los estudios de Sismología experimental, é indicar algo acerca de la constitución del interior de la Tierra, íntimamente ligada con las causas de los terremotos y con el modo de propagarse tan terribles movimientos.

Cada cual suele tener su sistema especial de estudiar, y el que yo sigo, cuando se trata de asuntos acerca de los cuales abundan teorías heterogéneas y contradictorias, es poner especial cuidado en no leerlas siquiera; grabar bien en la memoria los indiscutibles hechos, á los que se trata de buscar explicación racional, y dar luego rienda suelta á la imaginación para que forje todo género de explicaciones de los fenómenos estudiados.

Así van apareciendo, una tras otra, hipótesis y teorías que luego la razón ha de contrastar fríamente con los hechos, bien para que mueran todas al choque de ellos, ó ya para que prospere una sola, como la más satisfactoria, y siempre se obtiene el beneficio de preparar el espíritu, con una intensa gimnasia intelectual, para el conocimiento y detallado análisis de trabajos ajenos.

Al realizar estos últimos estudios suele suceder que la teoría propia no resulte nueva, y pudiera parecer que todo el tiempo empleado en tales asuntos fuera completamente perdido, si no se pensara en que siempre es preferible leer poco y meditar mucho, á aprender con exceso sin tomarse apenas el trabajo de discurrir.

La constitución interna del globo terrestre es uno de esos asuntos, antes citados, acerca de los cuales existen numerosas explicaciones, á cuyo estudio apliqué, sin vacilar, el método ya expuesto, hallando la teoría que más adelante se esbozará y que, desde luego, temí no fuera nueva.

De que ese temor no era vano, tuve la primera prueba cuando leí, por indicación de mi excelente amigo D. José Rodríguez Mourelo, cuyo elogio omito ahora por razones de oportunidad, el discurso, inmejorable por su fondo y forma, que, al ingresar en esta Academia, pronunció el excelentísimo Sr. D. Daniel de Cortázar.

Hallé, en efecto, en tan brillante disertación, que existía alguna semejanza entre el papel asignado á los gases en aquella concepción mía y el que Rossi les atribuía, y en la contestación que aquel discurso mereció de parte de otro sabio Ingeniero de Minas: el Excmo. Sr. D. Manuel Fernández de Castro, encontré que ya, mucho antes que Rossi, el español D. Francisco Martínez Molés, en su obra "Disertación física, origen y formación del terremoto producido el día 1,º de Noviembre de 1755, etc., etc."... decía algo parecido á lo que constituía la esencia de la llamada teoría explosiva, del sabio sismólogo italiano.

La opinión de Humboldt, según la cual "todo, en los temblores de tierra, parece indicar la acción de flúidos elásticos, que buscan una salida para difundirse en la atmósfera"; la del eminente geólogo francés Daubrée, para el que "los temblores de tierra son erupciones sofocadas, por no hallar salida"; la del célebre Darwin, para quien los volcanes, los terremotos y la formación de montañas obedecen á una misma causa; la de Opperman, la de Gerland y las de otros muchos, que atribuyen al vapor de agua papel preponderante en ciertos fenómenos sísmicos y tantas otras que mi diligencia, ciertamente no muy digna de encomio, no me ha permitido conocer, fueron otras tantas pruebas más de la falta de novedad de algunas de las ideas contenidas en la teoría en cuestión.

Como, remontándose aún más, no es difícil hallar la idea madre de algunas de esas otras teorías en las obras de Lucrecio y de Séneca, que también atribuyeron los terremotos

á la acción de gases internos de la tierra; siguiendo, á su vez, á Aristóteles, verdadero genio de los genios, jamás igualado, lo cierto es que la novedad de parte de mis ideas habfa cambiado de signo y pasado á ser de antigüedad casi prehistórica.

Bueno es advertir, porque á la verdad ha de rendírsele siempre el debido tributo, que al notar esas coincidencias entre mis ideas y las de otros hombres superiores me hice desde luego cargo de que mi papel era análogo al de aquel aficionado á la ciencia matemática que desconocía el teorema de Pitágoras y lo ideó, y que hubiera tenido tanto talento como el sabio griego, si este último, de tan poderoso y fecundo entendimiento, no hubiera producido en toda su vida más que aquel teorema.

Sin embargo, ofuscado acaso por la pasión, que tan frecuentemente ciega el entendimiento al juzgar los asuntos propios, creo que el conjunto de las ideas que concebí acerca de la constitución interna de la tierra no difiere de los que conozco menos de lo que algunos de estos últimos se diferencian entre sí, y por tal motivo me decidí á exponerle.

Y como está fuera del alcance de mis fuerzas explicar, con algún fundamento, de un modo sintético, cómo debe haberse formado el interior de nuestro globo, prefiero abordar el problema suponiendo que la Tierra estuviera constituida, en su principio, sólo por uno de los que hoy, al menos, pasan por cuerpos simples, en estado gaseoso, para ir complicando luego la hipótesis con la existencia de más cuerpos y acercarla á la realidad.

Sobre la superficie de ese inmenso globo gaseoso, de elevada temperatura, ejercería continuamente su influencia el intenso frío de los espacios interplanetarios atenuado, de manera desigual, por la acción de los rayos solares, análoga á la que actualmente experimenta la Tierra, aunque más intensa.

Al irse enfriando el gas de la periferia, su mayor densidad determinaría su caída hacia el centro del globo y su reemplazo por otro más caliente, produciéndose de esta suerte dobles corrientes: ascendentes las unas y descendentes las otras, más enérgicas en las regiones polares que en las ecuatoriales, cuyo resultado final sería ir enfriando cada vez más y más profundamente la masa gaseosa, de la cual irían extrayendo calorías y más calorías para arrojarlas al espacio y en él perderlas.

Avanzaría este enfriamiento hacia el centro de ese globo hipotético, y llegaría el instante en que, alcanzada la temperatura de fusión del cuerpo gaseoso, las corrientes descendentes de que antes se habló se convirtieran en lluvia, más intensa también en las regiones polares que en las restantes, y en corrientes ascendentes de gases que, en continua lucha, harían que la parte líquida ganara cada vez más terreno.

Esa liquefacción, avivada hacia el núcleo del globo por extraordinarias compresiones, llegaría á constituir un globo líquido, cuya fuerza centrífuga trataría de compensar la mayor acumulación de materia en las regiones polares, lanzándola hacia el ecuador, y cuya superficie iría abandonando calor por la continuada acción de enfriamiento de que se ha hablado.

De ese modo, aumentando cada vez más las dimensiones del núcleo á espensas de la atmósfera, instante llegaría en que, anulada la última, fuera aquel globo un inmenso elipsoide líquido, cuyo interior se hallaría sometido á presiones enormes.

Hasta aquí la naturaleza del cuerpo único, licuable por enfriamiento, que forma el globo, carece de importancia; pero sí la tiene al continuar esas pérdidas de calor, que irían enfriando la periferia del elipsoide líquido, como también la tiene la velocidad de enfriamiento que se suponga.

Si ese cuerpo es de gran conductibilidad, las calorías que por la superficie del globo se fueran perdiendo á ella irían acudiendo desde el interior, enfriándose de este modo toda la masa líquida, favoreciendo además este resultado las corrientes de convección que se desarrollaran, análogas á las que actuaron durante el período gaseoso.

De ser muy lenta la pérdida de calor, evidente es, en el caso hipotético que se examina, que el cuerpo ya sólido iría constituyendo el núcleo, que cada vez sería de mayores dimensiones, hasta llegar á formar un elipsoide de revolución completamente sólido.

Mas si ese enfriamiento fuera rapidísimo, la solidificación iría avanzando desde la periferia hasta el centro, más ó menos velozmente, según fuera la conductibilidad, constituyendo en definitiva también un cuerpo sólido, pero de tamaño distinto y de diversa agrupación molecular que en el precedente caso.

En efecto; por la acción rápida del frío se formaría prontamente una espesa costra sólida; pero como toda la parte interna no había tenido tiempo suficiente para enfriarse, y por lo tanto para contraerse, aquella superficie sólida, al disminuir de extensión, no llegaría á alcanzar la que á su temperatura correspondiera, sino otra mayor, merced á la reacción del núcleo líquido, sobre el que ejercería una presión dependiente de la naturaleza del cuerpo.

Y aquí entraría ya en juego otra de las propiedades del cuerpo en cuestión, porque si su tenacidad fuera escasa, vencida la atracción molecular por el empuje del líquido contenido en el interior del globo, romperíase la costra sólida, agrietándose y agujereándose para dar salida á erupciones de materia incandescente; y si aquella tenacidad fuese muy grande, la rotura de la corteza no se produciría, sustituyéndose por el mayor alejamiento en que las moléculas quedarían al llegar todo el globo al estado sólido, dota-

do entonces de propiedades elásticas muy distintas á las que tuviera si el enfriamiento hubiera sido lento y gradual.

Este fenómeno sería análogo al que debe producir el temple de los objetos de hierro por la acción de un líquido relativamente frío, en el que rápidamente se le sumerge, para dotarlos de propiedades que luego se les puede hacer perder por el recocido, alejando por la acción del calor sus moléculas para dejar que tomen su ordinaria posición de equilibrio, por medio de un enfriamiento gradual.

Si la conductibilidad del cuerpo considerado fuera muy pequeña, no sería preciso que la corteza sólida tuviera gran espesor para que las pérdidas de calor por irradiación en el espacio fueran relativamente insignificantes, y podría darse el caso de que el interior del globo permaneciera constantemente líquido, á su temperatura de fusión, produciéndose ó no erupciones, según la tenacidad de la corteza, y además hundimientos, repliegues y deformaciones de la costra, para irse adaptando, más tarde, á los decrecientes volúmenes del núcleo por efecto de su lento y progresivo enfriamiento.

La teoría acerca de la constitución de la Tierra más generalizada, puede decirse que es en su esencia la que acabo de exponer; pero, además, suele atribuírsele un falso concepto, que aun perdura en el juicio de muchos, que asignan al interior de la Tierra, no las temperaturas de fusión ú otras á ellas próximas y más elevadas, que las grandes presiones internas permiten suponer, sino temperaturas fabulosas deducidas de una proporcionalidad, no comprobada suficientemente, entre la elevación de ellas y la profundidad en el interior de nuestro planeta.

Se había notado, en efecto, que á profundidades variables, según los climas: á 31 metros en el Jardín de Plantas de París y á menos en regiones más cálidas, existía una capa terrestre de temperatura constante, y que el calor observa-

do en el interior de la Tierra á partir de esa zona invariable, aumentaba de un modo gradual con la profundidad.

De observaciones insuficientes se dedujo, con manifiesto error, que la temperatura del interior de la Tierra aumentaba en toda Europa un grado por cada 31 metros de profundidad, cuando luego se ha visto, por ejemplo, que esa elevación de temperatura corresponde á 42 y á 55 metros en las minas de Sajonia, cifras todavía inferiores á la de 86 metros observada en América, en las minas Gerães, del Brasil, y muy distintas de los 23 metros por grado en las minas metálicas, y de los 27 metros para las de carbón y las aguas artesianas, que asignan recientes y concienzudas observaciones.

Pero, aun después de puesta en evidencia la variabilidad del llamado grado geotérmico por la influencia de la conductibilidad de las rocas, de las filtraciones de las aguas superficiales y de la acción del aire sobre los elementos que componen aquellas rocas, todavía se insiste en el falso razonamiento, independiente en su esencia de esa variabilidad, que puede expresarse así: puesto que la temperatura del interior de la Tierra aumenta un grado por cada tantos metros, por término medio, el centro de nuestro planeta debe hallarse á tal temperatura.

Los números que para esos cálculos suelen utilizarse son los siguientes: 30 á 35 metros por grado de elevación de temperatura y 6 371 103 metros como radio medio de la tierra, á los que corresponde nada menos que de 182 000° á 212 000°, en números redondos, para el interior de la Tierra.

El vicio fundamental de este razonamiento, como de otros muchos, que por analogía se hacen, con más frecuencia de lo debido, consiste en suponer que esa elevación constante de temperatura, que el hombre ha podido comprobar sólo en un espesor de unos dos kilómetros, á que alcanzan los sondeos, debe seguir verificándose en más de los

6371 kilómetros que para llegar al centro de la Tierra faltan.

Más verosímil parecía que la temperatura de la atmósfera fuera constantemente decreciendo con su altura, como se había comprobado repetidamente, y que se llegara al cero absoluto y, sin embargo, los estudios de las altas regiones de la atmósfera por medio de cometas y sobre todo de globos-sondas han demostrado la poca solidez de ese juicio analógico, evidenciando la existencia de una capa de inversión de temperatura, á la altura de unos 12 kilómetros, á partir de la cual se presenta el inesperado fenómeno de subir rápidamente la temperatura, hasta tal punto, que en el experimento realizado en Estraburgo, por el profesor Hergesell con un globo-sonda y un teodolito que determinaba la situación del último, á 11400 metros de altura se registró la temperatura de -69° , y á la máxima altura alcanzada de 15080 metros había ascendido esa temperatura 12° , subiendo el termógrafo, por lo tanto, á -57° .

Sin llegar á esos cálculos temerarios de centenares de miles de grados, la razón sola dice que á lo más que podrá extenderse la existencia del grado geotérmico, y aun esto sin tener plena seguridad, es á las temperaturas internas de la Tierra dadas por las expulsiones volcánicas de las materias incandescentes, que constituyen un dato positivo.

Tienen esas lavas la temperatura de unos 1000 á 1400° ó aún menos, según algunos, que no exigirían más allá de unos 30 á 50 kilómetros de profundidad para presentarse, de ser cierta la ley de variación que se ha supuesto.

Esta digresión era indispensable por la tenacidad con que se habla todavía (*) de enormes temperaturas del inte-

(*) Véanse, por ejemplo, *L'Evolution des Mondes*, par Svante Arrhenius. Traduction française de T. Seyrig, Paris, Ch. Beranger, 1910, y *Les Tremblements de Terre*, par G. Eisenmenger, Paris, Félix Alcan, 1910.

rior de la Tierra y por la importancia de combatir tal afirmación, desde el punto de vista de la teoría que se seguirá exponiendo.

Aun estando constituída la Tierra por un solo cuerpo, ya se ha visto que el proceso de su formación no deja de ser complejo y que en él tienen importancia las temperaturas de volatilización y de fusión de aquel cuerpo, su conductibilidad y su tenacidad, aun pasando por alto otras acciones como la luni-solar, que habría de producir las correspondientes mareas.

Si en lugar de un cuerpo gaseoso se admite en un principio la existencia de dos, complícase el proceso de la solidificación de extraordinario modo.

Esos cuerpos pueden, en efecto, no dar lugar á reacciones químicas entre sí, cualquiera que su estado sea, ó combinarse con desprendimientos de más ó menos calorías; pueden ser de densidades iguales ó casi iguales ó bien muy diversas y relativamente variables en los distintos estados sólido, líquido y gaseoso; pueden tener puntos de liquefacción y solidificación casi los mismos ó bien muy diferentes y todas estas condiciones, unidas á la conductibilidad, á la tenacidad de ambos cuerpos y á la homogeneidad ó heterogeneidad de la primitiva mezcla gaseosa, se comprende fácilmente que originarán numerosas combinaciones.

Para suponer que ambos cuerpos se hallen en estado gaseoso primitivamente no es necesario admitir la existencia de fabulosas temperaturas, porque ya las de unos 3000° que el hombre produce en los hornos eléctricos son capaces de volatilizar todos los metales y de disociar casi todos los compuestos minerales.

Así como tampoco es preciso apartarse mucho de la realidad, por nosotros conocida, para admitir la heterogeneidad de la mezcla de los gases, cuando á nuestra vista se hallan cavernas y valles casi en absoluto llenos de anhídri-

do carbónico, separado del aire por su mayor densidad relativa, y los efectos de la viciada atmósfera de las ciudades, de todos son tan conocidos, como lo es la difusión dentro de ella, muy difícil á veces, de las columnas gaseosas que surgen de las chimeneas de la multitud de fábricas que hay en las modernas ciudades.

Y como el suponer ambos gases perfectamente mezclados y dotados de cualidades casi idénticas y sin reacción química entre sí, conduciría á los mismos razonamientos ya expuestos en el caso de tratarse de un gas solo, parece lo mejor apartarse de esta hipótesis todo lo posible y suponer desde luego que se trata de dos gases á igual temperatura y tan mal mezclados que hubiera partes del inmenso elipsoide en que no existiera más que uno de esos cuerpos, y otras en que hubiera la mezcla de ambos, en diversas proporciones.

Por este solo hecho, el enfriamiento del elipsoide gaseoso conduciría ya á un sólido de heterogénea composición y quedaría explicada la falta de homogeneidad de una Tierra compuesta sólo de dos elementos, como imagen reducida de la diversidad de composición de la que habitamos, en la que tantos y tan variados cuerpos figuran.

Si á más de eso se supone que las temperaturas á que ambos cuerpos se licuen sean diferentes, llegaría á formarse por enfriamiento un núcleo líquido del menos volátil, rodeado por la atmósfera que el otro cuerpo constituyera.

De la naturaleza de ese líquido, de su velocidad de enfriamiento y de su conductibilidad, dependería que adoptara ó no la forma matemática de un elipsoide de revolución, ó que, aproximándose en general á ella, ofreciese irregularidades de relativa importancia, principalmente provocadas por el más activo enfriamiento de las regiones polares y el desigual reparto del cuerpo en el primitivo elipsoide gaseoso.

Posible es que ese núcleo llegue á solidificarse por completo, á fuerza de robarle calorías la atmósfera que le envuelve y en virtud de las enormes presiones que por todas partes le comprimen, mucho antes de que las corrientes gaseosas centrípetas de aquella atmósfera, relativamente fría, se conviertan en franca lluvia que, paulatinamente, cubra de una capa líquida, de creciente espesor, el referido núcleo sólido, hasta que desaparezca por completo todo vestigio de gases.

Todas las hipótesis que se hicieron cuando se suponía la Tierra formada por un solo cuerpo, acerca de las velocidades de enfriamiento, de la conductibilidad y de la tenacidad, cabría repetirlas nuevamente; y si entre ellas se elige la que suponga á ese segundo elemento, menos volátil, dotado de conductibilidad y tenacidad escasas, fácil es explicarse que su envoltura exterior sea sólida, y que entre ella y el núcleo, también sólido, exista una capa líquida que haga irrupciones al exterior al contraerse, deformarse y arrugarse aquella costra sólida.

Y ya, con sólo admitir la existencia de dos elementos tan sólo, quedaría explicada la posibilidad de que la corteza de la Tierra y el núcleo central sean sólidos, aunque entre ellos exista una capa líquida de temperatura relativamente elevada, en forma análoga á la que ha habido necesidad de aceptar modernamente para la constitución interna de nuestro planeta, ya que los estudios astronómicos y sismológicos han demostrado, de común acuerdo, que era inaceptable en absoluto la hipótesis, tanto tiempo reinante, de que toda la Tierra era de materia líquida é ignea, á excepción de su corteza.

Aunque los cuerpos fueran más de dos, siempre que persistiera entre todos ellos la absoluta falta de afinidad química que se ha supuesto, se llegaría al resultado final, análogo al acabado de indicar, de una tierra en cuyo núcleo só-

lido existirían uno ó más elementos, más ó menos heterogeneamente mezclados, que sin duda alguna serían los que á un tiempo mismo reunieran las condiciones de tener puntos de volatilización y fusión muy altos y grandes densidades. Ese núcleo estaría rodeado por una capa, primero líquida y luego pastosa, para pasar gradualmente á la costra, también solidificada, á su vez rodeada por una atmósfera constituida por otros gases, cuyo punto de liquefacción no se hubiera alcanzado.

Claro es que ni ese núcleo ni esa corteza estarían limitados por superficies de nivel, sino por otras irregulares, que en su forma general las siguieran, dada la heterogeneidad de mezclas supuesta y las diversas y variables condiciones de solidificación, que determinarían en muchos casos las uniones del núcleo con la corteza por inmensos pilares, que atravesaran las masas líquidas ó pastosas.

De la anterior concepción, que parece ha de tener muchos puntos comunes con la realidad, dedúcense importantes explicaciones de hechos, como tales, innegables.

La Tierra, así constituida, debe ser más sólida, mucho más fuerte, en sentido de su eje, por efecto del mayor enfriamiento de las regiones polares, y esta natural deducción explica su mayor elasticidad en sentido E. O., y su menor sismicidad en las citadas regiones, de más firme asiento que las otras.

Recientemente, en la XVI Conferencia general de la Asociación geodésica internacional, celebrada en Londres y Cambridge en el mes de Septiembre de 1909, al tratar de los estudios realizados por el Sr. Hecker, con péndulos sismográficos, que han evidenciado la existencia de verdaderas mareas de la corteza terrestre, que, por su elasticidad, obedece á las atracciones del Sol y de la Luna, el Sr. Darwin hizo notar que tales observaciones demuestran que las amplitudes de las oscilaciones de la vertical son mucho me-

nores en la dirección N. S. que en la E. O., ó en otros términos, que el coeficiente de elasticidad de la Tierra es mucho mayor en esta última dirección que en la N. S.

El sabio inglés cree que, al menos en parte, podría explicarse esa diferencia por la rotación de la Tierra, y, á tal propósito, citó los estudios de Lord Kelvin acerca del coeficiente de elasticidad giroscópica, y para disculparse, por no atreverse á asegurarlo del todo, recordó que hasta hoy no ha habido quien pueda dar la solución completa del problema de las oscilaciones de una esfera sólida, elástica y homogénea, girando alrededor de un eje, y aplazó, hasta obtenerse esa solución, el decidir si su creencia tiene ó no algún valor.

De todos modos, aparte de que el problema real es mucho más complicado, por la heterogeneidad de la Tierra, ni el mismo Sr. Darwin se atreve á atribuir á la causa que señala, más que una parte de las grandes diferencias observadas, mientras que la mayor solidez en el sentido del eje terrestre y la menor fluidez interna de las regiones polares parece que pudieran dar la completa justificación de aquellas diferencias.

En cuanto á la sismicidad de las diversas regiones terrestres, basta echar la vista sobre los planisferios del señor Montessus de Ballore, en que aparecen en negro aquellas que son orígenes de terremotos, así como sobre los que marcan los focos de los 323 principales temblores de tierra observados desde 1899 á 1903, según Milne, y las costas de olas sísmicas, según Rudolph, publicados por el autor, primeramente citado, en su obra *Les Tremblements de Terre*, para convencerse de que los movimientos terrestres son más numerosos é importantes en la zona tórrida, menos en las templadas, especialmente en la austral, y nulos en las regiones polares, como es de prever por la hipótesis expuesta acerca de la mayor solidez de la Tierra en estas últimas.

Y aquí no está de más adelantar al razonamiento de quien maliciosamente pensara que ese reparto de la sismicidad coincide con el de tierras habitadas, y, por lo tanto, con los lugares que puedan proporcionar noticias acerca de los temblores experimentados, que la Sismología está lo bastante adelantada para marcar con sus instrumentos, sin necesidad de instalarlos en las regiones polares, cuantos terremotos se hubieran verificado en ellas, pudiendo indicar desde Europa cuándo se producen terremotos, aunque sea en el mismo polo antártico, y determinar aproximadamente las coordenadas de su epicentro.

Antes de abandonar el estudio de la formación de la Tierra, desde el punto de vista físico, conviene recordar que, á partir del célebre experimento de Cavendish, en 1798, se ha repetido por muchos sabios la determinación de la densidad media de nuestro planeta, que es 5,50 la del agua, y que varía creciendo desde la periferia hacia el centro con arreglo á la ley que, aun no siendo conocida con todo rigor, se sintetiza generalmente en la fórmula de Roche:

$$D = 10 - 7,5 r^2$$

en la que r designa la distancia al centro de la Tierra, expresada en fracciones de radio, igual á 1 para las capas superficiales, que resultan con la densidad de 2,5 y á 0 para las centrales, á las que correspondería otra cuatro veces mayor.

Lo indiscutible, á pesar de esa fórmula y de su general aceptación, es solamente que la densidad media de la Tierra es 5,5, con aproximación suficiente y que á la parte superficial conocida por el hombre le corresponde otra notoriamente menor, y no fácil de fijar por un número con la requerida precisión.

En testimonio de esto basta recordar que las densida-

des de los feldespatos, micas, anfíboles y piroxenos, que constituyen la casi totalidad de la corteza terrestre, tienen densidades que fluctúan entre 2,44 y 3,75, ó sea 3, como promedio en números redondos, y que este número, ya muy próximo á 2,5, necesariamente debe sufrir una reducción mayor de 0,5, al tomar en cuenta la enorme masa de aguas que sobre la Tierra existe y las grandes oquedades que en su interior se hallan.

El gran Océano ú Océano Pacífico tiene aproximadamente una superficie de 170 millones de kilómetros cuadrados, según los recientes cálculos; el Atlántico 100, el Indico 68, el Océano Glacial Antártico 24,2, y 12 el Artico, ó sea un total de 374,2 millones de kilómetros cuadrados cubiertos por las aguas de los océanos.

Las cinco partes del mundo, comprendiendo las aguas interiores y las regiones polares, no tienen, según los últimos datos geográficos, más que 138,7 millones de kilómetros cuadrados, y ya, por lo tanto, á las aguas les corresponden 73 centésimas partes y sólo 27 á la superficie sólida, cifras que todavía habían de aumentar su diferencia de tomarse en cuenta los restantes mares, los lagos y los cursos de agua; pero que, dadas las grandes profundidades de los océanos y lo escarpado de sus costas, justifican el asignar al volumen de agua terrestre contenido, por ejemplo, en una altura de unos seis kilómetros, á contar desde el nivel medio de los mares hacia el centro, un valor superior al de la parte sólida, y, por lo tanto, una densidad media para la superficie terrestre inferior á dos.

Por otra parte, ni la precedente fórmula, ni otras análogas, así como muchísimos cálculos y estudios basados unas veces en la variación continua de la densidad de la Tierra, otras en el proporcional aumento de presión con las profundidades, y muchas en el progresivo crecimiento del calor interno, deben aceptarse como conformes con la

realidad, de la que sin duda alguna se prescinde, á juicio mío, más de lo tolerable.

Enhorabuena que esas leyes de continuidad se aceptaran si se tratase de un cuerpo que no cambiara de naturaleza con la profundidad, de manera tan discontinua como necesariamente ha de variar la Tierra; pero las grandes diferencias que existen entre los cuerpos constituyentes de nuestro planeta no consienten que aquellas leyes se acepten como expresión de la realidad.

Lo verosímil es que los cuerpos de gran densidad, de altas temperaturas de fusión y de volatilización, tales como el platino, el iridio, el paladio, el oro, el tungsteno, el cobalto, la plata, el cobre, el osmio, el uranio, el níquel, el hierro, el manganeso y quizás algunos otros desconocidos, aun más densos y menos fusibles, figuren en grandes masas en el interior de la Tierra, á cuya superficie han aflorado, solos ó combinados con otros cuerpos, en virtud de espantosos cataclismos geológicos, que los refundieran y arrojaran á ella, y lo probable es que las mil aleaciones, mezclas y combinaciones que pudieran haberse formado, se hayan colocado, en cierto modo y en general, con arreglo á sus diversas densidades.

Aunque no tan sencillo, ni mucho menos, ese caso puede asemejarse al de un recipiente, enormemente alto, en el que sucesivamente se hayan ido echando líquidos de decrecientes densidades, que unas veces hayan ido quedando separados, limpiamente unos de otros, por superficies horizontales bien definidas, otras se hayan mezclado por completo, constituyendo desde el punto de vista físico un solo líquido, y algunas, sin confundirse del todo, resulten unidos por una capa de irregulares formas, constituida por la mezcla de ambos.

Cualquiera fórmula ó ley que se aplicara por sólo conocer la densidad del líquido superior y la media del conjun-

to, para deducir las densidades y presiones á profundidades determinadas, desconociendo cómo se suceden las diversas capas líquidas, sería notoriamente falsa, si se fundaba en la continuidad de la variación de las densidades y de las presiones, porque estas últimas experimentarían siempre crecimientos, pero irregulares, y las densidades variarían en general por saltos y no paulatinamente.

Todo esto, unido al desconocimiento de cuanto á la materia puede ocurrirle, sometida á las grandes presiones internas de nuestro planeta, hace que ciertos asuntos deban tratarse con grandes reservas, sin admitir cifras ni leyes, sino á título muy hipotético.

Y en este terreno parece que, con probabilidades de acertar, puede estimarse que la densidad media de 10, asignada generalmente al núcleo central, sea muy inferior á la real.

Un sencillísimo cálculo demuestra que la parte central de la Tierra, de un radio bastante grande, es posible que llegue á tener una densidad igual ó superior á la de los tres cuerpos más densos de los conocidos: iridio (22,4), osmio (22) y platino (21).

Si αR —siendo R el radio medio terrestre, igual á 6.371.103 metros—representa aquel radio de la parte central, el volumen que á ella corresponde es $\frac{4}{3} \pi \alpha^3 R^3$, y el que resta de la Tierra $\frac{4}{3} \pi R^3 (1 - \alpha^3)$.

La suma de los pesos de ambos volúmenes, claro es que ha de dar el de la Tierra, y por lo tanto, introduciendo el valor 5,5 para la densidad media de la Tierra, y 25, por ejemplo, para el núcleo,

$$\frac{4}{3} \pi R^3 5,5 = \frac{4}{3} \pi \alpha^3 R^3 25 + \frac{4}{3} \pi R^3 (1 - \alpha^3) x$$

de donde se deduce

$$x = \frac{5,5 - \alpha^3 25}{1 - \alpha^3}$$

que dará la densidad media de la capa periférica de la Tierra para diversos valores de α .

Si, por ejemplo, $\alpha = \frac{1}{100}$, que equivale á asignar al núcleo en cuestión un radio de 63711 metros

$$x = \frac{5,5 - \frac{25}{10^6}}{1 - \frac{1}{10^6}} = 5,49988$$

es decir, que con que la parte periférica tenga una densidad media que sólo difiera de la terrestre en 0,00012, ya podría existir un núcleo de 127 kilómetros de diámetro, cuya densidad media fuera 25, resultado nada extraño si se piensa en que el volumen de este núcleo es sólo la milésima parte del que la Tierra tiene.

No es esencial para cuanto acaba de tratarse; pero sí abona aún más su certeza, adoptar para la densidad media de la Tierra los más modernos valores, superiores al ya expresado, tales como el de 5,52, empleado por el sabio geodesta Helmert en los cálculos de que ha dado cuenta, á fines de 1909, acerca de la determinación de la profundidad de la superficie de nivel, en la cual, según la hipótesis de Prat, es contante la presión ó bien el 5,576, mucho más fuerte, empleado por Haytford en análogos cálculos, para fijar la profundidad á que se halla la superficie de compensación.

Y ya que hablando del modo como parece probable se formara la Tierra ha corrido la pluma para ocuparse algo en lo que actualmente es, con aquélla formación íntimamen-

te relacionado, no he de dejar de consignar mi sentimiento por no poder pasar, dado el objeto de este trabajo, una rápida ojeada sobre teorías y estudios, entre los cuales, por su importancia y actualidad, he de citar tan sólo el trabajo del ilustre sabio francés M. Lallemand, acerca de la rigidez de la Tierra, comparable con la del acero, según Sir Darwin, que dió la cifra (*) $\rho = 7,7$ como valor de ese coeficiente de rigidez; número que, por trabajos de diferentes sabios, ha tenido correcciones de importancia en uno y otro sentido y al que los cálculos de M. Lallemand asignan recientemente 6,3, comprendido entre el del cobre, $\rho = 4,7$ y el del acero antes citado, y que confirma la intuición del mayor de los genios modernos: del famoso Lord Kelvin, que ya en 1877 asignaba á la Tierra una elasticidad intermedia entre las del acero y del vidrio, que viene en apoyo de la hipótesis, antes sustentada, de un núcleo metálico, ya que se trata de una rigidez media, á la cual es inferior desde luego la que corresponde á la corteza terrestre.

A ese esbozo de estudio físico de la Tierra, en el que necesariamente había de citarse la densidad y rigidez de nuestro planeta, por la importancia que ambas tienen en la producción y propagación de terremotos, hubiera querido que siguiera otro ligero examen de la constitución interna de nuestro globo, desde el punto de vista químico y puramente geológico.

Pero, aun simplificando mucho el problema, con tener en

(*) $\rho = \frac{0,49}{1 + \sigma} \times \frac{K}{1.000}$, fórmula en la que K es el coeficiente de alargamiento longitudinal, ó peso, en kilogramos, que duplicaría la longitud de una varilla prismática de 1 mm² de sección y que vale 20 972 para el hierro y 21.426 para el platino iridiado recocido, y σ es el módulo de contracción transversal, ó relación entre lo que se contraen las aristas transversales de un cubo aislado, de aquella varilla, y lo que se alargan las verticales, que vale, en general, 0,30: sólo 0,25 para los metales recocidos y el vidrio y 0,40 para los metales templados.

cuenta tan sólo los cuerpos simples que más abundan en la superficie terrestre (oxígeno, silicio, aluminio, calcio, magnesio, potasio, sodio, carbono, azufre, hidrógeno, manganeso y cloro) es tan complicada la cuestión, que para estudiarla, aunque sea someramente, pero con verdadera conciencia científica, preciso sería disponer de mucho espacio.

Y como éste no sobra, y por otra parte, desde el punto de vista sismológico, ese estudio, aunque importante, no debe preferirse á otros, sólo me atrevo á exponer cuatro generalidades, al parecer indispensables, ó, por lo menos, de conveniente recuerdo.

De todos los cuerpos simples es el oxígeno, sin duda alguna, el que más abunda en la parte de la Tierra que se conoce: constituye cerca de la cuarta parte en peso de la atmósfera; las $\frac{8}{9}$ del agua, que tanto abunda; casi la mitad

de los feldspatos y micas; de un tercio próximamente á cerca de un medio de los anfíboles y piroxenos, según su diversa composición, y más de la mitad de su peso de los peridotos y cuarzos, para no citar más que aquellos minerales que constituyen la casi totalidad de los terrenos explorados por el hombre, y dejando á un lado carbonatos, sulfatos, etcétera, etc., en los que también figura tan importante elemento.

Las calorías que sólo las combinaciones del oxígeno habrán producido al formarse la Tierra, por su enorme número, dan idea del infinito. Un cálculo sencillísimo de termoquímica demuestra, por ejemplo, que al formarse cada metro cúbico de agua, por la consiguiente combinación del citado gas con el hidrógeno, se habrán producido cerca de cuatro millones de calorías, y unos siete y medio millones, también de grandes calorías, por cada metro cúbico de feldspalto, y al pensar que por cada kilómetro cúbico de esos compuestos hay que multiplicar esas cifras por mil millones

y que de los 1.083.260 millones de kilómetros cúbicos que la Tierra tiene de volumen, corresponden una gran parte á aquellos cuerpos, la imaginación menos propensa á impresionarse, siente, sin duda alguna, profunda admiración, y por fácil y vehemente que sea, apenas podrá formarse idea de las nuevas fusiones que habrán podido producirse, y de los mil cataclismos á que habrán dado lugar cantidades tan inmensas de energía.

Este tejer y destejer de cambios de estado y de reacciones sin cuento, análogo en su principio al que hoy se observa en el Sol, y en el que las substancias que hoy consideramos como indescomponibles en otras, han ido perdiendo no sólo las calorías que en sí misma atesoraban, sino gran parte de las que al unirse entre sí originaban, duró tiempos que algunos pretenden calcular, atrevida y no muy concienzudamente; pero tuvo su fin, y la corteza terrestre, que antes saltaría una y otra vez por el espacio, al empuje de tremendas explosiones internas, y muchas se licuaría y aun volatilizaría, llegaría á adquirir relativa consistencia y estabilidad, confirmando una vez más que con la pérdida del calor se va aproximando la quietud y la muerte.

En cierto modo apaciguado el período de mayor actividad química de la Tierra, aparecería nuestro planeta con forma exterior próximamente elipsoidal, pero lleno de enormes é irregulares ampollas, levantadas por el empuje de los vapores y de los gases de las reacciones internas, formando montañas, cordilleras y valles más ó menos profundos, cuya superficie, correspondiente á una costra, relativamente ténue, ofrecería temperaturas variables, no inferiores en parte alguna á más de 100 grados y en cuya atmósfera, mucho más pesada que la actual, existiría prodigiosa cantidad de vapor de agua.

El verdadero movimiento perpetuo que en nuestros días tiene el vapor de agua atmosférico, producido principal-

mente por la evaporación de los mares para llegar á saturar esta ó la otra parte de la atmósfera y condensarse por enfriamiento, originando lluvias, muchas veces destructoras, que le vuelven á la tierra y á los mares, por arroyos y ríos, apenas pueden dar idea aproximada de las lluvias de agua, casi hirviendo, que sobre la caldeada tierra caerían, para evaporarse de nuevo, transportando en su seno millones y millones de calorías, restadas de la superficie terrestre para llevarlas á las alturas y en ella perderlas, hasta conseguir que la temperatura de esa superficie bajara y en ella pudiese quedar depositado aquel líquido, á punto de hervir. Y claro es que no por esto dejaría de continuar el enfriamiento ni de producirse grandiosos meteoros acuosos, de los cuales son los actuales raquíftico remedo, á pesar de la potencia, muchas veces terrible y asoladora, con que se nos presentan.

A esas elevadas temperaturas del agua corresponderían otras, poco diferentes, en general, de la corteza terrestre, todavía de poco espesor y escasa consistencia, circunstancias que ocasionarían continuas roturas, combinaciones nuevas, producciones enormes de gases y de vapor de agua, que romperían por doquier aquella débil cáscara, elevándola, dislocándola, torciéndola, volteándola á veces, con trepidaciones y empujes, de los que son endeble muestra los actuales terremotos.

Volvería á reconstituirse la corteza, soldándose á veces con nuevos materiales ó uniéndose por simples presiones; pero ya bajo la acción de incesantes lluvias y de empujes considerables de los mares, que pudieran contribuir á explicar el hecho de que las masas continentales descieran á las grandes profundidades marítimas por rápidas pendientes, hasta tal punto que si se supusieran desecados los mares, aparecerían los continentes como elevadas mesetas de faldas abruptas, relativamente próximas á la vertical.

La historia de la Tierra, desde esas remotas fechas, se ha pretendido escribir por muchos, utilizando como documentos las especies vegetales y los minerales hallados; pero aunque las fuentes de información son las mismas para todos los historiadores, las narraciones suelen ser muy diferentes, no sólo en la duración de las épocas en que la historia se divide (Arago, por ejemplo, asigna una duración de trescientos trece mil seiscientos años transcurridos entre el período carbonífero y los actuales tiempos, mientras que Bischoff la estima en nueve millones de años), sino en el modo de producirse los hechos y en las causas que los originaron.

De todas las magnas discusiones geológicas á que esas narraciones han dado lugar, no parece pertinente tratar aquí, ni siquiera para exponer la que hoy predomina como más verosímil; pero, aunque á la ligera, alguna observación merece, por su íntimo enlace con la Sismología, la orogenia ó formación de montañas, al cual fenómeno suele atribuírsele la presentación del mayor número de importantes terremotos.

Se admite que la causa eficiente de la formación de las montañas es el enfriamiento secular del globo que, como consecuencia, produce la disminución del diámetro terrestre é implica la necesidad de que la corteza, al adaptarse á núcleos cada vez más reducidos, disminuya progresivamente su superficie de asiento.

La corteza de la Tierra viene á ser, según esta hipótesis, como una bóveda hecha por un mal constructor, compuesta, no de dovelas, sino de malos mampuestos, de irregular forma, flexibles, pésimamente unidos con detestables argamasas, sobre una cimbra deformable, que poco á poco se reduce de tamaño.

Esa bóveda, incapaz de sostenerse por sí misma, por la hábil combinación que el artífice estableciera entre la ac-

ción de la gravedad y los empujes horizontales, al bajar su cimbra, sobre ella cae, hundiéndose unos trozos, flexándose otros, por los empujes horizontales de la bóveda y elevándose algunos, de juntas en tal forma dispuestas que, al bajar lós adyacentes y tratar de acercarse entre sí, lo impulsan hacia arriba, para que la base de apoyo pierda, entre esas flexiones y elevaciones, la misma superficie en que la cimbra se redujo.

Los plegamientos de los estratos corresponden á esos mampuestos flexibles que se doblan por empujes horizontales, los geosinclinales, por los que la Tierra juega, son esas juntas de débil argamasa de la bóveda; las fallas son á su vez las superficies de rotura de los mampuestos, al descender sólo una parte de ellos; las montañas son los que se elevan, etc., etc., etc.

Completan esta teoría los supuestos de que ese arrugamiento de la corteza terrestre produjo extensiones en la parte externa y compresiones en la interna, que originarían en unos lados desgarramientos por donde saldría la materia ignea, y por donde aun sale, por los volcanes, impelida por las compresiones debidas al repliegue de la superficie que, á su vez, en otros lugares, originarían erupciones abortadas, elevando y doblando los estratos.

Este determinante papel que al enfriamiento se asigna no sólo es discutible, sino difícil de admitir, porque si bien en el período cosmológico ó primitivo: desde el principio hasta que no llegara la costra sólida á ser gruesa, tendría indudable influencia, porque nuestro planeta, con sus elevadísimas temperaturas, irradiaría por el espacio cantidades de calor enormemente mayores que del Sol recibiera; en cambio, estas diferencias, cada vez menores, acabarían por ser nulas, ó acaso en algunos períodos el enfriamiento del globo tuviera sus retrocesos, por las muchas calorías que las reacciones químicas de su interior desarrollaran.

La progresión del enfriamiento, como causa eficiente y única de todos los trastornos geológicos, tiene además en contra suya la escasa conductibilidad de los materiales que constituyen la costra sólida y su gran espesor, que prácticamente hace que haya la zona llamada de temperatura invariable, adonde ni llegan las consecuencias de los cambios térmicos de la superficie ni los del interior.

Cuando de este asunto se trata, no es raro hallar citado, como prueba indirecta del progresivo enfriamiento, el gran desarrollo de la vida vegetal en el período permo-carbonífero, con sus numerosas especies gigantes de plantas arborescentes, como consecuencia natural de las temperaturas elevadas que sobre el globo existían; pero de frente contra esa prueba del continuo enfriamiento, aparece, al principio de la época cuaternaria, el terrible período glacial, verdadero y larguísimo reinado del frío, del que la Tierra llegó á emanciparse en el período diluvial, que labró nuestro planeta, dándole próximamente el aspecto actual, merced á temperaturas más elevadas. Y ese enigmático enfriamiento, al que no se ha hallado explicación realmente satisfactoria, indica, en cambio, que no es lícito admitir la secular é incesante pérdida de temperatura de nuestro globo que, en la época actual, más bien parece haberse calentado, al menos superficialmente.

Además, forman los estratos tan extraordinarios, múltiples y extensos pliegues y repliegues, y los levantamientos de terreno son tan considerables, que cuesta gran trabajo atribuir todo ello á efectos indirectos de la contracción del núcleo ígneo, sobre el que se supone descansan, sin incluir entre las causas que los producen, dándole preponderante lugar, á grandes fuerzas internas de expansión, creadas por los vapores y los gases de múltiples reacciones químicas, que siguen hoy mismo verificándose en el interior de la Tierra.

Nunca se terminaría si se trataran las teorías ya expues-

tas para dar idea de la constitución interna de nuestro planeta, acerca de la cual puede afirmarse que habrá pocas ó ninguna hipótesis que no se haya sostenido, ni razonamiento que no se haya empleado.

Esta misma profusión trae la ventaja de que cada cual pueda fraguarse una idea, más ó menos verosímil, del modo de estar constituído el interior de la Tierra, con la certeza casi de que la imagen que se forme, aunque original, no sea nueva, y abusando de esa ventaja se ha expuesto la que precede, para cuya conclusión bastan ya pocas palabras.

El núcleo sólido, á mi entender, por las razones ya indicadas, debe ser de forma irregular y en él abundarán grandes depresiones, dándole un aspecto parecido al que la superficie de la tierra ofrece; pero sólo desde el punto de vista geométrico, ya que á los murmuradores arroyos, tantas veces cantados por los poetas; á los ríos, unas veces mansos y otras torrenciales; á los hermosos lagos y á los grandiosos mares, sustituirán arroyos, ríos, lagos y mares también; pero no de agua, sino de substancias, á veces incandescentes, más ó menos líquidas, que con sus fulgores siniestros alumbrarán áridos paisajes, tan monótonos y tristes, como variados y alegres son, en general, los de la superficie terrestre.

Y si al mirar hacia abajo se ofrecería tan infernal aparición, aún más triste sería contemplar el cielo de esos paisajes, toda vez que la mirada tropezaría con grandiosas y sombrías bóvedas, á cuyas profundidades ni remotamente llegaría la luz de las masas ígneas que bajo ellas existen, unas veces en reposo, otras con mansa corriente y algunas en tumultuosa agitación.

La inmensa techumbre que la corteza terrestre forma sobre esos desoladores paisajes estará sostenida aquí y allá por gigantescas columnas, extrañas é irregulares, y por grandes macizos, cuyo conjunto formará una red inestrica-

ble, que á veces dejará completamente incomunicados algunos de esos espacios, y otras consentirá el paso de unos á otros sólo por conductos de variada sección.

La atmósfera de ese núcleo no desmerecerá ciertamente del suelo ni del cielo de tan calurosas comarcas, porque estará constituida por gases y vapores, entre los cuales el del agua será el más tolerable, y esas substancias gaseosas, acumuladas en variables cantidades y con tensiones también variables, deben desempeñar importante papel en la dinámica del interior de nuestra Tierra.

En efecto, esas masas líquidas ó pastosas estarán sometidas, como sus análogas de la superficie terrestre, á la acción de la gravedad y á las atracciones de todos los cuerpos celestes, entre los cuales, por su eficacia, basta considerar únicamente las del Sol y de la Luna, capaces de producir mareas intra-terrestres, como las produce sobre nuestros mares y como las recientes observaciones del Sr. Hecker han evidenciado que las produce también sobre la totalidad de la costra sólida del globo, que no deja de ser elástica y, por lo tanto, deformable; pero además de esas fuerzas obrarán enormes presiones, con variaciones importantes, que de ningún modo, por su cuantía, pueden asemejarse á la presión atmosférica ni á los cambios de ella, relativamente pequeños, medidos por las oscilaciones de la columna barométrica, que obran sobre las aguas superficiales.

Ninguno de nuestros ríos detiene su curso, ni mucho menos deja correr sus aguas en sentido opuesto al que tienen, por las variaciones experimentadas solamente por la presión barométrica, y muchos conductos de materia incandescente líquida habrá, comparables por sus dimensiones con nuestros grandes cursos de aguas, que arrastrarán su caudal, acaso violentamente, de una á otra parte y viceversa, obedeciendo á los enormes cambios de presiones de las capacidades cerradas que pongan en comunicación.

Supóngase dos cubilotes con hierro fundido, por ejemplos, cerrados y unidos por su parte inferior por un fuerte tubo, más ó menos largo, cuyos extremos estén á inferior nivel que el más bajo de la fundición de ambos recipientes. Sin necesidad de acudir á reacciones químicas, que en el interior de la Tierra habrán de producirse constantemente, desprendiendo gran cantidad de gases, bastaría hacer entrar unas cuantas gotas de agua en uno de los cubilotes, para que la gran presión desarrollada en él hiciera correr parte ó todo el líquido fundido, según las condiciones, al otro cubilote y de este último podría hacerse repasar el líquido al primero, empleando el recurso antes usado, que podría repetirse alternativamente, mientras las calorías de la masa ígnea lo consintieran, hasta que la tensión del vapor de agua fuera tan grande que uno ó los dos recipientes se rompieran y según el lugar de la rotura, salieran al exterior, violentamente expulsados, ya vapor de agua sólo, ya hierro fundido ó bien ambos á la vez.

Sustitúyanse los cubilotes por espacios, que pueden ser inmensos y tener como cubierta todo un continente ó gran parte de él y el tubo de comunicación por uno ó varios túneles, de gigantescas proporciones é irregular estructura, y se tendrá aproximada idea de lo que en el interior de la Tierra puede ocurrir y de lo verosímil que es suponer el forzado transporte de una á otra parte de toneladas y toneladas de substancia, por el variable empuje de gases y vapores.

De lo que serán estos empujes, pueden dar idea la altura de 1.100 metros, alcanzada por la columna de gases y vapores, que arrojó verticalmente y con gran velocidad el Krakatoa, en 1883 y las de 3.000 y 6.000 metros, sobre el nivel del mar, que respectivamente llegan á tener las columnas, no ya de gases y vapores, sino de lava, que á veces expulsan el Etna y el Cotopaxi.

III

(Causas de los terremotos.)

Así concebida la manera de ser del interior de la Tierra hallan fácil explicación fenómenos á los que otras hipótesis satisfacen y muchos más que aun no se han justificado ó que, por no ser explicables, se han reputado por falsos, tomando el cómodo partido de no dar crédito á lo que muchos observaron, sólo por no amoldarse cuanto éstos últimos vieron á las consecuencias de teorías preconcebidas.

Fácilmente se comprenderá que los arrastres y erosiones de nuestras aguas y la denudación de las rocas superficiales, por las acciones atmosféricas, apenas pueden dar idea de la actividad del transformismo en el espacio existente entre la corteza terrestre y el núcleo central, porque aquellas aguas estarán sustituidas por líquidos mucho más densos, de velocidades que pueden ser enormes, con potencias químicas y temperaturas de que carecen las corrientes hidráulicas y, por añadidura, á nuestra atmósfera se sustituirá otra, compuesta de más activos elementos, con presiones parciales muy desemejantes.

Estas causas, combinadas con las que obran en la superficie terrestre, claro es que producirán derrumbamientos, parciales ó totales, de pilares y bóvedas y, entre otros fenómenos que originen, agitarán la corteza terrestre, que á veces se deformará ó romperá, principalmente por sus líneas de menor resistencia, que serán las que más se presten á dejar mover las partes más sólidamente constituidas, á las que sirven de unión.

Y aquí cabe señalar que este último hecho, consecuencia sencilla y natural de la teoría expuesta, es el más admi-

tido como causa única de los terremotos, que si acaso se considera hija no más que de las traídas y llevadas pérdidas del calor central y de la expulsión de materias eruptivas.

Las opiniones reinantes acerca de la causa de los terremotos pueden sintetizarse en los párrafos que á continuación se copian, tomándolos de los prólogos que los eminentes geólogos Lapparent y Suess escribieron recientemente para las obras del sabio sismólogo F. de Montessus de Ballore, tituladas *Les tremblements de terre* y *La Science sismologique*, de todas tan conocidas y estimadas.

Dice así Lapparent, en el prólogo de la primera de esas obras:

“Cuanto más se estudia esta corteza en detalle más obligado se está á reconocer en ella, en todas partes, la huella de numerosos esfuerzos de ruptura y de flexión. Es, como se ha dicho con justicia, una verdadera marquetería, compuesta de gran número de piezas, diferentes por su ^{que} ~~com~~posición y estructura, que han debido moverse ^{cu} ~~mu~~chas veces las unas con relación á las otras. Seguramente ~~este~~ ^{este} juego debe proseguir aún, puesto que el calor interno y la eyacuación de materias eruptivas bastan para turbar perpetuamente el equilibrio de la corteza. ¿No será ese el origen de todos los terremotos de gran amplitud, por lo menos de todos aquellos que cubren un espacio incomparablemente superior al que una explosión volcánica podría conmover?”

“Para resolver esta cuestión se imponía un estudio de conjunto, etc., etc.”

Y después de dar cuenta de los trabajos de Milne y de Montessus de Ballore, juzgando que contestan á la anterior pregunta de un modo afirmativo, agrega el eminente geólogo:

“Con él (con el autor: M. de Montessus de Ballore) se asombrarán los que lean esta obra de que hayan sido nece-

sarios tanto trabajo y tanto tiempo para llegar á buscar en la corteza misma, y no fuera de ella, la causa de los movimientos que la agitan.”

Con el mucho respeto que Lapparent merece, no hemos de dejar de advertir la confusión que introduce entre la causa y los efectos de ella, porque, usando su mismo símil, los mosaicos y muebles ensamblados si juegan por sus líneas de unión es por efecto de causas á ellos externas, tales como la humedad y la sequía, y la existencia de las imperfectas uniones sólo determina los lugares en que, por efecto de aquellas causas, es más fácil el juego de las diversas piezas.

Por su parte, el geólogo Suess, eminencia también indiscutible, dice en el prólogo de *La science séismologique*.

“Con él (con M. Montessus de Ballore) se reconocerá que todos los terremotos tan destructores de estos últimos años, que han llenado al mundo de espanto, eran de origen tectónico y no tenían epicentro; pero que las explosiones ó las catástrofes como la de la Montaña Pelée, forman una clase independiente de fenómenos.”

Independencia que ya había hecho notar precedentemente, en el mismo prólogo, al decir:

“...ahora rechaza (la ciencia sismológica) esta noción (la del epicentro) por demasiado simplificada, valedera solamente para las conmociones debidas á explosiones volcánicas, para elevarse á la del movimiento de conjunto de los planos de la marquetaría terrestre.”

Con la maestría propia de sus autores, queda en los precedentes párrafos bien definida la opinión reinante acerca del origen de terremotos tectónicos y volcánicos, considerados como distintos, y debidos los unos al juego de las distintas partes de la cáscara sobre la cual habitamos, y los otros á explosiones interiores.

Se cree que la tierra se arrugó allá en remotos tiempos,

por efectos del enfriamiento y de la salida de sus entrañas de materias líquidas y gaseosas, y así se concibe la orogenia; pero este enfriamiento, acerca de cuyos resultados, en cuanto á sus efectos de contracción, cabe hablar mucho, discutiendo su valor, y esas expulsiones de materia, ¿no podrían haber estado poderosa y, algunas veces, decisivamente ayudadas por el empuje hacia el exterior, de gases y vapores cuya existencia en las entrañas de la Tierra es palmaria?

Sin entrar en el fondo de esa cuestión geológica, obsérvese que dentro de la hipótesis sustentada no cabe bien esa clasificación de los terremotos, como puede verse en un par de ejemplos, cuya posibilidad no parece fácil negar.

En una de esas inmensas bóvedas de que se ha hablado, y cuya existencia justifican, por cierto, las mediciones hasta ahora hechas de la gravedad, se produce un derrumbamiento: masas tremendas de rocas caen desde gran altura, y al chocar, transforman su fuerza viva, parte en calor, parte en trabajos mecánicos de deformación elástica de la Tierra, que producen ondas, y, por lo tanto, un terremoto, para cuya generación y producción ninguna falta ha hecho el juego de las piezas del mosaico superficial, único que el hombre conoce, por los leves arañazos que en la corteza terrestre suponen las diferencias de nivel entre las más altas cordilleras y los mares más profundos y las perforaciones mineras que ha realizado.

Nada se opone á que esas masas de rocas desprendidas caigan sobre la substancia líquida, bien directamente ó ya rebotando por las vertientes del abismo, y determinen la salida de ella por un volcán, más ó menos lejano, produciendo, de esta suerte, idéntica causa los dos fenómenos, cuyo origen se pretende sea muy distinto.

Sin recurrir á esa admisible hipótesis, bastaría un aumento en la tensión de los gases del interior de la Tierra, seguido de una disminución, por haber hallado ellos mismos

salida ó por haber empujado la materia incandescente por un volcán, para que al mismo tiempo que este último funcionara se bamboleara también la corteza terrestre, sometida á empujes tan distintos.

Y claro es que si esa sacudida, que los gases produjeran, obrara sobre las piezas de la marquetería terrestre, de que Lapparent habla, cuyos enlaces fueran débiles, la misma causa que originó el volcán produciría un terremoto tectónico, con el cual quiere negársele todo parentesco.

Cuanto precede no quiere decir, en modo alguno, que siempre los terremotos llamados tectónicos hayan de provenir de las causas últimamente señaladas ó de otras á ellas análogas: tan propensas pueden estar á moverse algunas piezas de ese mosaico que cualquiera causa, por nimia que sea, pueda disparar, por decirlo así, el terremoto; pero, en definitiva, jamás será la causa eficiente la misma marquetería y siempre habrá de buscarse fuera de ella, sin olvidar, por otra parte que, dado el gran espesor de la corteza terrestre, no siempre serán las juntas de ella más débiles aquellas que nos son conocidas por manifestarse en su superficie.

Además, conviene no olvidar tampoco que nada tiene de extraordinario que los choques y perturbaciones de todo género á que la corteza terrestre pueda estar expuesta, tengan sus consecuencias más tangibles en aquellas partes de ella que gocen de estabilidad menor, así como nada de extraño tiene que el choque contra una mesa derribe los objetos colocados sobre ella cuyo equilibrio es más inestable y apenas produzca efecto en los de gran estabilidad.

Ni tampoco es de desdeñar que abunden los terremotos en que no se han hecho constar cambios de nivel ó de situación horizontal, que pudieran justificar aquellos cataclismos, desde el punto de vista mecánico, y que aun en los que esos cambios han alcanzado más considerables valores, el trabajo

inicial que suponen hubiera podido entregarlo con creces la caída de masas relativamente pequeñas en el interior de la Tierra, capaz, por lo tanto, de engendrar terremotos de tanta ó mayor intensidad, porque, en este último caso, preciso es recordar, por elemental que sea, que la velocidad de caída de una masa determinada desde una altura h es $\sqrt{2gh}$, despreciando la resistencia pasiva del medio en que se mueve, y, por lo tanto, su fuerza viva es proporcional á la altura, siendo la misma la de una masa que cae desde un centímetro, que la de otra diez mil veces menor que cayera desde cien metros.

A propósito de esto, conviene hacer notar que no son necesarias grandes masas móviles ni extraordinarias velocidades de choque para engendrar los terremotos, como puede comprenderse sin más que recordar hechos de todos conocidos. Basta, en efecto, que por una vía pública circule algún ligero vehículo, sin que tenga extraordinaria velocidad, para que los choques de los pocos cientos de kilogramos, que en conjunto supone, contra el pavimento, originen vibraciones transmitidas de modo muy apreciable á enorme mole de edificios, cuyas toneladas y toneladas de peso adquieren todas ellas visible movimiento, al ser recorridas por ondas elásticas debidas á tan insignificante causa.

Se indicó que la hipótesis expuesta, en la que tanta importancia se concede á la existencia de oquedades y gases y vapores en el interior de nuestro globo, explicaba hechos hasta ahora de origen desconocido ó no bien averiguado, y preciso es confirmar ese aserto, aunque sea á la ligera, con algunos ejemplos.

Los ruidos terrestres, de intensidad, tono y timbre tan distintos, que suelen preceder ó acompañar á los terremotos y erupciones volcánicas, así como los que se hacen oír sin que exista ninguna de esas dos clases de fenómenos, tienen sencilla y clara explicación en la circulación, á veces

violentísima, de materiales líquidos, y en las explosiones y derrumbamientos que han de producirse en esos antros subterráneos, verdaderas cajas sonoras de múltiples y variados ecos.

La irregularidad con que los polos describen extrañas curvas sobre la superficie de la Tierra, acerca de la cual nada concreto se sabe, halla también lógica explicación en el transporte de grandes masas líquidas interiores, merced al juego de los cambios de presión á que se hallan sometidas; porque estos cambios de posición de las materias terrestres, con relación á su eje de giro, alteran los momentos de inercia y hacen cambiar la situación del eje instantáneo de rotación, y por lo tanto, la de los dos puntos en que corta á la superficie terrestre.

Sistemáticamente se ha negado por algunos que puedan tener conexión directa los terremotos con lluvias, rayos y resplandores, que muchos aseguran haber observado al mismo tiempo que se sentían los efectos de los sismos y la posibilidad de que coexistan unos y otros fenómenos, algunas veces, y en especiales circunstancias, halla también sencilla explicación dentro de la teoría expuesta.

Del mismo modo que la irrupción de vientos relativamente calientes, cargados con gran cantidad de vapor de agua, en una atmósfera fría produce la usual lluvia, asimismo la inyección de vapor de agua, muy caliente, que se escape de la Tierra, por ésta ó la otra boca ó hendidura, en las convulsiones que le agitan, puede ser la causa determinante de una lluvia ó de otro meteoro acuoso.

Ese escape de vapor de agua, solo ó unido á otros gases, puede justificar también los rayos y resplandores antes mencionados, porque todos sabemos que la máquina hidroeléctrica de Armstrong se reduce á una caldera de vapor, al cual se da salida por tubos adicionales, produciendo enormes chispas, de 2 metros de longitud, y no es mucho

fantasear que, en análogas condiciones y por causas iguales, aunque en proporciones mayores, la violenta salida de gases y vapores de la caldera terrestre pueda producir fenómenos eléctricos luminosos de consideración.

Las erupciones volcánicas, ya se verifiquen con irregulares períodos ó ya se presenten de modo intermitente y regular, también se explican, con claridad y sencillez, por la teoría expuesta, sin más que admitir combinaciones posibles entre la configuración de los espacios endotelúricos y la existencia de sustancias líquidas, sometidas á variables presiones por los gases.

Supóngase la base de un volcán cualquiera cerca de la substancia líquida ó completamente sumergida en ella; bastará que esa substancia bañe por completo los irregulares bordes de alguna de esas bóvedas de que ya se habló, y que dentro de esa capacidad, por reacciones químicas ó por filtraciones de agua, ó por ambas causas á la vez, se aumente la presión gaseosa, ó bien que por efecto de derrumbamientos se eleve el nivel del líquido, para empujarle más ó menos violentamente hacia el volcán, por cuyas bocas ascenderá, vertiéndose mansamente al exterior, ó bien saliendo vigorosamente proyectado, mezclado ó no con gases ó vapores, según sean las condiciones del impulso recibido y de los orificios de salida.

Y si en esas cavidades, á las que el volcán sirve de respiradero, no hay ordinariamente esos irregulares empujes de fluido y sólo en su parte superior se van acumulando poco á poco gases ó vapores que eleven lentamente las tensiones y, por lo tanto, el nivel de la lava en el volcán, puede suceder que al llegar ésta á cierta altura dentro del tubo, por decirlo así, de salida y al descender por lo tanto el nivel del líquido que exteriormente á ese tubo rodea, halle ese exceso de gases escape por el volcán y vuelva á comenzarse otro nuevo ciclo.

La expulsión sólo de gases ó bien de gases y cenizas, claro es que se producirá cuando las lavas en su complejo flujo y reflujo no obturen la base de los volcanes y los súbitos aumentos de presión originen corrientes gaseosas que barran las paredes de los conductos que recorran, la inferior de las cuales estará formada por la superficie de las sustancias incandescentes.

Como repetidamente se ha indicado, en la teoría *tectónica* de los terremotos, basada en la contracción del núcleo terrestre por enfriamiento y en el consiguiente arrugamiento de la corteza terrestre, se atribuyen á este último la casi totalidad de los movimientos sísmicos importantes.

Según la teoría llamada *cristalina* de Tammann, de reciente origen, la causa principal de los terremotos está en el cambio del estado líquido por el sólido de las sustancias del interior de la tierra, muchas veces realizado con violentos choques, sobre todo cuando las sustancias que se hallan en presencia son capaces de combinarse entre sí.

Con arreglo á esta última teoría, el sismólogo Sieberg, de Estrasburgo, asigna á las explosiones periódicas de cristalización un papel preponderante en la formación del relieve de la corteza terrestre, que en rigor se debería á todo lo contrario que la teoría *tectónica* supone.

En efecto, según las ideas de Tammann, comienza la solidificación de una capa líquida interna cuando la presión ejercida por las superiores á ella, también fundidas, llega á ser exactamente la que corresponde á la temperatura máxima de presión de la sustancia que constituye aquel líquido. Ya cristalizada esa capa se extenderá hacia el interior contrayéndose, y hacia el exterior *dilatándose*; precisamente lo contrario que la teoría tectónica afirma.

Con todos los miramientos debidos, me atrevo á considerar inaceptable esta teoría de Tammann, en la que además se supone una igualación de temperaturas del interior de la

Tierra bastante rápida, por intermedio de las corrientes de convección; porque, entre otras razones, con temperaturas no muy diferentes de las sustancias líquidas y con los extraordinarios aumentos de presión de que se ha hablado, producidos hacia la periferia y hacia el centro, la cristalización total no tardaría siglos y siglos, sino que se hubiera efectuado de una manera relativamente rápida, y tiempo hace habría terminado por completo.

Sea de todas esas teorías lo que se quiera, es lo cierto que en la propia constitución del interior de la Tierra deben hallarse algunas de las causas de los terremotos que agitan su superficie.

Para muchos esa constitución es el único origen de los terremotos; pero, en tal afirmación, hay demasiado exclusivismo, á juicio mío, como procuraré demostrar enumerando algunas otras causas, que concurren al mismo fin, aunque su intervención sea mucho menos preponderante.

Y como este examen ha de comenzar por el de las causas denominadas extratелúricas, no parece que esté de más recordar que el Sol camina por el espacio, no hacia la constelación de Hércules, como hasta hace poco se creía, sino hacia la estrella Vega de la Lira, y arrastra consigo á la Tierra, que en torno de nuestro astro se mueve con la velocidad media, verdaderamente espantosa, de 106.800 kilómetros por hora, al paso que sobre sí misma gira, alrededor de su eje, cuya posición respecto á ella se consideró durante mucho tiempo como inmutable, con velocidades lineales que varían de los polos al Ecuador entre 0 y 1.670 kilómetros por hora.

Pero esta fijeza de los polos, no sólo se ha evidenciado, por el cálculo y por la observación, que no existe, sino que de medir las leyes de su variabilidad se ha tratado y se trata modernamente por la Asociación Geodésica Internacional, mediante delicadas observaciones, que ya han puesto

en claro cuáles son las curvas, al parecer caprichosas, que esos puntos ideales han descrito, durante los últimos años, sobre la superficie terrestre.

Esa variabilidad, verosímilmente eterna, del eje de giro de un cuerpo como la Tierra, que con tan grandes velocidades se mueve, compréndese que, por sí sola, ha de ser capaz de producir vibraciones y dislocaciones en las masas que en torno de aquel eje giran, tanto más intensas estas últimas deformaciones, cuanto que, como es sabido, no es extraordinaria, ni siquiera grande, la adherencia que suelda unas con otras las diversas partes constituyentes de la Tierra.

Sólo como consecuencia del movimiento de nuestro planeta, natural es, por lo tanto, que se produzcan movimientos relativos de su corteza.

Sin abandonar el terreno puramente mecánico, ni dejar de considerar la Tierra como cuerpo celeste, evidente es que, tanto su conjunto como sus diversas partes, hállanse sometidas á los efectos de la atracción de los demás cuerpos, entre los cuales preponderan los del Sol y de la Luna, hasta el punto de poder prescindir de los restantes.

Constantemente varían, no sólo en dirección, sino en intensidad también, combinándose además de muy diversos modos, las atracciones del Sol y de la Luna sobre las diversas partes de nuestro globo, y de ahí nace otra gran mutabilidad de esfuerzos experimentados por esta y la otra masa terrestre, que son visibles cuando esas masas son líquidas, constituyendo el fenómeno de las mareas, y que, aun siendo invisibles, no por eso pierden su realidad cuando se trata de las partes sólidas de nuestro planeta.

Sea la que quiera la importancia de estos efectos, no podrá negarse que han de ser poco favorables para la estabilidad relativa de las diversas porciones de la superficie terrestre.

Si se llega más cerca de la Tierra en busca de los enemigos de la relativa quietud de su corteza y se considera la atmósfera que la rodea, se hallará en esta envoltura gaseosa más de una concausa de los movimientos parciales de la corteza terrestre.

Pesa esta atmósfera sobre toda la superficie de la Tierra, con una fuerza de compresión que normalmente equivale á la que sobre ella ejerciera una capa de mercurio de 760 milímetros de espesor, ó en otros términos, la presión normal sobre la superficie terrestre es de 10.330 kilogramos por cada metro cuadrado.

Varía en realidad el valor de esa compresión continuamente, midiéndose esa variabilidad por las oscilaciones de las columnas barométricas, y claro es que esa inconstancia en las presiones, que tampoco cambian de un modo general, sino que aumentan sobre unas superficies mientras disminuyen en otras, ha de producir deformaciones en el cuerpo que las experimenta.

Una idea de lo que esas oscilaciones barométricas suponen, desde el punto de vista mecánico, puede darla el hecho de que una variación de 10 milímetros en la columna barométrica implica un aumento ó disminución de presión, según sea el sentido de aquella variación, de 135.921 toneladas por cada kilómetro cuadrado.

A estos efectos, de indudable importancia, cuya acción puede admitirse, en general, que se ejerce según el sentido de los radios terrestres, agrega otros el aire en movimiento, que chocando, á veces furiosamente, contra la tierra firme, tiende á derribar cuanto de su superficie sobresale, ora en un sentido, ora en el opuesto, con esfuerzos de flexión tan variables en sentido como en intensidad, al mismo tiempo que contra las costas arroja tremendas masas de agua, á velocidades relativamente importantes, que originan choques violentos.

Los vientos huracanados llegan á producir presiones de más de 200 kilogramos por metro cuadrado sobre una superficie plana, de modo que á un triángulo de base horizontal de un kilómetro de longitud y de 500 metros de altura, colocado verticalmente, esos huracanes tenderían á abatirle con una fuerza de 50.000 toneladas nada menos. Es cierto que sobre una montaña de forma cónica y cuya sección recta vertical fuera el triángulo de que se ha hablado, el esfuerzo de flexión debido al huracán sería algo menor, aunque no mucho menos, porque en la realidad se compensaría algo el coeficiente de reducción debido á las convexidades presentadas al viento, con las concavidades y la vegetación, en las que el huracán se engolfaría, aumentando sus presiones; pero bastaría con que esas 50.000 toneladas se redujeran á 30.000 ó 40.000, y con tener en cuenta las intermitencias é irregularidades de los vendavales para poder explicarse que á ese fenómeno meteorológico han de deberse vibraciones y hasta dislocaciones de la superficie terrestre.

No es sólo ese el efecto del aire en movimiento, porque aliado con las variaciones térmicas de la atmósfera, se apodera de toneladas y toneladas de agua para transportarlas á veces muy lejos y descargarlas, frecuentemente con violenta furia, en forma de nieve, de granizo ó de agua sobre otras regiones de nuestro globo, alterando el reparto de los pesos que aquí y allá gravitan, aparte del efecto dinámico debido al choque de las masas acuosas contra las tierras sobre las que caen.

Esas variaciones de temperatura acumulan durante el frío grandes cantidades de hielo y nieves en las regiones polares, y cubren con blanca y espesa envoltura las cimas de las montañas, que luego el calor hace desaparecer, total ó parcialmente, produciendo grandes convulsiones en las zonas heladas, por el desprendimiento de inmensas moles de hielo, que viajan y á veces se funden del todo en los océa-

nos glaciales, y originando la fusión de las nieves corrientes y filtraciones de agua en la tierra, que se traducen en cambios de situación de las cargas que sobre la superficie terrestre gravitan y en otros fenómenos á que dan lugar esas corrientes y esas filtraciones.

Y ya que insensiblemente este examen ha descendido desde las causas de los terremotos de origen extratelúrico hasta ocuparse en las aguas que por la superficie terrestre corren, se indicará también que en ese trabajo contínuo, que tiende á producir cambios de situación relativa de unas y otras partes de esa superficie, no deja de contribuir poderosamente el agua, ya llene grandes espacios, constituyendo mares, ya se deslice por los arroyos y ríos más ó menos caudalosos, ó bien penetre hacia el interior de la tierra, constituyendo el abundante caudal de aguas subterráneas.

El eminente sismólogo Wiechert atribuye al oleaje ciertos movimientos sísmicos, y, aparte de esa opinión, no cabe negar que la intensa vida de los mares, que unas veces crea islas y otras las deshace con su tremendo y tenaz empuje, que mueve y cambia los continentes, contra los cuales golpea de continuo, que cambia con sus variables alturas las profundidades, que están sometidos los fondos y paredes de los mares, que esa vida, de tan evidentes manifestaciones, influye, con su perpetua agitación, en la estabilidad de la corteza terrestre.

Si el mar ataca y transforma islas y continentes obrando sobre la base de unas y otros, las aguas corrientes, por su parte, no permanecen inactivas y, aunque con esfuerzo de lentos resultados, contribuyen á perturbar la situación de equilibrio de la tantas veces citada corteza terrestre, degastándola, modificándola, y, sobre todo, transportando consigo, hacia los mares, considerables masas de substancias térreas.

Las aguas subterráneas también han de ejercer importante papel en los fenómenos sismológicos.

Como ejemplo que aclara esa influencia, cita el Sr. Agamennone lo que sucede en la cuenca del río Teverone, afluente del Tiber, que pasa por Tívoli, cerca de la cual población recibe las aguas llamadas *Acque Albule*, fuertemente sulfurosas; aparte de otros muchos manantiales, muy mineralizados, que no es del caso detallar.

Basta con consignar que ese manantial de *Acque Albule* arroja de las entrañas de la Tierra 98.928.432 metros cúbicos de agua por año, en los cuales van contenidas 257.016 toneladas de materia sólida, con un volumen de 95.191 metros cúbicos. Se comprende que este sutil y tenaz escavador y tantos otros de su índole, que tan abundantes son, llegarán á modificar en tales términos las tortuosas cañerías subterráneas, por la gran cantidad de materias sólidas que sustraen, que las paredes de ellas, faltas de la necesaria solidez, cederán, produciendo hundimientos y dislocaciones subterráneas, que se traducirán en movimientos superficiales.

No sólo las aguas subterráneas muy mineralizadas, sino las que lo estén en mínimo grado, han de originar trastornos en la constitución interna de la corteza terrestre, que pueden traducirse en movimientos de esta última, por el reblandecimiento que originen en capas de substancias apropiadas, tales como la arcilla, y por el acarreo que determine cambios de configuración de los cursos y depósitos de aguas subterráneas.

Aparte de esto, no puede negarse la acción química que las aguas filtradas, sobre todo las del mar, han de producir en las entrañas de la Tierra, originando reacciones químicas, con grandes desprendimientos de calor y formaciones de productos gaseosos, que han de coadyuvar á las faltas de estabilidad de que se trata.

Habrá de admitirse, por lo menos, sea la que quiera la opinión aceptada acerca de la constitución interna de nuestro planeta, la existencia de elevadísimas temperaturas en el interior, si no de toda la Tierra, de algunas partes de ella, ya que sobre este punto las erupciones volcánicas de materias   elevadísimas temperaturas, y las fuentes termales cortan todo género de discusión.

El agua y el calor, cuando la primera almacena la energía que el último representa, todos sabemos los efectos mecánicos   que pueden dar lugar, y desde luego bastará la vaporización de cantidades no muy grandes de aguas subterráneas para disponer en la corteza terrestre de una gran energía potencial, que fácilmente se convertirá en actual, rompiendo por sí sola las paredes de la capacidad que la aprisionen, aprovechando rápidamente cualquiera concausa que en favor suyo obre,   bien buscándose salida menos destructora, por los escapes que le ofrezca la falta de continuidad de la superficie terrestre.

El hombre, por su parte, tampoco deja de contribuir   modificar las condiciones de equilibrio del suelo que habita. Por mar y por tierra actualmente, y acaso el día de mañana por el aire también, transporta toneladas y toneladas de unos puntos   otros, extrae minerales de las entrañas de la Tierra, vuela y hace desaparecer montañas y arrecifes; deseca unos terrenos, riega otros; suprime bosques de una parte y los crea en otra, modificando las condiciones climatológicas y la denudación; tuerce los cursos de agua y los abre, con los canales, en donde antes no existían; perfora túneles, rellena barrancos, terraplena en un lado y desmonta en otros la tierra para dar paso á los caminos que construye; erige ciudades, con enormes pesos; modifica las costas, para aprovecharlas mejor; sujeta el empuje del mar y de los ríos con sus diques; se apodera del salto de agua que cae bravo, socavando su propio lecho, y transforma su energía mec -

nica en electricidad, que utiliza donde le conviene y, finalmente, enmienda en beneficio suyo la configuración geográfica poniendo en comunicación directa unos mares con otros.

Acaso parezca algo soberbio esto de asignar al hombre un papel, por modesto que sea, en las causas de los terremotos; pero, á poco que en ello se piense se comprenderá que esa supuesta participación no es hija, como lo son otras muchas creencias y afirmaciones, de la inmensa vanidad humana, que dicho sea de paso, está continuamente prostrada á la fuerza ante la grandeza de lo desconocido, cuyos confines, por una cruel paradoja, tanto más se ensanchan cuanto más estudia y sabe el hombre.

En apoyo de esa influencia bastará indicar que hay movimientos terrestres de muy cortos períodos, que se manifiestan, por ejemplo, en los excelentes sismógrafos de Wiechert y de Rebeur Ehlert, cuyo origen se atribuye á la actividad humana durante el día y á los trabajos industriales; y en otro orden de ideas, que, sin embargo, no deja de tener alguna conexión con esa influencia, también cabe señalar la modificación experimentada en el régimen de mareas del Mediterráneo después de la apertura del Canal de Suez, como prueba de cuanto es capaz el hombre de influir en el modo de ser de la Tierra.

La explotación de las minas produce también frecuentemente terremotos, que algunos designan con el nombre de pseudosismos, pretendiendo distinguirlos con este nombre de los que llaman sismos verdaderos, de origen natural y no artificial como aquéllos, que citamos solamente como irrefutable argumento de que no es desdeñable la influencia del hombre en los movimientos sísmicos.

Prescindo, á sabiendas, de otras causas de los terremotos, admitidas por algunos, y por ignorancia ú olvido, omitiré acaso indicar varios fenómenos que puedan contribuir á producir los sismológicos.

Entre esas causas, en las que no quiero ocuparme, bien por no serlo, á mi juicio, ó ya por no estar suficientemente demostrado que lo sean, figuran las mareas del núcleo incandescente, admitidas por Perrey y otros, y las mareas de las aguas subterráneas, á las que Honda quiere dar gran importancia; como tampoco he de detenerme en hacer resaltar la correlación que muchos creen existe entre los terremotos y las manchas solares, que ha sido objeto de un reciente y curioso estudio, desde el punto de vista sismológico, por parte del Sr. Oddone, ni en marcar la dependencia que otros dan por bien averiguada entre esos cataclismos, las perturbaciones de las corrientes telúricas, las auras boreales, las tempestades magnéticas, las estaciones del año y otros fenómenos, cuya coexistencia y relación con los sísmicos no están comprobadas.

Causa admiración ver cuánto y cuánto se ha escrito pretendiendo que los movimientos parciales de la superficie terrestre tienen por verdadero origen una sola causa. Las estadísticas, los cálculos y las discusiones que en busca de ese origen único se han sostenido y sostienen, representan enorme trabajo, que si no es del todo estéril, bien puede asegurarse, por lo menos, que hubiera producido más provechosos frutos para la ciencia aplicándole al estudio directo de los fenómenos sísmicos, que modernamente ha adquirido, por fortuna, tan grande y rápido desarrollo.

El autor de este discurso, modestamente, se atreve á creer que todas las causas antes apuntadas, y acaso algunas más, hoy desconocidas, concurren á producir los fenómenos sísmicos, sumando unas veces sus efectos, restándolos otras y combinándolos de mil modos diversos. Opina también que estas enmarañadas combinaciones pueden ser tales, que á veces, entre esas concausas, las menos importantes sean las que determinen los movimientos anormales llamados temblores de tierra ó terremotos; que, por lo tanto, las cau-

sas inmediatas de la presentación de estas perturbaciones, preparadas con el concurso de otras muchas para aparecer en un momento dado, son varias, y que todo cuanto cabe es proponer una clasificación de ellas, en la que podrá discutirse el orden que por su eficiencia han de tener, pero en la que todas deben figurar, sin dar á alguna de ellas papel, de tal modo preponderante, que á su lado deban desdeñarse por completo las demás.

La Tierra es un ser de organismo demasiado complejo y desconocido para que pueda admitirse esa sencillez en el origen de la inestabilidad de su superficie, y las causas de los terremotos son demasiado numerosas para que sea lícito clasificar esos fenómenos, atendiendo á su origen, en los tres grupos de terremotos volcánicos, tectónicos y de hundimientos del terreno, generalmente aceptados.

IV

(Nuevos instrumentos sismológicos)

Pensaba haber tratado en este trabajo, además de la utilidad de la Sismología y de la formación y constitución interna de la Tierra y de las causas de los terremotos, en que se ocupan las precedentes páginas, otros varios asuntos, que juzgo de importancia en la ciencia sismológica.

Entre ellos figuraba el estudio de las ondas sísmicas, en el que me proponía demostrar analíticamente lo erróneo de la mayor parte de los cálculos ya realizados para fijar su velocidad media de propagación, y figuraba también una descripción sumaria de los sistemas de instrumentos ideados para la observación y registro de los terremotos, y la exposición algo detallada de algunos sismógrafos por mí ideados.

Pero la más elemental cortesía, que impone el deber de no abusar de la paciencia de los demás, me obliga á prescindir en absoluto de todos esos asuntos, á excepción del último, al que además procuraré dar reducidas proporciones.

Tan pequeñas serán, que en vez de tratar de demostrar las ventajas de los nuevos instrumentos, por medio de la detallada descripción de ellos y de su crítica, sólo me limitaré á indicar vagamente en qué consisten, guiado principalmente por el deseo de que otras personas de mayores luces, imiten mi conducta y rompan con lo que pudiera llamarse tradición sismológica, en demanda de instrumentos basados en principios algo diferentes del seguido hasta ahora y del cual procuraré dar una ligera idea.

Los sismoscopios, sismómetros y sismógrafos ideados, son en gran número. El Dr. R. Ehlert ya estudiaba en 1897 más de 200 de esos aparatos, que después ha aumentado considerablemente, sin que haya habido quien se tome la molestia de completar el clásico trabajo de aquel eminente sismólogo.

Pero el hecho es que todos los instrumentos sismológicos usados se fundan en el mismo principio, llamado de la masa estacionaria, que es el primero y más natural que al espíritu se ofrece.

En efecto, como el problema que se desea resolver es medir directamente ó registrar la dirección é intensidad de los movimientos del terreno, natural es tratar de proporcionarse, en esos instantes en que todo tiembla, algo, de posición fija en el espacio, á que referir esos movimientos y la inercia de la materia, parece, á primera vista, que puede resolver el problema, y de hecho lo resolvería de perfecto modo si posible fuera aislar por completo del terreno una masa dada.

Las masas empleadas para conseguir ese objeto, sean lí-

quidas ó sólidas, preciso ha sido mantenerlas en el espacio uniéndolas al terreno, y aunque se ha buscado, por todos los medios, la manera de que ese enlace sea lo menos rígido posible, para que los terremotos no muevan con sus impulsos las referidas masas, lo cierto es que esa anhelada independencia ni ha podido conseguirse ni racional parece que se logre.

Los sismoscopios de mercurio, cuya invención primera se debe al francés De Hautefeuille (1703), exigen vasijas que contengan ese líquido y que unidas al terreno han de comunicarle sus movimientos.

Los sismoscopios, sismómetros y sismógrafos en que se suspende una masa, generalmente de hierro ó plomo, bien por su parte superior, constituyendo la numerosa familia de los péndulos verticales, ya por uno de sus costados, como se hace en la no menos numerosa de los péndulos horizontales, ó bien en vez de suspenderla se le proporciona el indispensable apoyo en su parte inferior, cual sucede en los sismoscopios de Cancani y Agamennone y en el sismógrafo de Wiechert; todos estos instrumentos, que realmente constituyen el material sismológico en uso, reciben del terreno impulsiones que les obligan á adquirir movimientos pendulares propios, que destruyen el principio de la masa estacionaria, produciendo desviaciones, con relación al terreno, funciones á un tiempo mismo del movimiento de la corteza terrestre y de las oscilaciones pendulares, constantemente iniciadas y perturbadas por el terremoto que se trata de medir.

Cierto es que como la inventiva del hombre no descansa y de continuo pretende vencer todo género de dificultades, se ha tratado de hacer desaparecer del todo esos movimientos pendulares por ingeniosas combinaciones, como la de Oddone y la del doble péndulo de Ewing-Milne; pero el buen éxito no coronó los esfuerzos de esos sabios, y hubo de re-

currirse, ya que no á suprimir el mal, á disminuirlo en lo posible, aplicándose con tal propósito los llamados amortiguadores.

Desde luego el principio en que esos amortiguadores se fundan es intachable cuando se trata de péndulos que se muevan sin recibir impulsiones sus centros de oscilación y estando aquellos accesorios fijos en el espacio, porque si un péndulo ha de ir gastando la energía, que representa su máxima altura de caída desde cada posición extrema á la central, no sólo en los rozamientos de los apoyos y en vencer la resistencia del aire, sino también en comprimir ó distender el aire contenido en un amortiguador, ó en hacer que un apéndice adecuado oscile dentro de un líquido, por sí inmóvil, natural es que á estos considerables sumandos de la energía restada al péndulo, corresponda un rápido amortiguamiento de las oscilaciones de este último.

Pero, la cuestión se complica cuando el centro ó eje de oscilación del péndulo se mueve y el amortiguador también, como en los terremotos sucede, toda vez que el efecto de esos accesorios depende del movimiento relativo de ellos respecto de las piezas de amortiguamiento, al péndulo unidas, pudiendo darse el caso de que en vez de disminuir la amplitud de las oscilaciones pendulares resulten aumentadas, convirtiéndose los amortiguadores en avivadores, por así decir.

En efecto, si se supone un péndulo en reposo, provisto, por ejemplo, de un amortiguador de líquido, y que el terreno, en el que están fijos el eje de oscilación y la caja del amortiguador, se mueve en sentido normal á ese eje, el cambio de posición de este último entraña el movimiento inicial del péndulo en el mismo sentido, y, por si esto fuera poco, la pieza de amortiguamiento introducida en el líquido, al moverse la caja que lo contiene en aquella misma dirección, será empujada también en este sentido, sumándose el

efecto del choque del eje con el del empuje del líquido, que contribuye á avivar la oscilación inicial.

La acción de los amortiguadores depende, como ya se ha indicado, del movimiento relativo del péndulo, respecto al fluido amortiguador, así es que disminuirá la amplitud de las oscilaciones desde luego cuando ambos movimientos sean en sentido contrario, ó, aun cuando sin serlo, se mueva el péndulo con más velocidad que el fluido; pero, por lo contrario, esas oscilaciones aumentarán de amplitud siempre que el fluido se mueva en la misma dirección y con más velocidad que el péndulo.

Lo que sí puede asegurarse es que á los impulsos del eje de oscilación en uno ú otro sentido, acompañará el movimiento del amortiguador, siendo prácticamente iguales, en magnitud y dirección, las traslaciones de este último y de aquel eje.

Cuando no solamente oscila un péndulo, sino también su eje, como en los terremotos acontece, es tarea difícil la de deducir del movimiento resultante el del terreno.

En pocas palabras, la influencia de las oscilaciones del terreno sobre las del péndulo, no depende tan sólo de la relación de los períodos de ambos movimientos, sino del retraso más ó menos grande entre las fases de ambos, así es que resulta complejísimo deducir cuáles fueron aquellos movimientos del terreno por el estudio de los sismogramas, resultantes finales de las variadas combinaciones de las oscilaciones del eje, con las propias del péndulo, con las vibraciones de este aparato y de los mecanismos inscriptores, por efecto de las sacudidas, y con los movimientos propios de las bandas de los sismogramas, no sólo en su sentido longitudinal, por la necesaria oscilación de los aparatos de relojería, sino en el transversal, como consecuencia de las oscilaciones terrestres.

Aumentar estas complicaciones con la introducción de

accesorios, como los amortiguadores, que, como ya se ha visto, pueden resultar avivadores en determinadas condiciones, no parece prudente, y menos aún si se invoca para su empleo el principio de la masa estacionaria, toda vez que, como ya se explicó, en vez de ayudar á la inercia, cuando el péndulo se halla en reposo, contribuye á mover la masa pendular.

Si de obtener esa ayuda se tratara, lo natural sería colocar los amortiguadores, no del mismo lado que la masa pendular, con relación al eje de giro, sino al opuesto, porque de este modo el impulso que comunicara el terreno al péndulo, en un sentido estaría amortiguado en parte por la resistencia del fluido empleado en aquellos accesorios.

Es dudoso, además, que el coeficiente de amortiguamiento, deducido de la medición de lo que disminuye una oscilación moviendo el péndulo y estando fijo el amortiguador, conserve el mismo valor cuando las circunstancias cambian y ambos oscilen, porque las resistencias de los fluidos varían próximamente como los cuadrados de las velocidades, y los trabajos absorbidos como los cubos de estas últimas; así es que las variaciones de las velocidades relativas de las piezas de amortiguamiento, respecto del fluido resistente, parece que deben ejercer influencia en la variabilidad del coeficiente en cuestión.

Por otra parte, no debe perderse de vista que si la resistencia opuesta por el fluido de los amortiguadores es muy grande, los perjuicios producidos en el trazado de los sismogramas serán de gran importancia. Para darse cuenta de ello, supóngase, por ejemplo, un péndulo vertical, y á su masa provista de un apéndice sumergido en un líquido, cuya densidad se hace variar; si el líquido es muy denso, la masa, que debiera ser estacionaria, recibirá empujes de gran esfuerzo para hacerle seguir las oscilaciones del terreno, y si esa resistencia del fluido se elevara al límite, suponiéndole

solidificado, la masa acompañaría en absoluto al terreno en sus movimientos, y entonces, como ella, su eje de oscilación, el del giro del aparato de amplificación y la misma banda se trasladarían paralelamente á uno y otro lado de su posición neutra, en el trazado se obtendría solamente una línea recta, como representación del terremoto, por grande que este último fuera.

En virtud de todo lo expuesto, parece que el empleo de los amortiguadores no es de recomendar, y que remedian dudosamente un defecto á expensas de introducir con certeza otros, y de aumentar, de modo indudable, la complejidad de un problema, de suyo muy difícil.

Demostrada, como está, teórica y prácticamente, la imposibilidad de conseguir que una masa quede fija en el espacio, cabe preguntar si no sería cuerdo abandonar el principio en que se basan los actuales instrumentos sismológicos y emprender otros derroteros, tratando de sacar partido de la inercia de la materia en movimiento, ya que no es factible utilizar de irreprochable modo su reposo.

Posible es que en ese sentido se hayan hecho tentativas ó al menos se hayan formulado algunas ideas; pero el autor sólo conoce la proposición de fotografiar estrellas, que por las variaciones de las trayectorías en la placa dieran á conocer el movimiento de esta última, solución desde luego poco práctica, entre otras razones, porque no se obtendría ningún sismograma en tiempo nublado, y la de Alippi, de aprovechar las propiedades del giroscopio, tampoco realizada y de dudosa eficacia, al parecer, toda vez que es de temer que el eje de giro no conserve la requerida fijeza, solicitado por las bruscas y alternativas impulsiones de los terremotos.

Como prueba, no más, de que ese nuevo derrotero puede ser fecundo en resultados, y para animar á que le sigan personas de mayor inteligencia y saber que el autor de este

escrito, se exponen las cinco soluciones que siguen: la primera, como aplicación del péndulo cónico á los estudios sismológicos; la segunda, que utiliza la caída de los graves; la tercera, que registra el movimiento de una masa arrastrada en uno y otro sentido por las oscilaciones terrestres; la cuarta, que se funda en medir en cada instante las fuerzas que actúan sobre una masa conocida y la situación de ella con relación al terreno, para deducir cuál es el movimiento de este último; y la quinta, que aprovecha precisamente los defectos de los péndulos, como instrumentos sismológicos, para determinar los períodos y las duraciones de las fases de los terremotos, utilizando los conocidos efectos de resonancia.

Consiste la primera solución en ocho péndulos cónicos, montados sobre un mismo eje vertical; número de péndulos que si á primera vista parece crecido no lo es tanto si se tiene en cuenta que el mismo aparato daría, como después se verá, no sólo las componentes de los movimientos horizontales en dos direcciones, sino también la de los verticales.

De esos ocho péndulos cónicos, cuatro, montados en la parte superior del eje común, son como los ordinarios: con el eje de suspensión de sus masas por encima de estas últimas, y los otro cuatro, cuyos puntos de apoyo están en la parte inferior del eje común, están invertidos: con la masa más alta que el eje y á éste tienden á aproximarla resortes que han de contrarrestar los efectos de la gravedad y de la fuerza centrífuga, consintiendo sólo determinadas separaciones angulares entre el eje de giro y las varillas de los péndulos.

Los cuatro péndulos superiores están montados en cruz, determinando cada uno con el opuesto un plano, que contiene al eje de giro, según el cual se cortan normalmente los dos planos en que se hallan repartidos aquellos cuatro

péndulos, y en estos mismos planos se encuentran también, por construcción, los cuatro péndulos invertidos.

Al conjunto puede dársele un movimiento más ó menos rápido de rotación, por medio de un motorcillo eléctrico, que, con los cuatro péndulos, podría estar encerrado en una campana de cristal, en la que el aire se hubiera enrarecido, si preciso fuera.

Habría de registrarse las desviaciones de los péndulos al pasar, en su giro, por dos posiciones situadas entre sí á 90° , N. S. y E. W., por ejemplo, y esto podría conseguirse por medio de espejos unidos á los péndulos, que, al pasar por esas posiciones, reflejaran una luz hacia una cámara de registro fotográfico.

Cualquier movimiento que ese sismógrafo recibiera puede descomponerse en tres: según el eje de giro y según las dos direcciones horizontales de que se ha hablado, á las que corresponde el registro fotográfico, y cada una de esas tres componentes rectangulares resultaría conocida en dirección y magnitud.

En efecto, la elevación del eje de giro por un impulso del terreno traería como consecuencia mayor separación angular de los cuatro péndulos invertidos, al paso que, por lo contrario, los cuatro superiores se separarían menos del eje, é inversamente, un movimiento hacia abajo de este último produciría menor separación que la normal de los péndulos invertidos y mayor de los superiores.

Si al estar girando el sismógrafo recibe su eje un choque horizontal, en el sentido de uno de los dos planos diametrales que contienen los ocho péndulos, cuatro de ellos, situados en el plano normal á la dirección del impulso, apenas se moverán, si el choque es muy rápido, y de los otros cuatro se alejarán del eje el superior y el invertido, que, mirando en la dirección del impulso, se hallan antes que el eje y se acercarán los otros dos.

Claro es que, en el caso más general de que el movimiento horizontal del eje se efectúe fuera de esos dos planos de los péndulos, podrá descomponerse en dos, según ellos, y que entonces se alejarán del eje dos péndulos superiores y sus correspondientes invertidos, y se aproximarán los otros cuatro.

Teóricamente, parece que ese sismógrafo proporcionaría un análisis completo y minucioso de los movimientos del eje, porque la velocidad de rotación pudiera ser suficiente, con relación á la del papel fotográfico, para que el espejo de cada péndulo proporcionara en él una línea continua y el cotejo de las diez y seis obtenidas, ocho en cada banda, marcaría todas las fases de aquellos movimientos, sin que á ello fueran obstáculo las posibles variaciones de la velocidad del motor, ya que un aumento de ella produce el de la desviación angular de los ocho péndulos á la vez, y que varían en sentido contrario todas estas ocho desviaciones cuando la velocidad disminuye.

Los gastos que este sismógrafo ocasionaría no excederían seguramente mucho de los producidos por otros de registro fotográfico; pero esos péndulos de masas móviles estarían sujetos á perturbaciones propias, análogas á las de los péndulos sismográficos en uso, y desde este punto de vista la superioridad acaso no resultara, aunque siempre quede la de poder analizar, con un sismógrafo solo, el movimiento del terreno en todos sentidos.

La segunda solución, que á continuación se describirá, está exenta, en absoluto, de las temibles oscilaciones pendulares; parece irreprochable desde el punto de vista teórico; pero, desde el práctico ofrece los inconvenientes de ser delicada y cara, aunque este último defecto pudiera atenuarse mucho haciendo que el sismógrafo sólo funcionara automáticamente cuando hubiera terremotos.

Esta solución la proporcionarán los adelantos portentoso-

esos que la fotografía ha realizado y exige, como parte esencial, cámaras cinematográficas de impresionar, algo modificadas, por la gran fijeza que han de tener para esta aplicación especial.

Supóngase en el campo de una de esas cámaras un gran lienzo blanco, vertical, dividido en cuadrículas de medio centímetro de lado, por ejemplo, y suficientemente alejado para que en la película fotográfica resulte cada uno de esos cuadrados con medio milímetro de lado.

Si entre el lienzo y la máquina se coloca suspendida una esferilla, que conviene sea negra, mientras esté fija las fotografías que se vaya obteniendo, aparecerán con la imagen de ella, correspondiendo á la misma ó á las mismas cuadrículas del lienzo; pero, si se la deja caer, aquellas fotografías podrán verificar, por los espacios recorridos, las leyes de la caída de los graves, y si la esferilla se halla suficientemente cerca del objetivo y el lienzo muy alejado, claro es que á movimientos muy pequeños de ella corresponderán caminos recorridos muy grandes sobre el lienzo, que podrán estimarse en las fotografías.

Y si en vez de esa esferilla se supone que en el campo de la máquina hay un sencillo aparato que automáticamente dispare, vertical ú oblicuamente, una esferilla tras otra, entonces en la película fotográfica y en la cuadrícula que en ella resulte podría seguirse, paso á paso, bien las dos trayectorias verticales que por el mismo camino recorriera cada proyectil, ó ya la parábola, más ó menos cerrada, que en el espacio describiera, sujetas unas y otra á las leyes de todos conocidas.

Así sucederá todo, con estricta sujeción á esas leyes, si la máquina y el lienzo están fijos; pero, no en el momento en que un terremoto les haga oscilar, porque entonces, si bien seguirán las esferillas moviéndose en el espacio con arreglo á aquellas leyes, sus imágenes no las obedecerán en

la película, que denotará irregularidades, cuya medida, fácil de obtener por la cuadrícula, es medida también del movimiento terrestre.

Si, con relación al lienzo, las esferillas en cuestión se hallan, como ya se ha indicado, muy cerca del objetivo, á pequeños movimientos de este último y de aquel telón, claro es que corresponderán otros muy grandes de la proyección de las esferillas sobre la cuadrícula, de modo que la ampliación de los movimientos terrestres puede obtenerse fácil y seguramente.

Para darse cuenta de ello, basta pensar que se trata de los movimientos de las esferillas con relación al sistema que forman la cámara, el lienzo cuadriculado y el terreno, en que uno y otra están fijos; sistema que por su pequeñez, con relación á las ondas terrestres, puede suponerse que se mueve todo él paralelamente á sí mismo, durante los terremotos, en éste ó el otro sentido, resultando en consecuencia lo mismo si, en vez de moverse el terreno, se supone que sean las esferillas las que oscilen, aunque en opuesta dirección que este último.

Los cambios de posición de las imágenes de las esferillas sobre la cuadrícula, subiendo ó bajando más ó menos rápidamente de lo que debieran, ó bien moviéndose hacia la derecha ó la izquierda, se acusarán desde luego perfectamente; pero, los que aquéllas efectúen, no ya moviéndose en un plano paralelo al del lienzo, sino normalmente á él: acercándose al objetivo ó alejándose de él, aunque desde luego podrían estimarse por la ampliación ó disminución que la imagen de las esferillas tuviera, apreciable en cada fotografía por el número de cuadrículas que en todo ó parte cubriera, no parece, sin embargo, que podrían medirse con gran facilidad y precisión.

Un sencillo cálculo demuestra, en efecto, la necesidad de disponer á 90° dos cámaras fotográficas, con sus correspon-

dientes cuadrículas, para obtener todas las componentes del movimiento sísmico claramente representadas.

Como particularidad notable de esa disposición, debe observarse que las componentes del movimiento terrestre en sentido vertical, hoy tan mal medidas por los sismógrafos, serían las que mejor lo estuvieran con el nuevo instrumento que se propone, no sólo por aparecer á la vez en ambas películas, sino también porque debiendo combinarse la caída de las esferillas de modo tal que antes de concluirse la parábola de la una ya esté comenzando la de la siguiente, en cada película, sea el que quiera el sentido del movimiento vertical sísmico, resultará sumándose al de uno de los proyectiles y restándose del que tiene el otro.

En rigor, basta con uno de esos minúsculos é inofensivos proyectiles; mejor es que haya dos siempre en el campo de las cámaras, en las condiciones ya expuestas, y nada impide aumentar su número, mientras este aumento no introduzca confusiones en las fotografías, haciendo para evitarlas que en una misma película aparezcan, por ejemplo, un par de trayectorias, horizontales en lo posible, cuyas imágenes resultarían muy deformadas por los movimientos verticales; otras dos verticales, las imágenes de las cuales tan bruscamente torcerían los movimientos horizontales y una ó dos parejas marcadamente parabólicas.

La importancia que tendría esta acumulación de datos sobre cada movimiento parcial sísmico, para el estudio preciso de los terremotos, es de sobra notoria y daría á las observaciones un peso y una precisión de que carecen las actuales, en que cada sismógrafo proporciona un solo valor para cada oscilación terrestre, cuya bondad no puede cotejarse ni mejorarse, en rigor, por su combinación con otras mediciones de la misma cantidad, hechas en idénticas condiciones.

El arrojar automáticamente y de acompasada manera

esos proyectiles por el aire, no es empresa que por su dificultad pueda hacer sospechar que flaqueara la solución propuesta. Los problemas que al resolver tal asunto pueden presentarse, son de una balística que pudiera llamarse minúscula, en todos sentidos.

La construcción del arma, por así decir, que hubiera de emplearse, no presentaría grandes inconvenientes si se recurría al aire comprimido ó á la fuerza centrífuga, para dotar á los proyectiles de su necesaria velocidad inicial, y en obsequio á la brevedad suprimo un par de soluciones: una de ellas para utilizar aquella fuerza, y la otra para emplear el aire comprimido.

Desde luego se ocurre que los disparos verticales no darían el resultado apetecido, ya que al caer un proyectil tropezaría con el que después de él se disparara, y á primera vista parece que debe renunciarse á obtener en las fotografías trayectorias que, siendo rectilíneas en épocas normales, en las de terremotos habrían de acusar mejor, por sus deformaciones, los movimientos horizontales del terreno.

Pero, á poco que se reflexione, se cae en la cuenta de que es fácil empresa la de obtener esas trayectorias verticales y rectilíneas, toda vez que, por abierta que fuera la parábola descrita por un proyectil, sería suficiente que su plano fuera normal al de la placa fotográfica para obtener en esta última la deseada línea recta.

Y esta solución tiene una gran ventaja, porque al moverse el terreno, en sentido horizontal y perpendicular al plano de la parábola, aparecerían desdobladas en la fotografía las dos ramas de ella, que en una vertical se confundían cuando aquel movimiento no se realizaba.

La colocación de dos aparatos de disparar, con sus planos de tiro paralelos á una de las cuadrículas, á distancia distinta de la cámara y á la misma del plano vertical me-

dio y cada uno á diferente lado de este último, produciría en la placa de aquella cámara dos parábolas, casi simétricas y simétricamente engendradas, si se hacía que los disparos fueran simultáneos, y esas mismas parábolas producirían normalmente dos líneas rectas, bien separadas, en la otra cámara, establecida á 90° con la primera.

Otros dos aparatos, análogamente colocados en la segunda cámara, darían trayectorias parabólicas en ella y rectilíneas en la primera y de esta suerte, en cada placa fotográfica, constarían dos trayectorias parabólicas casi simétricas y dos rectas verticales, con las cuales no habría dudas posibles en el estudio de los movimientos terrestres.

Las trayectorias obtenidas fotográficamente, si no han experimentado deformaciones grandes, y más que importantes continuamente producidas, llevan en sí mismas elementos bastantes para la determinación del tiempo que, combinada con los espacios anormalmente recorridos que en las fotografías aparezcan, ha de contribuir al completo estudio del terremoto; pero, ante la contingencia de que el tiempo no resulte suficientemente medido por las trayectorias, parece que no está de sobra indicar algún medio de estimarlo, independiente de estas últimas.

La fotografía se presta admirablemente para conseguir ese fin y son muchas las disposiciones que pudieran idearse para evaluar el tiempo empleado en cada exposición y la hora precisa en que se efectuó.

Con establecer la muestra de un buen reloj de medios segundos, de estado y movimiento conocidos, en el campo fotográfico de la cámara, cada fotografía llevaría en sí misma la hora, minuto y medios segundos en que se obtuvo, ya que en la aplicación de que se trata cada exposición durará aproximadamente desde poco menos de medio segundo á uno ó algo más, según sea la combinación de cámaras, cuadrículas y distancias aceptada.

La fotografía del horario y la del minuterio, perfectamente definidas, en tan corto espacio de tiempo, darán inmediatamente la hora y el minuto. Las imágenes obtenidas de la aguja de los medios segundos fijarán más la hora y hasta permitirán apreciar el tiempo de exposición; pero con errores máximos, temibles, inaceptables.

En efecto, puede durar la exposición, por ejemplo, casi medio segundo y dar la casualidad de que al comenzarla haya acabado de saltar la aguja de los medios segundos y que ésta no vuelva á dar el siguiente salto hasta después de acabar la exposición, y aunque se recurriera al expediente de suponer que la posición de la aguja fotografiada correspondiera al instante medio de la exposición, el comienzo y fin de ésta resultaría afectado de un error, que podría valer muy cerca de un cuarto de segundo, y respecto de la duración todo cuanto se sabría, con certeza, es que no llegaba á valer medio segundo.

Se impone, por lo tanto, la necesidad de evaluar el tiempo con precisión mucho mayor.

Sin recurrir al empleo de diapasones eléctricos, ni á otras disposiciones análogas, que sobre las mismas placas ó sobre aparatos auxiliares fraccionaran convenientemente el medio segundo, la fotografía, que imprescindiblemente ha de usarse, puede proporcionar la apetecida precisión, si se recurre á alguna de las muchas variantes que cabe introducir en un nuevo sistema de cronógrafos fotográficos, del que daré ligerísima idea.

Consiste esencialmente el tal sistema en dos discos giratorios verticales, cuya imagen de frente se obtiene en la placa fotográfica; discos fuertemente iluminados por detrás y de los cuales, el anterior tiene una ó más aberturas y el posterior una ó varias líneas vaciadas ó puntos, que al girar, uno ó los dos discos, vengán á coincidir con aquellas aberturas, para impresionar periódica ó continuamente la placa

fotográfica, en la que dejarán fraccionado el medio segundo todo cuanto haga falta.

Notorio es que para el conocimiento y estudio de lo anormal conviene prepararse con el estudio y conocimiento de cuanto á la normalidad, dentro del mismo asunto, se refiera, y en tal concepto, antes de emprender el examen de las trayectorias fotográficas, deformadas por los terremotos, debe obtenerse una buena colección, fácil de conseguir, de trayectorias correspondientes á ángulos de tiro variables, cuando esos fenómenos sísmicos no existen.

De ese modo se obtendrá, con gran facilidad, una numerosa colección de fotografías normales de trayectorias, que en la mayor parte de los casos, y sin necesidad de efectuar cálculos, simplificarán el estudio de las fotografías de los sismógramas, por el examen que simultáneamente se haga de ellos y de las trayectorias normales á que correspondan, yuxtaponiendo unas placas á otras.

El examen de las fotografías y las mediciones á que den lugar, se harán, sin grandes molestias ni dificultades, iluminando los clisés ó sus pruebas por transparencia y auxiliándose de un usual microscopio de tornillo micrométrico, dispuesto sobre un bastidor apropiado, que le permita moverse en dos sentidos normales, con objeto de apreciar las dimensiones de las ordenadas, abscisas y tiempos, correspondientes á los puntos de las parábolas deformadas.

Además, no hay inconveniente en proyectar los clisés ó pruebas de ellos, amplificándolos cuanto se pueda, sobre un lienzo, en el que fácil será medir, aun con escalas usuales ó con cualquier otro aparato de medir longitudes, por poca precisión que tenga, las dimensiones lineales, en sentido horizontal y vertical, que necesarias sean. Claro es que en este sistema de medir las ampliaciones no se podrán usar las negativas, si se obtuvieron sobre celuloide, por quemarse rápidamente esta substancia al calor del arco eléctrico uti-

lizado, y que en tal caso se impone la necesidad de emplear pruebas obtenidas sobre cristal ú otra materia semejante.

La solución descrita tiene, aparte de otras muchas ventajas, una especial, de que carecen en absoluto todas las demás hasta ahora aceptadas para resolver el abstruso problema de representar los terremotos. Con ella, en efecto, si la impresión fotográfica se obtiene en una película fotográfica, es factible reproducir, por decirlo así, el fenómeno que desee estudiarse, sin más trabajo que utilizar aquella película en un cinematógrafo ordinario.

No debe olvidarse, al observar tales vistas cinematográficas, que los movimientos anormales de las esferas indican los que en sentido contrario tuvo el terreno; en realidad, por lo tanto, al desordenado movimiento de esos cuerpos al subir por el aire ó al caer, habrá que ponerle con la imaginación el signo menos; pero, en cambio, es cierto que los efectos del terremoto aparecerán ante la vista cuantas veces se desee y con la misma velocidad que se produjeron ó con otras menores, hasta formarse cabal idea de sus más extrañas particularidades, y que la percepción del fenómeno será completa, como lo es, por ejemplo, la del movimiento relativo de dos trenes para el viajero que se halla en el que permanece inmóvil, y necesita fijarse mucho para no creer que es el suyo el que se mueve.

En teoría, este *sismógrafo fotográfico* parece ofrecer superioridad grande sobre los instrumentos hoy usados con igual fin: el emanciparse por completo de los movimientos pendulares; la multiplicidad de datos acerca de cada movimiento; la precisión con que el tiempo y los espacios recorridos pueden medirse; la fidelidad y profusión con que se reproducen los movimientos sísmicos verticales, actualmente tan mal registrados y conocidos; la sencillez con que cabe obtener copias de los sismogramas, y hasta la misma facilidad de reproducir ante la vista los efectos de los te-

rremotos, son, en efecto, pruebas de esa superioridad; pero, por desgracia, los gastos del establecimiento de tales aparatos, y, más aun, el desembolso que exige su entretenimiento, hacen temer que se demore su instalación más de lo que fuere de desear.

Sobre todo, si ese sismógrafo hubiera de estar funcionando continuamente, en acecho del terremoto que pudiera presentarse, los gastos de las películas ó placas fotográficas serían ruinosos.

Sin hacer desaparecer en absoluto ese defecto de carestía, puede atenuarle el recurrir á un expediente análogo, en su esencia, al empleado por el Sr. Agamennone en sus sismógrafos de dos velocidades, cuyas bandas marchan de ordinario relativamente despacio y adquieren, de un modo automático, gran velocidad en los primeros instantes de presentarse un terremoto, por obra y gracia de un mecanismo electro-mecánico, cuya corriente cierra el juego de un sismoscopio, al ser agitado por las primeras ondas terrestres.

Con resignarse á perder las fotografías de los primeros instantes de un terremoto, todo quedaría reducido á que la corriente eléctrica, que un sismoscopio muy sensible cerrase, disparara, por así decir, con la simultaneidad de que la electricidad es capaz, la iluminación eléctrica de las cuadrículas y cronógrafos, el mecanismo de los aparatos de tiro y el de la cámara fotográfica; tareas todas ellas de sencilla realización, que reducirían los temibles gastos de entretenimiento á lo estrictamente necesario.

La tercera solución, que se propone, en vez de fundarse en la masa estacionaria, y de tratar, por lo tanto, de que un cuerpo permanezca inmóvil en el espacio cuando el terreno se mueva, se inspira, por lo contrario, en imprimir á una masa casi idénticos movimientos que las componentes del movimiento sísmico, para aprovechar su inercia en el registro de los terremotos.

Esa masa, que conviene sea muy grande, tal como la correspondiente á 1.000 ó más kilogramos, ya usada en otros sismógrafos, puede ser la de un péndulo vertical, horizontal ó invertido, y para fijar las ideas, se supondrá que consiste en un cubo, de cuatro caras verticales, destinado á registrar los movimientos en sentido del meridiano.

En tal caso, si se orientan dos de esas caras verticales en ese mismo sentido N-S, las otras dos, que resultan normales á esa dirección, en que ha de efectuarse el registro, deberán estar provistas de placas de carbón, eléctricamente aisladas de la masa del péndulo.

Contra cada una de esas placas de carbón se apoyará un trozo de esta misma substancia, invariablemente unido al terreno, y así, al agitarse este último, en sentido del meridiano, obligará á la masa á acompañarle en su movimiento, sin más variaciones que las producidas por los cambios de presión de esas piezas de carbón y por las inapreciables flexiones de los apoyos.

De todos modos, el hecho será que la agitación del terreno en sentido N. S. y S. N. se traducirá en cambios de presión entre cada placa de carbón y su pieza correspondiente de la misma substancia.

Para examinar los efectos de esos cambios de presión será suficiente observar lo que debe ocurrir en uno de esos dos pares de trozos de carbón, por ejemplo, en el situado en la cara S. de la masa, al moverse esta última de N. á S. y viceversa, teniendo presente que en esa clase de movimientos oscilatorios, al invertirse su sentido en los extremos de la oscilación, las velocidades son nulas por tener que cambiar de signo.

La masa del sismógrafo que se estudia ha de acompañar al terreno en esas oscilaciones, salvo los pequeños desacuerdos consentidos por la elasticidad de los carbones y de los apoyos que la aprisionan, como ya se ha indicado, y

tendrá, por lo tanto, velocidades nulas y aceleraciones positivas y negativas.

Si desde el punto de vista eléctrico, uno de esos carbones y la placa de la misma substancia, sobre la que se apoya, están aislados de la Tierra y forman parte de un circuito eléctrico, las aceleraciones del terreno se traducirán en cambios de presión, estos últimos en modificaciones de la resistencia eléctrica, y los crecimientos y disminuciones de esta resistencia en decrecimientos y aumentos de la corriente que circule.

El movimiento sísmico queda ligado, por consecuencia, al de la intensidad de la corriente, y el registro de esta última será, en cierto modo, una representación de aquél.

La placa de la cara N. de la masa, con su correspondiente carbón de apoyo, suministraría, de análogo modo, variaciones de corriente en otro circuito diferente; pero, la ventaja de obtener una doble medida, con la disposición descrita, puede y debe abandonarse, por las que propocionaría combinar las dos corrientes de los dos carbones S. y N., que, felizmente, varían en sentido contrario.

Para ello sería suficiente establecer cada carbón en una derivación de la misma corriente y, antes que se unan ambas derivaciones en un conductor común, para ir á buscar el otro polo de la batería de acumuladores, instalar en ellas un galvanómetro diferencial, que acuse las diferencias de las variaciones de ambas corrientes, convertidas en sumas por ser de signos contrarios, y de ese modo la duplicidad de las observaciones se habrá trocado por un considerable aumento de los efectos eléctricos, aparte de otras ventajas de compensación cuyo cálculo se omite.

El instrumento empleado para transformar las variaciones del sismógrafo puede ser un galvanómetro diferencial, como ya se indicó; pero así como los observatorios magnéticos suelen convertirse, á pesar suyo, en estaciones sismológicas.

cas, cuando sus delicados aparatos experimentan los efectos de los terremotos, asimismo los sismógrafos descriptos, de galvanómetro diferencial, correrían el peligro de señalar tempestades magnéticas, ó de indicar cambios normales de la declinación de la aguja imanada, que hicieran creer, al pronto, por lo menos, en imaginarios terremotos ó que perturbaran los trazados que les correspondían. Por tal motivo, será preferible el empleo de galvanómetros astáticos, convenientemente acondicionados, y dicho se está que como poco se hubiera conseguido al huir de los movimientos pendulares en el sismógrafo, si se dejaba al espejo del galvanómetro con sus peculiares oscilaciones habrá que elegir este instrumento entre los aperiódicos.

No es tarea imposible, ni siquiera difícil, sustituir el galvanómetro por otros aparatos, bien de los conocidos ó ya de otros que pudieran idearse, cuya finalidad se reduce á aprovechar las variaciones de dos corrientes en sentido contrario, para producir el movimiento de un espejo en el cual se refleje el rayo luminoso que ha de fotografiarse.

Con agujas imanadas ó con carretes, estos últimos utilizados según el principio en que se informan los electrodinamómetros, se puede establecer combinaciones más ó menos nuevas; también sería fácil emplear electro-ímanes é ímanes artificiales, pero no del modo que usualmente se sigue, sino adoptando un principio radicalmente opuesto, que en gran número de mediciones eléctricas es susceptible de proporcionar excelentes resultados.

El registro óptico, desde el punto de vista de la precisión, es preferible; pero no es el único que pudiera emplearse en el sismógrafo explicado, al cual no es difícil aplicar otros, cuya descripción se suprime en obsequio á la brevedad.

Con el sismógrafo fotográfico podía *verse*, como ya se hizo notar, un terremoto; con este último sismógrafo eléctri-

co, podría *oirse*, sin más que hacer pasar su variable corriente por los auriculares de un teléfono; pero, desgraciadamente, si bien aquel primer sismógrafo permite reproducir la vista del fenómeno cuantas veces se desee, el último sólo consentiría oír el terremoto mientras se produjera, hasta que no se idee registrar, de eficaz modo, las vibraciones eléctricas ó las mecánicas de las placas de los fonógrafos, en cilindros ó placas fonográficas.

Ya que los sismogramas obtenidos acusan en rigor no más que las variaciones de intensidades de las corrientes, sería necesario conocer las relaciones que ligan esas variaciones con las experimentadas por las velocidades con que el terreno se mueve.

Esas relaciones no parece difícil obtenerlas por un procedimiento empírico, basado en el método de sustitución.

Para dar forma á ese método, habría que disponer los carbones del sismógrafo en un marco que, á voluntad, por medio de fuertes tornillos, pudiera quedar unido al terreno, de cuyos movimientos participaría para obtener los sismogramas, ó independiente de él, cuando se tratara de conseguir las referidas relaciones entre la agitación sísmica y la eléctrica.

Desprendido del terreno el marco que aprisiona la masa es tarea sencilla imprimirle, en uno y otro sentido, movimientos de diversas aceleraciones, cuyo registro eléctrico se conocerá.

Puede darse al marco movimientos uniformemente acelerados y retardados bien definidos, por medio de cualquiera de las varias combinaciones cinemáticas que fácilmente se imaginan y, partiendo de los valores conocidos *á priori*, de esas aceleraciones, observar las variaciones de intensidades eléctricas que les corresponden; pero, acaso sea más sencillo, y no menos preciso, imprimir á mano movimientos al marco, y registrarlos, haciendo que sea simultáneo el

trazado cronográfico de esos diagramas y de los que se obtengan por efecto de las corrientes, con objeto de establecer cómodamente la necesaria relación.

Desde luego, en estas mediciones, el registro óptico, por su mayor precisión y por la facilidad con que se puede amplificar la escala de los trazados, sería preferible y toda vez que ya el sismógrafo había de contar con un aparato para el registro fotográfico, fácil sería acondicionarle para fotografiar simultáneamente, sobre la misma banda, las variaciones de las corrientes y los movimientos del marco que las habían originado, cuando se tratara de determinar las constantes del sismógrafo, sin que perjudicara en nada esta aplicación á la ordinaria, en que se impresionaría una banda más estrecha y animada de menor velocidad, para registrar sólo aquellas variaciones.

Pero esto, ni remotamente quiere decir que para determinar esas constantes hubieran de excluirse otros sistemas de registro, incluso los mecánicos, en los que importa poco, en este caso, el coeficiente de rozamiento y á los que cabe dotar de gran amplitud en el trazado, ya que no es indispensable dotar al marco de los movimientos de escasa amplitud que en los terremotos experimenta, toda vez que se trata sólo de producir aceleraciones de igual valor que en aquéllos.

Se funda el cuarto sistema de sismógrafos propuestos en que el movimiento de una masa dada queda perfectamente definido cuando se conocen las fuerzas que sobre ella actúan en dirección é intensidad.

Particularizando más la cuestión, si se trata de medir el movimiento de una masa conocida, que parte del reposo, en determinada dirección, bastará saber en cada instante cuáles son las componentes de las fuerzas en esa dirección, y si el movimiento sísmico se considera, como es costumbre, para su mejor estudio, dividido en sus tres componen-

tes: N. S., E. W. y vertical, claro es que el problema general queda reducido al de averiguar cuál es el movimiento de una masa que oscila á uno y otro lado de su posición normal ó de reposo recorriendo una trayectoria rectilínea.

Lo primero que hace falta para idear un sismógrafo práctico, basado en el anterior principio, es proporcionarse una masa conocida, sujeta á la acción de una fuerza sola, si posible fuera, porque en tal caso las leyes del movimiento rectilíneo condensadas en la serie de igualdades

$$F = mj = m \frac{dv}{dt} = m \frac{d^2e}{dt^2}$$

permite conocer todas las particularidades del movimiento, ya que partiendo de m , F y t , como datos, se obtienen inmediatamente las aceleraciones j , las velocidades v y los espacios recorridos e .

En los sismógrafos usuales, dada la pequeñez de los movimientos sísmicos, se consideran generalmente como rectilíneos los espacios recorridos cuando se trata de péndulos horizontales ó invertidos, que en rigor describen arcos de círculos y en todos ellos se desprecia por su pequeñez el movimiento de los apoyos; pero en ninguno puede dejar de tomarse en consideración los efectos de la gravedad, que originan los perturbadores movimientos pendulares de los instrumentos.

Sin embargo, esta acción molesta de la gravedad, que en Sismología viene á representar análogo papel, de enemigo constantemente perturbador, que las temperaturas en las observaciones de gran precisión, puede eliminarse, sin más que colocar vertical el eje de giro de un péndulo horizontal, ya que la masa, en vez de una sola posición de equilibrio estático ó de reposo, tiene todas las infinitas que puede adoptar en torno de su eje de giro, en un plano horizontal, del que jamás sale.

Y claro es que eso no excluye que pudieran emplearse, dentro del mismo principio, péndulos verticales ó invertidos, y hasta masas colocadas sobre planos horizontales, aliviadas ó no de peso por la acción magnética, cuyas resistencias de inercia se midiera; pero en unos casos la necesidad de tener en cuenta los efectos de la gravedad, y en otros el temor de aumentar los rozamientos, y aun de no poder emanciparse de esa fuerza, parece que aconsejan preferir el péndulo horizontal, ya citado, de equilibrio indiferente.

Resta estudiar las disposiciones que se pudieran emplear para determinar las expresiones de la fuerza $F = f(t)$, que actúe sobre la masa y camino por ella recorrido con relación al terreno, $e = \varphi(t)$, para deducir de la combinación del movimiento absoluto de la masa, dado por la primera de esas funciones, con el relativo de ella, deducido de la segunda, cuál es el absoluto del terreno, dentro de lo que esta última calificación puede suponer en la realidad, en la que de hecho no existe.

Teóricamente, los dinamómetros encargados de evaluar esa fuerza podrán colocarse de modo que sobre ellos actúe cualquiera parte del sistema móvil de la masa ó de cualquier apéndice que puede ponerse, á él rígidamente unido, y que, en esencia, por lo tanto, formará parte de él.

Para concretar algo más la cuestión, imagínese que sólo se trata de unir á los dinamómetros algún punto de la masa, propiamente tal ó de su tornapunta, prolongada esta última, si es preciso, á través de aquella y hasta por detrás de su punto de apoyo, al que puede rodear una fuerte pieza horizontal solidaria de la tornapunta.

A uno y otro lado de la masa y de la tornapunta prolongada supónganse instaladas dos fuertes barras, horizontales también y paralelas á la dirección del eje de la tornapunta, sólida é invariablemente unidas al terreno, que han de proporcionar asiento y apoyo á los dinamómetros.

Si estos instrumentos, destinados á medir los esfuerzos entre la tornapunta central y una ó las dos barras, se colocan cerca del punto de apoyo ó eje de giro, las fuerzas que habrán de medir serán relativamente grandes, mientras que si se establecen más allá, por ejemplo, de la masa, con relación al eje, serán casi insignificantes para las mismas aceleraciones del sistema. En cambio, notorio es que los caminos recorridos por los puntos en que se hallen aplicados los dinamómetros al eje de la masa, seguirán ley inversa.

Afortunadamente, por lo tanto, la clase de sismógrafos estudiada ofrece una gran elasticidad para elegir dinamómetros, siempre de pequeña potencia, pero de condiciones que pueden ser muy variables.

Por esto último, el número de dinamómetros que cabe idear y aplicar en este caso, es muy grande.

Entre ellos he ideado varios tipos: de resorte, de torsión, de aire comprimido y de líquidos, con cuya descripción no alargaré este discurso, ya extenso en demasía.

Esta misma razón de brevedad me obliga á indicar solamente que la curva registrada marcará las distancias de la masa á los apoyos fijos en el terreno, y que mediciones previamente efectuadas harán conocer, por un método análogo al seguido en los sismógrafos del anterior sistema, las fuerzas que corresponden en los dinamómetros á cada una de aquellas posiciones relativas de la masa. Por el conocimiento de estas fuerzas en cada instante se sabrá cuál es el camino recorrido en una ú otra dirección por la masa, y por lo tanto, su situación respecto de la inicial ó de reposo; se conocerá también cuál es la posición de los apoyos, ó mejor dicho, del terreno, en el mismo instante, con relación á la masa, y claro es que la combinación de ambos movimientos indicará, paso á paso, el que aquel terreno experimentó á uno y otro lado de su posición normal.

La quinta solución tampoco persigue el mantenimiento

de una masa en reposo mientras dure el terremoto, sino todo lo contrario: utiliza diversas masas, con variables períodos propios, para que, al moverse por resonancia, proporcionen los elementos principales para el estudio de aquellos fenómenos.

Al idear esta solución, creí que era completamente nueva; después he sabido que en Italia se han realizado algunos estudios que, en su esencia, se informan en el mismo principio que ella; pero decidí no suprimirla, porque, acaso equivocadamente, he juzgado de alguna importancia las disposiciones que, para darle carácter práctico, se describirán más adelante.

No es difícil empresa colocar á lo largo de una columna vertical, de fundición, de dos á tres metros de alta, gran número de péndulos pequeños, horizontales, de registro óptico, análogos á los de Rebeur-Ehlert, sobre todo cuando las masas pendulares pueden ponerse á uno y otro lado de la columna, en un mismo plano vertical, para registrar una de las componentes, sin más precaución que la de establecer todos los espejos, unos del modo ordinario y otros en la prolongación, por detrás de la columna, de los brazos, próximamente horizontales, de los péndulos, de modo que no se superpongan los trazados fotográficos, para evitar confusiones entre los sismogramas de los diversos péndulos.

Si, por ejemplo, se establecen cinco de esos sismógrafos á cada lado de la columna de apoyo, podrán graduarse fácilmente, de modo que sus períodos propios varíen, de segundo en segundo, desde uno hasta diez.

Cuando la tierra comience á vibrar, por efecto de los terremotos, también iniciarán esos péndulos sus oscilaciones, de diez períodos distintos, y sin necesidad de recurrir al análisis, ni de emplear fórmula alguna, fácilmente se concibe que á los impulsos propios de esos instrumentos unas veces se restarán total ó parcialmente los que reciban del

suelo, y otras se sumarán, también parcial ó totalmente, produciendo en este último caso, cuando coincide el período vibratorio del terremoto con el oscilatorio del péndulo, una amplificación enorme de la oscilación de este último.

Con esos diez sismogramas, sin efectuar en ellos las difíciles mediciones de los períodos de las vibraciones terrestres, se tendrá á primera vista un cuantioso arsenal de datos acerca de los movimientos sísmicos, cuyos valores se contrastarán entre sí.

No sería fácil, en la práctica, graduar la situación de tantos espejos, establecidos en péndulos tan sensibles, para que á un mismo tiempo entraran en la cámara fotográfica, de conveniente modo, los rayos reflejados por todos ellos; pero, esa dificultad puede vencerse, sin gran esfuerzo, sólo con hacer que esos rayos no entren en la cámara, sino después de haber experimentado cada uno nueva reflexión en un segundo espejo, fijo al terreno y provisto de los necesarios tornillos de corrección, que sustituirían el laborioso arreglo de los espejos móviles por el sencillo de otros, sólida y convenientemente establecidos para su fácil orientación.

El mayor inconveniente que esta solución presentaría, en la práctica, es lo caro de su entretenimiento, por el gran coste que representan las anchas bandas de papel fotográfico, que habrían de necesitarse, y para acudir al remedio de esta falta creo preciso indicar algo acerca de los sistemas de registros usados y de las mejoras que en ellos convendría introducir.

El registro mecánico, menos preciso que los demás y susceptible de amplificaciones muy limitadas, es el preferido por su relativa baratura; pero, no deja de costar ni de ser, sobre todo, muy molesto, por la necesidad de ahumar diariamente las bandas de los sismogramas, de fijarlas y de buscar en ellas, trabajosamente, las curvas producidas por

los terremotos, aparte de lo poco que se presta á proporcionar buenas copias de los sismogramas y de consentir velocidades de registro generalmente muy pequeñas.

Todos estos últimos inconvenientes los tiene también el registro óptico, cuyas diferencias esenciales con el mecánico consisten solamente en ser más preciso y en consentir grandísimas ampliaciones, á expensas de ser mucho más caro, no sólo por el coste de la iluminación constante, sino también por el precio más elevado de los materiales fotográficos.

En los registros sismológicos, el bello ideal sería que el adoptado, por su propio modo de funcionar, no introdujera coeficientes de rozamiento, como los exigidos por el mecánico; que permitiera grandes ampliaciones, iguales ó superiores á las proporcionadas por el registro óptico; que diera por sí mismo una ó más copias de los sismogramas, en todas las cuales estuviera el tiempo muy subdividido y que resultara barato y poco molesto; cualidades estas últimas que podrían alcanzarse si en los sismogramas no apareciera señal alguna, mientras no existieran terremotos; porque de esta suerte, el gasto de bandas registradoras se reduciría á lo estrictamente indispensable, aparte de la facilidad con que se sabría cuándo se habían obtenido sismogramas.

Desde luego, la mayor dificultad estriba en que el aparato registre los tiempos y las posiciones de las masas de los sismógrafos solamente cuando haya terremotos.

Exige esta condición disponer de un aparato, que automáticamente se dispare al iniciarse los terremotos, mucho más sensible que los sismoscopios Agamennone, empleados por este eminente sismólogo para disparar el registro á gran velocidad de su microsismómetrografo, porque no ha de contarse, como en este instrumento se cuenta, con que vayan registrándose á pequeña velocidad los preliminares del terremoto hasta que estos movimientos sean de tal impor-

tancia que produzcan oscilaciones relativamente grandes de las masas del sismoscopio y se perdería el registro de la primera parte de esos preliminares, si al comenzar el terremoto no se disparara el aparato de registro ú otro líquido conductor de la electricidad.

Esa disposición auxiliar, mucho más sensible que las conocidas, podría consistir en una masa pendular, que obrara sobre un aparato constituido por dos dinamómetros de aire ó cajas manométricas iguales, unidas por un tubo horizontal, provisto de un índice de mercurio.

Cuando el sismógrafo de que se trate sea, por ejemplo, para registrar la componente N. S., se dispondrá esa masa auxiliar en un péndulo horizontal N. S. también y contra sus caras N. y S. se apoyarán los estiletos que han de empujar ó distender las membranas de cada una de las cajas de los dinamómetros, colocados el uno al N. y el otro al S., sólidamente enlazados al terreno y unidos por su parte inferior, por un tubo estrecho, horizontal ó con más ó menos inclinaciones ó dobleces, en cuyo interior exista un índice.

Esa disposición simétrica tiene por objeto evitar la influencia de los cambios de temperatura en la posición del índice, que de esa suerte á un mismo tiempo está solicitado por fuerzas iguales y contrarias cuando se enfría ó calienta el aire de las cajas manométricas.

Cualquier movimiento del terreno, por pequeño que sea, si el aparato está bien estudiado, al comprimir ligeramente el aire de una caja y distender el de la otra, originará un rápido movimiento del índice líquido, que pudiera utilizarse para el registro óptico ó eléctrico de los terremotos, mediante otras disposiciones complementarias; pero que en el caso actual se aprovechará no más que para cerrar un circuito eléctrico, al unir pares de puntas de platino que penetren en el interior del tubo y se hallen á uno y otro lado de la posición normal del índice.

La sensibilidad de ese aparato ha de ser muy grande, porque de una parte las dos membranas exigen escasísima fuerza para moverse, y de la otra basta una leve oscilación de ellas para que el índice recorra grandes espacios.

Un sencillo cálculo demuestra que para obtener una amplificación de 100, 1.000, 10.000... veces, bastará, en efecto, con que la relación de los radios de las cajas manométricas y del tubo que las une sea 7,07, 22,36, 70,7..., y si el del tubo valiera 0,5 mm., se obtendría para el radio de las membranas 3,5 mm., 11,18 mm., 35,35 mm..., números que indican la posibilidad de llegar en la práctica á grandes amplificaciones, sin necesidad de adoptar exageradas dimensiones para las cajas manométricas.

A la amplificación de 10.000 corresponde un centímetro de movimiento del índice por cada micrón que la masa pendular oscile; así es que disponiendo á menos de un centímetro de los extremos del mercurio los pares de puntas de cierre de corriente de que se ha hablado, se tendrá la seguridad de disparar una corriente eléctrica al menor asomo de movimiento del terreno.

Y conseguido eso, que era lo más difícil, todo lo demás que en el actual caso se necesita se idea sin esfuerzo alguno.

El registro mecánico obtendría, sin duda alguna, gran beneficio al aprovechar el disparador ideado, que le permitiría no gastar más bandas que las estrictamente indispensables y no hacer que el sismólogo ande uno y otro día indagando pacientemente en ellas si hubo ó no terremotos.

Dentro de esta particular aplicación, se ocurre el expediente de dejar que las bandas ahumadas se muevan continuamente y que el disparador eléctrico deje pasar corrientes por electro-imanés, ó interrumpa, cortando otro circuito distinto, las que por ellos circularan, con objeto de que las plumas registradoras, habitualmente separadas de las

bandas, se apoyen sobre ellas al comenzar un terremoto, bien dejándolas caer ó ya aproximando á ellas el cilindro registrador.

Preferible parece, para evitar las consecuencias del choque, que, por suave que fuera, habían de producir esas disposiciones, hacer sencillamente que las plumas y las bandas se hallen en reposo, por mantener un fiador quieto el aparato de relojería y que la corriente disparara ese fiador, no existiendo inconveniente alguno en dejar que la pluma cronográfica obrase continuamente, trazando una y otra vez la misma señal, mientras no hubiere terremoto, toda vez que el estado de sus inscripciones se deduciría fácilmente.

Y si se quiere dejar tranquila la pluma cronográfica, con hacer que la corriente del disparador cierre su circuito eléctrico, de ordinario interrumpido, todo queda arreglado.

Las aplicaciones de ese disparador sismológico al registro óptico son también sencillas.

En efecto; el cierre ó interrupción de corriente que ese instrumento auxiliar produzca, se puede emplear en abrir un obturador ó pantalla de la cámara fotográfica, y ya con ello se conseguiría saber de antemano, sin revelar el papel sensible, si había habido ó no terremoto y disminuir el gasto considerablemente, por no consumirse más papel fotográfico que el puramente indispensable.

Aun habría mayor ahorro, haciendo el registro óptico casi de igual precio que el mecánico, sin quitarle su superioridad de mayor precisión, si el disparador cerrara el circuito eléctrico de la luz que de este modo no consumiría en balde flúido eléctrico.

Los beneficios que uno de esos disparadores podría producir en una estación sismológica, por ahorro de luz eléctrica, de bandas ahumadas y fotográficas y de tiempo empleado en la manipulación y examen de ellas, son tan evi-

dentes é importantes, que no se cree necesario calcularlos, alargando aún más este trabajo.

Se presta también fácilmente ese disparador á servir de base para idear un sismógrafo de registro eléctrico, por medio del cual produzcan los movimientos del terreno considerables variaciones de flujo eléctrico; pero aparte de que su descripción, sin referirse á algunas figuras, sería difícil, no quiero, si aun es tiempo, que el arrepentimiento que actualmente deben de sentir cuantos me incitaban á presentar este discurso, se convierta en verdadera desesperación por haber tenido que soportarle.

DISCURSO

DEL

ILMO. SR. D. JOSÉ RODRÍGUEZ MOURELO

Señores:

A honra muy grande tengo yo el llevar la voz de la Academia para contestar al discurso de recepción de mi querido amigo el Sr. D. Eduardo Mier y Miura; que si el cumplimiento de tal encargo es siempre causa de íntima satisfacción, la que experimento sube de punto, ya que entran en ella, como principal factor, sinceros y bien correspondidos afectos, de antiguo profesados. Y de otra parte, las calidades científicas y los merecimientos del nuevo compañero, cuyo ingreso fué tan deseado, son de tal especie y de tan buena ley—y por la muestra de su discurso habréislo notado—que aunque me pone en gran aprieto el decir algo digno de ellos, pues no seré osado de añadir una sola tilde á su doctrina, me congratularé grandemente, convencido de que mi pobre glosa bajará muchos codos de la materia interesantísima que, con no igualada competencia, ha tratado. Por pagado con creces me daría si lo poco que diré sirviera para realzarla y contribuyese á estimular ciertos estudios, de la mayor importancia y de inmediata aplicación, cuyo adalid es entre nosotros el Sr. Mier—y el puesto le viene de perlas—en sus comienzos promovidos por españoles, y como tantas otras cosas olvidados en España hasta hace poco tiempo.

Merecedor de todo elogio, digno del mayor respeto de las gentes es el que, sin otra ambición que el engrandecimiento de la patria y aquella pequeña parte de la intangible gloria que pudiera caberle, si un feliz y siempre incierto éxito corona el esfuerzo heroico de su vida entera, la consagra á la ciencia por completo y hace de ella su ilusión más querida, su ideal supremo, y desdeñando fáciles triunfos se lanza, caballero andante de la verdad, por los campos de la investigación. Sin esperar cierto género de recompensas, ni menos buscarlas, desdeñándolas y hasta despreciándolas en ocasiones, sólo anhela hacer algo suyo propio, grande ó pequeño; pero que sea suyo, que sea el primero en haberlo alcanzado y ello tradúcese acaso, conforme le ha sucedido muchas veces al Sr. Mier, que es verdadero investigador, en una sencillísima fórmula ó en la extraña línea que representa débil y muy lejano movimiento de la corteza terrestre.

Bien á las claras advierte en el discurso que ha leído cómo su cualidad preminente es la de investigador, aunque buena parte de su fecunda obra haya sido consagrada á divulgar, con sumo acierto, las más capitales cuestiones científicas, en lo cual pocos le aventajaron; pagando así el debido tributo á la cultura nacional, necesitada de ello, y contribuyendo á formar este medio propicio á la labor científica y á que la multitud no viva de prodigios y se acostumbre á respetar y á honrar á los investigadores. Pero las variadas investigaciones, nada fáciles ciertamente, y á veces de las más sutiles y alambicadas, á que el Sr. Mier se ha dedicado, partiendo de una grande y sólida base de conocimientos científicos, han tenido en diferentes ocasiones su consecuencia y complemento; porque el Sr. Mier es inventor de ingeniosos aparatos de indudable utilidad, mas no inventor al uso, sino en aquel mismo sentido en que Tyndall calificaba de inventor á su gran maestro Faraday; y he aquí de qué manera y por qué áureos hilos ha podido

el geodesta de la metrología de precisión y el sismólogo de las originales teorías, unir la ciencia pura y sus abstracciones sublimes con la aplicación de su contador electrolítico ó de su interesantísimo mareógrafo. Y es que en el Sr. Mier lo que se llama invento no es el resultado de tentativas empíricas más ó menos ingeniosas, sino consecuencia lógica de la bien encaminada investigación científica, no forzada para el fin determinado de las invenciones.

No he de enumerar ni los merecimientos, para todos notorios, ni los trabajos tan numerosos, concienzudos y variados del Sr. Mier. Su entendimiento privilegiado y su actividad nada común han tratado con singular pericia muchas materias y abarcaron diversas cuestiones de ciencia pura y aplicada, aunque sus diferencias no impidan que entren todas ellas en los vastos dominios de la Física y de la Química, así las que se ocupan en fenómenos moleculares, como aquellas otras relacionadas con la figura de la Tierra y los movimientos reveladores de su vida. Tampoco he de hablar de la voluntad del Sr. Mier, tan enérgica y bien probada, en cuanto para demostrarla bastan sus obras y sus inventos, la labor del investigador y el haber llevado á cabo tantas meritísimas invenciones.

Con todo, recordaré de qué manera el discurso que ha leído sirve á maravilla para trazar la semblanza científica del Sr. Mier. En su peregrina disertación indica las líneas generales de la ciencia sismológica, demostrando acabado conocimiento de ella; aborda luego el problema de la constitución de la Tierra, exponiendo los fundamentos de una doctrina nueva y original, apoyada en hechos y en fenómenos y en leyes experimentales, en la que patentiza su sagacidad científica y su profundo estudio acerca de las enseñanzas que de los terremotos pueden deducirse para entender la formación del planeta que habitamos; y como en tal trabajo no podía faltar el ingenio

del inventor, el Sr. Mier regala á la Academia, en el acto de su ingreso, las primicias de un nuevo sistema de sísmógrafos registradores originalísimo, de que es autor, y cuyos principios se apartan totalmente de los que han regido hasta ahora en la construcción de aquellos aparatos, llamando de camino la atención acerca de puntos importantes y cuestiones de transcendencia suma, destinadas por ventura á modificar hondamente los sistemas de registro de los movimientos de la corteza terrestre. Hay en este conjunto mucho saber adquirido mediante el estudio, unido á la observación propia, paciente y continuada, no poca experimentación, raro ingenio en el invento y superior entendimiento para elevarse hasta presentar una teoría propia y bien fundada; que á tal altura llegan las cualidades de nuestro compañero, avaloradas por una voluntad firme, bien templada en las luchas de la vida.

Ocupa el Sr. Mier la vacante de otro ingeniero, que fué también hombre de mucha y bien dirigida voluntad, el señor D. Manuel Pardo, quien la demostró en sus trabajos profesionales, en los elevados cargos que hubo de desempeñar y en el magisterio que por tantos años ejerció en la Escuela de Caminos, Canales y Puertos. Fruto sazonado de aquellas enseñanzas fué el *Tratado de materiales de construcción*, que compuso para los alumnos, en el que la excelente doctrina, claramente dicha, únese al conocimiento práctico que debía al ejercicio de la profesión en muchos de sus variados aspectos; porque el Sr. Pardo se consagró con envidiable afán durante largos años á la dirección de importantes obras de ingeniería.

Del Sr. Pardo puede decirse que había encontrado su verdadera vocación en el Profesorado, y que la técnica y ejercicio de la carrera eran todas sus complacencias. Conservó para ella los juveniles entusiasmos, le consagró todos sus amores y toda su inteligencia, y puso su voluntad,

que era grande, al servicio del ilustre Cuerpo á que pertenecía y no tuvieron defensor más ardiente sus bien ganadas preeminencias; hizo cuanto pudo por acrecentar sus merecidos prestigios; contribuyó todo cuanto le fué dado á su esplendor; no perdonó medio de engrandecerlo, y puede decirse que le dedicó su vida entera. Maestro de varias generaciones de ingenieros de Caminos, trató, con la mejor voluntad, de formar á modo de una Escuela de constructores, en la que la práctica no fuera rutina, sino la continuación de sólidos principios científicos y de procedimientos derivados sin esfuerzo de la ciencia pura, y á ello respondió su libro, compuesto y publicado bastantes años antes que en España hubiera Laboratorios destinados al ensayo de los materiales empleados en las construcciones, y así su aparición representa un adelanto de cierta monta, porque el autor no se limitó á exponer con fortuna lo que á la sazón se sabía respecto del asunto, sino que acertó á agregar cuanto su larga práctica de la ingeniería le había enseñado, y ello constituye, aparte del método adoptado, lo original de semejante obra. Añádase á lo dicho que D. Manuel Pardo fué un gran hombre de bien y un perfecto caballero, y se completarán las líneas generales de la semblanza que aquí debe constar en honra de su memoria.

Para sucederle viene ahora el Sr. Mier, y no era yo, ciertamente, el llamado á darle la bienvenida, que reservado estaba el puesto á su entrañable amigo, que también lo fué mío muy venerado, D. Francisco de Paula Rojas, el bueno. Al evocar su recuerdo, tan vivo y querido en la Academia, me asocio de todo corazón al homenaje de cariño y de respeto que á aquel sabio y á aquel tan gran español tributa el Sr. Mier á los comienzos de su discurso, y hago más las sentidas palabras de gratitud que sus elevados sentimientos le han inspirado.

Es el Sr. Mier otro ilustre representante de la ingeniería española, pues viste el honroso uniforme de Coronel de Ingenieros del Ejército y desempeña el cargo de Inspector general de Ingenieros geógrafos, cuyo puesto alcanzó después de una serie de excelentísimos trabajos geodésicos, que tuvieron su complemento en otros de Física del Globo, de los cuales son muestra los mareógrafos, los aparatos para medir la frecuencia de las olas, los nuevos sismógrafos y la organización del servicio sismológico de España, comenzado por la estación de Toledo, verdadero modelo de las de su clase. Tales trabajos, que pudiera calificar como derivaciones de aquellos delicadísimos que por razones profesionales le están encomendados y á los cuales atiende con la solicitud demostrada en la invención de su aparato destinado á medir la intensidad de la fuerza de la gravedad, demuestran la variedad de aptitudes y la flexibilidad del talento de nuestro compañero y de qué manera aplica, en la práctica de los servicios nacionales que dirige, aquel riguroso orden y aquella disciplina que caracterizan principalmente á toda labor de investigación bien dirigida.

Quisiera hacer notar cómo la presencia aquí del señor Mier significa la continuación de excelentes tradiciones, que las tiene en verdad muy hermosas en esta Academia de Ciencias, el insigne Cuerpo de Ingenieros del Ejército. Permitid que á tal propósito recuerde brevemente algunas personalidades notables y algunos hechos que conviene traer á la memoria y han de relacionarse con lo que más adelante diré al recoger y apoyar ciertas afirmaciones del discurso á que contesto, referentes á los caracteres de la ciencia española y á las maneras de dotarla de independencia en sus descubrimientos y en su propio contenido, asunto de palpitante interés, sólo un momento indicado con gran oportunidad por el Sr. Mier, cuyo abolengo en

la Corporación, si así vale llamarle, puede ponerse en parangón con sus personales merecimientos; pues ella ha escogido, siempre amorosa, á las ilustraciones científicas de todas las procedencias y abrióles sus puertas solícita á cuantos enaltecieron con sus descubrimientos, sus enseñanzas, sus estudios ó sus trabajos el nombre de la patria y contribuyeron con su talento al progreso de la cultura nacional.

Fué nuestro primer Presidente un Ingeniero militar, el general D. Antonio Remón Zarco del Valle, cuya fama es notoria. Vivió en una época en la que los hombres superiores tuvieron que ser utilizados en muy diversas cosas, y así debió repartir el tiempo de manera que aquellos sus principales trabajos de orden científico le dejasen lugar para ocuparse en las tareas de las Academias de la Historia y de Bellas Artes á que perteneció, no le impidiesen consagrarse á los menesteres de la política, ni le privaran tratar asuntos relativos á la organización del Ejército y defensa de plazas y fronteras. Muy grande debió ser su capacidad intelectual, cuando habiéndose diversificado tanto y en disciplinas tan diferentes su nombre pasó las fronteras en calidad de hombre de ciencia y perteneció á muy acreditadas Corporaciones extranjeras, que apreciaron debidamente sus nada comunes merecimientos. Solía ver los problemas con gran generalidad, colocándose en un punto de vista elevado, y con el mismo carácter de amplitud que los planteaba acertaba á resolverlos.

Recorriendo la lista de los fundadores de la Academia, encuéntrase el nombre del General de Ingenieros D. Celestino del Piélago, que vivió hasta 1880, habiendo ocupado puestos tan elevados como la Dirección de Obras públicas; se distinguió particularmente por sus conocimientos matemáticos, que le dieron justo renombre. A ellos se consagró también el Coronel de Ingenieros D. Fernando Gar-

cía Sampedro y fué extremado cultivador de las Matemáticas superiores; escribió libros de singular mérito; su enseñanza dejó fama y en el magisterio estuvo ocupado largos años. Por temperamento y vocación habíase dedicado á la pura ciencia del cálculo, abordando los en aquel tiempo más elevados problemas del análisis infinitesimal, de la Geometría analítica y de la Mecánica. Su vida científica fué laboriosa en extremo, porque se desarrolló precisamente cuando realizábase en España la transformación del estudio de las Matemáticas, volviendo á los caminos que bastantes años antes habían señalado Chaix, Pedrajes y Bails, nuestros tres maestros españoles, tan injustamente olvidados, y la labor de la enseñanza de la buena nueva no fué parte á impedir la labor original hacia la que dirigíanle sus talentos superiores.

Guiado por los mismos ideales científicos, ingresó en la Academia el sucesor de Zarco del Valle, que lo fué otro Ingeniero militar, el Sr. D. Ildefonso Sierra y Orantes, también excelente maestro y muy hábil y original en las artes de su profesión. Lleváronle sus aficiones al estudio de la Física y de la Química—había frecuentado las cátedras de Regnault, Orfila y Desprez, en París—, y sobre todo en lo referente á algunas de sus aplicaciones hizo originales trabajos, entre los que se encuentra la aplicación de la electricidad á las minas militares, y es doloroso que le haya sorprendido la muerte dejando sin terminar un Tratado de Física cuya redacción había emprendido. Tuvo grandes predilecciones por la experimentación, y es notorio que en ella fué hábil é ingenioso, y es de los que, al igual de los compañeros suyos que he citado, trabajaron en prepararnos el terreno y allanar las dificultades, sacrificando por ventura la labor original en aras de la enseñanza y de la divulgación de la ciencia.

Sería notoria injusticia, sólo comparable al olvido en

que se tiene su memoria, no recordar aquí uno de los mayores Ingenieros militares que fueron miembros de esta Academia, á D. Carlos Ibáñez, correspondiente de las de París y Berlín, cuyo nombre va unido á los mejores adelantos de la Geodesia internacional contemporánea; su obra es nuestro Instituto Geográfico y Estadístico, de donde procede el Sr. Mier y donde se guarda la famosa regla de medir bases que lleva el nombre de Ibáñez. Trátase de un sabio de fama universal, cuyos méritos son de la más subida calidad, que en toda ocasión y en las Asambleas internacionales que presidió tan elevado supo colocar el nombre científico de España.

Hace todavía pocos años formaba parte de la Academia—y á ella trajéronle méritos científicos de mucho valor—otro Ingeniero militar que durante su vida trabajó principalmente en el Instituto Geográfico y Estadístico, y que era de la Escuela de Ibáñez; me refiero á D. Joaquín M. Barraquer, cuya memoria á todos es grata en esta casa y cuya más notoria labor está contenida en los famosos estudios que le condujeron á la determinación de la longitud del péndulo en Madrid, para lo cual realizó cálculos y medidas de extremada delicadeza y sorprendente precisión. Fué meritísimo geodesta y colaboró en el trabajo iniciado y dirigido por el Marqués de Mulhacen, al lado de otros hombres de mérito, como D. Fernando Monet, cuya obra paciente, difícil y larga tuvo como fin la triangulación de España, llevada á término en sus líneas generales de admirable manera.

*
*
*

Tales fueron—omitiendo hablar de los que entre nosotros se sientan—los más ilustres representantes que en la

Academia de Ciencias ha tenido el Cuerpo de Ingenieros del Ejército, en el cual es el Coronel Mier una de las principales ilustraciones. Viene, por lo tanto, á continuar gloriosas tradiciones, prosiguiendo la serie de trabajos y estudios originales, de los que algunos han sido publicados en nuestra Revista, y se contraen á materias cuyo conocimiento, en particular desde el punto de vista de las aplicaciones, lo iniciaron y promovieron españoles; me refiero al estudio de los terremotos, y en general de los fenómenos sísmicos, que ahora sistematiza el Sr. Mier organizando un sistema de bien dotados y dispuestos observatorios, donde se registrarán los movimientos de nuestro suelo y los que, producidos muy lejos, se transmiten con sus formas particulares. De esperar es que, gracias á su saber y probado celo, á su voluntad y á su abnegación—las dos cualidades principales del investigador—pronto tendrá España una buena red de estaciones sismológicas, que debe completarse con el servicio de mareógrafos y mareómetros, el de la medida de la frecuencia de las olas, promovidos por el Sr. Mier con excelentes resultados, el heliográfico y el todavía no comenzado de la electricidad atmosférica, relacionándolo con las ordinarias observaciones meteorológicas, que reclaman ser más extendidas y generalizadas.

Inicia tan sólo el Sr. Mier, á los comienzos de su bella disertación, un asunto de palpitante interés y extraordinaria importancia, relativo á nuestra originalidad científica, y en mi sentir está muy atinado y en lo cierto al afirmar que cuando los españoles hicieron algo notable en la ciencia, ha sido dejándose guiar por su pensamiento propio y por sus iniciativas, sin constituirse en propagadores ó rapsodas de lo extranjero; creando y no imitando ó parodiando lo ajeno, ó, lo que es peor, haciéndonos todavía más pequeños é insignificantes de lo que somos tocante á la investigación científica, deslumbrados en demasía por

los resplandores de los mayores descubrimientos realizados en países extraños, para muchos tierras de genios y prodigios y estéril páramo la nativa.

Una demostración evidente de ello la habeis visto en algunas de nuestras últimas recepciones académicas, en las que tomaron parte investigadores de bien conquistado renombre, cuyos trabajos originales, publicados primero en español, han sido traducidos en acreditadas Revistas extranjeras, y que no han tenido necesidad de salir de España para formar su sólida cultura y realizar cosas nuevas. De éstos es también el Sr. Mier, tan original en sus trabajos, estudios é invenciones; fuerte para la lucha, claro en sus procedimientos, tenaz y persistente en sus ideas, cuando de ellas está convencido, defendiéndolas hasta el vencimiento, conforme le aconteció en las cuestiones con muy acreditada oficina alemana, á propósito del contador electrolítico de su invención; y aquella entidad, que se entretuvo en ponerle los más peregrinos obstáculos, tuvo que acabar diciendo que el error es condición de los hombres y acceder á lo que se le demandaba. Y el Sr. Mier se ha formado en España, quizá solo, con escasísimos elementos; pero no importa. No es tributario servil su pensamiento del pensamiento de otros, ni lo copia de tal ó cual autor de fama; fiel á su máxima, y en ello tiene razón, cuanto ha hecho, de mayor ó menor importancia, es suyo y débese á su propio trabajo. No salió de España sino después de tener formada su sólida y extensa cultura científica, á aprender determinadas cosas, á comparar y á contrastar su ciencia con la ciencia de los grandes maestros; y que es de buena ley, pruébanlo las distinciones internacionales que le han otorgado.

Juzgan muchos que es de suma conveniencia formar en el extranjero, desde sus principios, la cultura científica de los jóvenes, y la opinión hállase muy extendida hace

ya tiempo. Creo que se comete gran error insistiendo en ella y en la tendencia de copiar, no de asimilar, lo de fuera, juzgándolo excelente sólo por venir de países donde hay grandes sabios y grandes medios de investigación. Así nos hemos acostumbrado á empequeñecernos y humillarnos más de la cuenta, y á necesitar andadores y tutores para nuestro pensamiento y hasta á temer investigar; y es de suerte que, en lugar de constituir aquí nuestro medio científico, lo buscamos de fuera y lo tomamos conforme es, sin preocuparnos de la adaptación.

Véanse, en el general atraso de las investigaciones científicas, las consecuencias de haber seguido y persistido en un sistema que no ha permitido, con otras causas más graves que no son de este lugar; el libre desarrollo del pensamiento nacional, de sus iniciativas y de su originalidad. Somos también demasiado admiradores de lo ajeno y sobrado desdeñosos con lo propio, y por no conocerlo y haber abandonado las tradiciones nacionales, es por lo que, hasta el presente, que comenzamos, como quien dice, á renacer, poco hemos significado en el mundo científico, si se exceptúan algunas personalidades que figuran en primera línea; y en verdad que el carácter español, tan aventurero y dado á novedades, tan curioso y despierto, préstase á maravilla para la investigación científica. Quizá carecemos todavía de la suficiente personalidad, de la que seculares errores nos han desposeído, y por cierto que no eran españoles quienes los implantaron é hicieron arraigar; nuestro trabajo actual debe consistir en conquistarla por el propio esfuerzo, dándole carácter que sea peculiar suyo, sin pedírselo á nadie prestado, ni imitar el de nadie; que lo nuestro debe ser sólo nuestro; pues, según dice con gran oportunidad el Sr. Mier y vese de continuo demostrado en la historia, cuando los españoles realizaron aquellos grandes hechos que no parecen de hombres, y aque-

llos asombrosos adelantos en todos los órdenes, dejábanse guiar de su propia originalidad, y vino la decadencia cuando se siguieron servilmente y se copiaron los procedimientos en otras tierras inventados y á ellas adecuados.

Lejos, muy lejos de mi ánimo está el pensar que debemos sustraernos á toda comunicación y á toda influencia exterior, encerrándonos en nuestro propio sentir, como princesa encantada en torre de marfil; muy al contrario, que el aislamiento en todo, y especialmente en materias científicas, es una de las principales causas de nuestro atraso. Aparte de ello, pienso que nada hay más atinado que el consejo de Darwin respecto de la conveniencia y de los provechos que resultan de enviar á los países extranjeros y al término de su carrera los jóvenes ya iniciados en las investigaciones, después de haber producido algo original.

Y es que de lo ajeno debemos tomar, aquilatándolo y estudiándolo mucho, no lo que pueda servir fundamentalmente para constituir nuestra personalidad científica, sino lo útil para afirmarla, como ciertos estudios particulares; que aquélla debe estar ya hecha y determinada al emprenderlos. Por impulso natural y por educación propendemos los españoles al estudio y conocimiento de lo más grande y prodigioso; en ciencia, por ejemplo, nos place sobremanera la obra de los grandes maestros, sus geniales concepciones, aquellos de sus descubrimientos que más se apartan de lo conocido y no es achaque del vulgo, que también lo padecen en grado agudo los cultos é ilustrados y de ello nace que, no pudiendo igualarlos, nos desalentamos, no investigamos y quizá inconscientemente caemos en el error de pensar que sólo de prodigios y maravillas se compone la ciencia y que sólo á ella debe consagrarse quien se sienta capaz de realizarlos. Origina esto la falta de personalidad, la excesiva admiración y la sobra de lectura, que por conocer lo que los demás saben tenemos olvidado el for-

mar nuestro propio saber; trabajamos mucho con este sistema y aprendemos poco y hacemos todavía menos y es gravísimo error el pensar que la ciencia se toma hecha; hay que hacerla, cada uno la suya propia, mayor ó menor, eso no importa; lo esencial es que la hayan formado su pensamiento y sus manos, que labor de ellas, bien dirigida y metodizada, es también la investigación. Siguiendo tal procedimiento es como alcanzaremos aquellas alturas codiciadas desde las cuales es dado percibir los resplandores de la verdad y aquellas maravillosas regiones de luz soberana en las cuales tiene la inteligencia humana todas sus complacencias.

Mucho pudiera discurrirse acerca de los interesantes temas que suscita el asunto de la investigación científica en España y de los medios de estimularla, promoverla y favorecerla, para constituir nuestra personalidad en punto á ciencia: la formación del medio; como las ciencias llamadas experimentales deben influir en la educación y cultura nacionales; la influencia moral y social de la ciencia y tantas y tantas cuestiones que bien á mi pesar no puedo tratar aquí. Sólo me limitaré á insistir en la necesidad de no extranjerizar los investigadores enviándolos á destiempo á aprender fuera de España; deben, como el Sr. Mier y algunos otros cuyos nombres han pasado la frontera y son en todas partes respetados, formarse en casa y acostumbrarse aquí á tener pensamiento propio, admirando menos lo de fuera, que es menester conocer perfectamente, y cultivando mejor el jardín del solar nativo, no sin ir á buscar con frecuencia plantas muy perfeccionadas de otros climas y trasplantarlas, haciendo con el personal trabajo que en el nuestro sean todavía más hermosas; que el cielo puro y el sol espléndido crien las mejores flores y los más sazonados frutos.

A cuento y con mucha oportunidad trae el Sr. Mier, ocupándose en las aplicaciones inmediatas de la sismología, los nombres de españoles ilustres que de diversas maneras han tratado el asunto; las órdenes, disposiciones y mandamientos relativos á las construcciones en sitios donde son frecuentes los movimientos del suelo y los terremotos, á lo cual añadiré de mi parte las instrucciones que en los Memoriales dábanse á los capitanes y descubridores que se partían á tierras de Indias acerca de las observaciones de los temblores de tierra. En las relaciones é historias particulares de aquellos dominios, por lo general riquísimas de pormenores, suelen aparecer minuciosos relatos de tales fenómenos y aún atinadas consideraciones acerca de la frecuencia y de sus efectos; y chocábanles sobremanera á los autores las perturbaciones, á veces singularísimas, que producían en la configuración general de los terrenos y cómo la trastornaban y cambiaban en corto tiempo, concediendo en ello importancia primaria á lo maravilloso é inusitado.

No estuvieron del todo descuidados en los tiempos actuales los fenómenos sísmicos, desde que se constituyó la ciencia que los estudia de manera sistemática, ni tampoco fueron olvidados aquellos hechos relacionados con la constitución de la tierra, que si en estas ramas del saber no se pueden citar nombres de investigadores é inventores españoles hasta los trabajos del Sr. Mier, que tienen verdadera originalidad, hay, sin embargo, generosas iniciativas, labor de importancia y personas estudiosas que algo hicieron digno de ser recordado. Ya lo hace nuestro compañero al citar el discurso de recepción del Sr. de Cortázar, y yo he de añadir que tuvo en él el Sr. D. Manuel Fernández de Castro, cuya buena memoria me es en extremo grato el recordarla ahora, un auxiliar admirable, cuando en la Comisión del Mapa Geológico, de la que fué alma y que tan-

tas buenas cosas realizó y publicó bajo su dirección, instaló los sismógrafos y comenzó á hacer observaciones metódicas. Tampoco he de olvidar el dejar consignado que los informes de las Comisiones de sabios extranjeros, que estudiaron los terremotos de Andalucía, están hechos en vista de las observaciones y de las doctrinas que expuso, con su claridad habitual, en una conferencia memorable, el que fué mi excelente amigo, el ilustre geólogo español D. José Macpherson.

Bastantes ideas de las expuestas por el Sr. Mier como fundamentos de su teoría de la formación de la tierra se relacionan con el mecanismo de determinadas reacciones químicas, acaecidas en circunstancias particulares entre sustancias y sistemas más ó menos complicados y en medios de nada fija naturaleza. Su resultado es función de muchas variables, no todas bien determinadas, pero que sólo en intensidad difieren de las conocidas, tocante á las reacciones químicas ordinarias, y el tenerlo averiguado es ya adelanto de mucha cuantía: importa, de consiguiente, hacerse cargo de ello, empezando por considerar el planeta que habitamos como un ser vivo, llegado á determinado período de su desarrollo, y que se halla actualmente en una fase evolutiva, de la cual tenemos noticia por determinados fenómenos, unos constantes, accidentales los otros, de intensidades muy distintas, y que son á la postre manifestaciones de la vida de la tierra y del continuo cambio de los elementos que la integran.

Observaré primeramente cómo ninguno de los elementos que se hallan en su superficie deja de encontrarse en su interior, hasta el helio, conforme lo demostraron los experimentos del profesor Piutti, de Nápoles, quien ha determinado la existencia de tal cuerpo en las lavas antiguas y modernas del Vesubio, valiéndose de su original é ingenioso procedimiento. Es de notar asimismo el trabajo

del doctor Brun, de Ginebra, que ha probado la existencia de los volcanes anhidros, contra la teoría más corriente acerca de su formación, y aunque al generalizarse la doctrina se suscitaron controversias, no terminadas todavía, la carencia de agua en los productos examinados es evidente y está fuera de duda. Son muy sencillos los métodos de investigación en los casos citados; pártese de que las lavas, aun las más antiguas, retienen siempre gases á modo de inclusiones y sometidas á la acción de elevada temperatura en atmósferas enrarecidas hasta el máximo de vacío que se puede alcanzar, los desprenden en condiciones de poder ser sometidos al análisis espectral, y compréndese que procediendo los materiales volcánicos de regiones donde la temperatura es elevadísima, el agua, en caso de haberla, se disociaría por el calor en sus elementos, y aunque luego el hidrógeno ardiese en contacto del aire, el agua de nuevo formada ya no sería volcánica, sino superficial, y no podría, en el sentir de Brun, formar parte integrante de la lava.

Citaré ahora unos cuantos hechos, semejantes á los apuntados, que demuestran cómo las reacciones químicas del interior de la tierra son análogas á cuantas mediante artificio pueden realizarse en su superficie. Es el primero la acción del vapor de agua sobre los carburos metálicos, especialmente el de hierro, productora de varios hidrocarburos, líquidos y gaseosos, entre ellos el acetileno y diversos acetiluros. Durante mucho tiempo se creyó que no podía haber combinaciones del carbono y el hierro nativas, de origen terrestre, hasta que Nordenskiöld encontró en Owyfak el año de 1870 un carburo de hierro ó fundición nativa, cuyo yacimiento estaba precisamente en rocas basálticas de origen volcánico, y desde entonces pudo tener firme apoyo la doctrina del origen mineral de los petróleos y productos semejantes, generados de la propia manera

que producía Cloez, en sus clásicos experimentos, hidrocarburos saturados, líquidos, análogos á aquellos compuestos naturales.

Parecía aventurada la empresa de reproducir, en los laboratorios, los minerales y las rocas en condiciones iguales á las que debieron generarlos en el seno de la tierra y empleando los mismos agentes y procedimientos, reduciéndose todo el artificio á acelerarlas y llevarlas á término en menos tiempo; pero con el cortejo de notables series de estados intermedios, cuyo estudio es del mayor interés. Y sin embargo, la síntesis mineral es una ciencia con sus métodos precisos y sus procedimientos bien establecidos, cuyos resultados se preven de antemano. No se limita á reproducir especies sencillas y combinaciones simples, mediante adición de sus componentes, interviniendo elevadas temperaturas ó en diversos medios particulares que hacen oficios de fundentes, sino que alcanza hasta la reproducción de series enteras de minerales, como las apatitas y las wagneritas, á las familias de los silicatos múltiples, á numerosos complejos minerales y á no pocas rocas, y abarca asimismo la reproducción de ciertos coloides inorgánicos, que tienen su representación en conocidas especies mineralógicas. Mas no se concretan los procedimientos sintéticos á reproducir la composición ó á modificar el estado de los cuerpos, como en el caso de varias transformaciones alotrópicas, que alcanzan también, y es su principal excelencia, á las formas cristalinas y á las estructuras íntimas de las agrupaciones constitutivas de las rocas, siendo el estudio de semejantes estructuras á modo de complemento y comprobación de los métodos sintéticos aplicados en cada uno de los casos particulares.

Debe notarse la eficacia del empleo del agua, á temperatura y presión elevadas, en su calidad de agente modificador en los procedimientos por vía húmeda, aun tratán-

dose de cuerpos insolubles ó poco menos; se aplica con frecuencia y es seguro sistema para reproducir la variedad del cuarzo llamada tridimita y no pocos silicatos hidratados, en particular los de origen sedimentario. Al lado de este método se puede poner el consistente en arrastrar ciertos materiales, volátiles á temperatura elevadísima, por corrientes de gases inertes ó con vapor de agua recalentado y muy cercano de la tensión de disociación, consiguiéndose por tal medio sublimados cristalinos de singular apariencia.

Quizá son menos notables, desde el punto de vista de la síntesis mineral, aquellas reacciones lentas llevadas á cabo entre líquidos ó disoluciones de sólidos y gases en líquidos, á través de membranas y cuerpos porosos, estableciéndose corrientes y movimientos internos en los que reproducense por ventura muchos fenómenos naturales, puesto que el tabique actúa de dos maneras, una selectiva, en cuanto no consiente el paso á su través sino de determinadas substancias, y la otra, porque realiza una gran división de los cuerpos, y es como si colocara frente á frente, libres, aisladas, las moléculas que han de reaccionar en su medio adecuado. Otra mayor transcendencia, en el orden de la explicación de ciertos fenómenos geológicos, derivada de la facultad selectiva de los tabiques porosos, según la naturaleza de los mismos, es su incapacidad para dejar paso á los coloides; de modo que permiten obtener líquidos que los contengan puros; y si tales medios están sometidos á temperaturas y presiones convenientes se efectuará luego la coagulación. De esta manera formáronse sin duda los minerales y los materiales de la corteza terrestre considerados representantes de la sílice gelatinosa de los laboratorios y de los hidróxidos metálicos susceptibles de afectar el estado coloidal. Tales reacciones lentas, sin gran trabajo reproductibles, permiten explicar ciertos

fenómenos de la índole del paso del yeso á la anhidrita, la formación de la glauberita, la de los hidratos naturales del sulfato de sodio, interviniendo en ello la materia orgánica; y la de la tenardita, cuya variedad azul debe su coloración á que retiene compuestos de molibdeno.

Estas reacciones y muchas otras están condicionadas por el estado físico de los cuerpos y por la presencia de algunos, de ordinario muy divididos, que sin entrar en ellas las determinan y llevan á término, ó cuando menos sirven para iniciarlas y luego continúan hasta su fin. Este es el papel de los catalizadores y fermentos minerales y se comprende de qué suerte podrán actuar en condiciones adecuadas y detener su acción en la innumerable serie de sistemas reaccionantes del interior de la tierra, cuyas condiciones están sin cesar cambiando y formándose unos cuerpos de la destrucción de otros, por ser el continuo mudar la condición de la vida.

Recordaré ahora los resultados experimentales, no muy numerosos en verdad, conseguidos aplicando medios mecánicos; me refiero á las reacciones químicas efectuadas á presiones considerables, cuyo punto de partida son los experimentos de Spring, fundados en las mutuas acciones de los metales, sin intermedio de ningún género. De todos vosotros son seguramente conocidos fenómenos como la formación del latón en la superficie de contacto de dos discos pulimentados, uno de cobre y el otro de cinc, sometidos á enormes presiones, en cuyo caso hay mutuas penetraciones de las masas de los metales; y en latón conviértese, mediante las mismas presiones reiteradas, una mezcla de finas limaduras de ambos cuerpos, hecha en las proporciones adecuadas de cada uno de ellos. Es tan sólo de Septiembre de 1910 la Memoria en que Briner y Wroczynski consignan sus experimentos, llevados á cabo en el laboratorio del profesor Guye, de Ginebra, concernientes á

las reacciones químicas en sistemas gaseosos sometidos á enérgicas presiones, que alcanzaban hasta novecientas atmósferas. Operaron como Spring y como Ipatieff, cuando estudiaba el reemplazo ó sustitución de los metales por el hidrógeno, con sistemas heterogéneos, en tubos apropiados y á presión directa, midiendo las reducciones de volumen debidas á formación de nuevos compuestos y diferenciando las reacciones que se producen á la temperatura ordinaria y las que la han menester más elevada; los productos que resisten ó son indiferentes á las presiones, como el protóxido de nitrógeno ó el sistema $N_2 + 3H_2$, y aquéllos que cambian ó se modifican y de qué manera, y los hechos observados respecto de todo ello parecen demostrar que la presión actúa tendiendo á destruir los estados transitorios ó falsos equilibrios.

Fundados en los hechos ya demostrados, no parece aventurado el admitir que, en general, la presión es una causa aceleradora de las reacciones químicas en los sistemas heterogéneos gaseosos, y habiendo en ellos suficiente energía disponible, manifiéstanse, según los autores citados, fenómenos químicos correspondientes á la constitución de un equilibrio más estable. He de limitarme, pues el tiempo apremia, á esta sola indicación respecto de un asunto poco conocido y estudiado á la hora presente y que es de capital importancia en la Geoquímica.

Sabido es cómo el medio en que se efectúan influye en las reacciones químicas, y siendo líquido ó gaseoso, su velocidad ha de estar necesariamente ligada con la fluidez de aquél. Todavía, á pesar de los experimentos realizados, no ha sido posible determinar en números el valor de semejante relación, ni el orden á que pertenece; bien es cierto que en las medidas relativas á la viscosidad de los medios es factor primordial la temperatura, y no está averiguado cómo modifica su fluidez el calor produci-

do en aquellas reacciones que se efectúan con cierta lentitud y en las cuales no es notorio el aumento de velocidad correspondiente al aumento de fluidez del medio. Los experimentos que acerca del particular conozco, procedentes del Laboratorio de mi buen amigo el profesor Guye, de la Universidad de Ginebra, se limitan á reacciones orgánicas, poco complicadas, que confirman opiniones ya sabidas tocante á las influencias de las variaciones de los calores específicos en las variaciones de viscosidad de los medios.

Grande es la diversidad de otro linaje de reacciones químicas, importantísimas desde el punto de vista de la síntesis mineral, provocadas por las corrientes eléctricas, sea cualquiera su origen, y que han debido influir en la formación del planeta y que influyen de modo continuo en su evolución. Son unas veces simples fenómenos de transporte; otras precipitación de metales, constituyendo depósitos más ó menos considerables; en ocasiones desprendimientos gaseosos y disociaciones electrolíticas, que pueden ir acompañadas de manifestaciones exteriores de extraordinaria energía; pero, en suma, reacciones y fenómenos que sólo en intensidad se diferencian de los realizados en los Laboratorios y que la industria utiliza en sus menesteres. Como el calor, el agua y la presión, influye la electricidad, y acaso con mayor fuerza, en las reacciones geológicas, y en ellas se desarrolla también, produciendo corrientes y fenómenos de tensión, determinados por diferencias de potencial, conforme acontece de ordinario, sólo que en el caso presente las proporciones son mayores y los límites están bastante más alejados. En cambio, las perturbaciones, tratándose de masas y energías enormes, son en gran número y modifican á cada punto los resultados.

Teniendo en cuenta las indicaciones anteriores, que sólo por tales y muy someras ha de disputarse lo que llevo di-

cho, resulta que los elementos constitutivos del interior de la tierra son los mismos que encontramos en su superficie, idénticos á aquéllos cuya existencia en los lejanos astros revela el análisis espectral. Estos elementos, ya aislados ó en combinación, forman indefinida serie de sistemas de reacciones, heterogéneos, cambiando sin cesar; pero que no encuentran nunca su equilibrio estable y definitivo, en cuanto unos influyen sobre otros y en sus mutuas acciones impiden que se realice la separación total de los dichos elementos, que acaecería si no interviniesen las influencias externas y si los medios en que se realizan, no ajenos á ellas, no impidieran que tales reacciones sean limitadas; que si el efecto de muchas es la disociación del sistema en sus moléculas más sencillas, el propio calor que las desunió puede volver á unir las con estrechos lazos.

Hay que tener en cuenta que si reaccionan masas de análoga naturaleza á las que en los laboratorios manejamos, obedeciendo sus combinaciones á las mismas energías, habiendo sólo diferencias de orden cuantitativo, á su régimen deben aplicarse los principios que gobiernan los equilibrios químicos, siquiera los intraterrestres tengan el carácter de transitorios, por más que, con relación al tiempo que nos es dado considerarlos, parezcan estables y definitivos. Bien se comprende como en el interior de la tierra han de coexistir los estados sólido, líquido y gaseoso y se conciben sistemas de un sólo cuerpo, ó sistemas binarios en los cuales los cambios de uno en otro sean simultáneos, mediante las acciones del calor y para semejanza recordaré el sistema de la aleación de oro y plata calentada en un recipiente adecuado de cuarzo fundido de la que, mediante destilación, se separa la plata, ó el conocido método de análisis de los latones aprovechado la volatilidad del cinc y arrastrando su vapor por una corriente de nitrógeno y en otro sentido el procedimiento de excelentes resultados para

separar los diferentes gases que forman determinada mezcla empleando el sistema de la liquefacción fraccionada, que son en definitiva medios físicos fundados en las propiedades individuales de sus constituyentes.

Una genial aplicación de las doctrinas de la Química-Física á ciertos fenómenos geológicos, hizo el gran químico Van't Hoff, cuya prematura muerte llora la ciencia, y no he menester recordar su feliz explicación del génesis de los depósitos salinos de Stassfurt, y al propio sabio pertenece la fecunda idea de los puntos de transformación, determinables en las reacciones reversibles. Y que no se trata de hermoso alarde de ingenio ó de una teoría sin fundamento; demuéstrole el propio maestro experimentalmente en la disociación de la carnalita, produciendo aislados los cloruros de potasio y de magnesio y determinando los límites de temperatura entre los cuales es posible la existencia de aquel mineral á la presión atmosférica: las aplicaciones de la fecunda idea de los puntos de transformación á la Geoquímica han de ser en breve extensas y singulares.

Junto á las ideas, principios y hechos que vengo apuntando, referentes al mecanismo de las reacciones, es menester poner dos leyes fecundas que constituyen el núcleo de la doctrina de los equilibrios químicos: la ley de las masas y la ley de las fases. Excusado sería entrar en pormenores ni ocuparme tampoco en las velocidades de reacción, ni en la superposición de reacciones, ideas nuevas de la Química-Física que consienten explicar muchos fenómenos y que apoyan las modernas concepciones acerca de la constitución de la Tierra, que tan personal doctrina ha inspirado al Sr. Mier; sólo he de permitirme indicar cierta analogía que pudiera existir entre determinados movimientos del suelo y su manera de producirse en un centro ó punto determinado, á causa quizá de un cambio de equi-

librio más ó menos violento, y la onda explosiva, porque juzgo inherentes á los movimientos sísmicos y á todo fenómeno demostrativo de la no consolidación de la corteza terrestre, determinadas reacciones químicas de aquellos sistemas polivariantes que de continuo mudan y cambian según la variación y el cambio de las energías que los han producido y los sostienen. Queda aquí apuntada solamente la idea, necesitada de mayor estudio y desarrollo, hasta demostrar que las curvas de los registros sismográficos indican movimientos ondulatorios semejantes á los característicos de las explosiones.

Vense con frecuencia hechos en apariencia desemejantes y hasta contradictorios, y tan apartados unos de otros, que parece empresa inútil relacionarlos, y sin embargo hay á la continúa un hilo de luz por el que se unen, y una ley llega á explicarlos y en un mismo principio se confunden. Tal ha sucedido con los fenómenos que dieron origen á la ciencia nueva de la *Química-Física*, y las aplicaciones de sus principios al estudio de los estados alotrópicos de los metales, y en particular á la siderología; tal acontece, de la propia manera, respecto de las doctrinas de los equilibrios químicos, en particular de los heterogéneos y los transitorios, aplicados á las reacciones geoquímicas que pudieron intervenir en la formación de la Tierra y que contribuyen al mecanismo de su vida.

Iniciase ahora en España su estudio por el de los fenómenos sísmicos, ya metodizado en los proyectos de nuestro compañero, que tienen buen comienzo de realización en el discurso con que nos ha regalado y en la admirable Estación de Toledo, que á sus grandes iniciativas se debe, y en la cual ha puesto el Sr. Mier todos sus cuidados y todos sus afanes. Bienvenido sea á nuestra compañía quien tantos méritos reúne y quien tanto lleva hecho por la ciencia española, demostrando siempre su patriotismo y aque-

lla virtud del desinterés, norma de todo buen investigador. Y al felicitar al amigo, felicito también á la Academia, que hace tanto tiempo ha reconocido los merecimientos y las elevadas dotes del Coronel Mier, llamándolo á formar parte de ella; que es la mayor recompensa á que pueden y deben aspirar nuestros trabajos científicos, el estímulo para perseverar en ellos y el acicate para hacerlos mejores y más completos. No corresponde, en verdad, mi discurso ni á la categoría del Sr. Mier ni á la solemnidad presente, y habéis de perdonar sus faltas é insuficiencia en gracia de la buena voluntad que lo ha dictado, puesta siempre al servicio de la Academia y dispuesta á enaltecer la labor fecunda de cuantos investigando en los diversos órdenes de la ciencia realizan, como el Sr. Mier, descubrimientos originales para honra y gloria de la Patria.

RELACIÓN DE LOS TRABAJOS CIENTÍFICOS

DE

D. EDUARDO MIER Y MIURA ⁽¹⁾

- * *Mareómetros y mareógrafos de sifón.*
Publicado en la «Revista de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales» de Madrid, en 1908.
- * *El Gravígrafo.*
Publicado en «La Gaceta Industrial», «La Ciencia eléctrica» y «La Naturaleza», refundidas, en 1891, é informado favorablemente por esta Academia.
Ventajas del mayor rendimiento de los propulsores náuticos.
Publicado en la misma revista que el anterior, 1892.
Cronógrafos fotográficos.
Publicado en la misma revista y en igual año que el anterior.
- * *Teoría elemental de los péndulos horizontales.*
Publicado en la citada «Revista de la Academia de Ciencias», en 1910.
Cotas ordinarias, ortométricas y dinámicas.
Publicado en «La Naturaleza», en 1893.
El nivel de los mares.
Publicado en «La Naturaleza», en 1895.
- * *Marégrafos fotográficos.*
Publicado en «La Naturaleza», año 1890.
Nuevos buques submarinos.
Publicado en «La Naturaleza», 1896.
El problema aeronáutico y la causa de su descrédito.
Publicado en «La Naturaleza», 1890.
- * *Navegación submarina: Planteo del problema. Un submarino más. Pruebas de los buques.*
Publicado en «La Naturaleza», 1890.

(1) Los trabajos cuyo título se marca con un asterisco, además de ser originales, se refieren á invenciones ó contienen alguna idea nueva del autor.

Los rayos X.

Publicado en «La Naturaleza», 1896.

Torpedos automóviles.

Publicado en «La Naturaleza», 1896.

El «Príncipe de Asturias».

Publicado en «La Naturaleza», 1896.

«Termo-limitador Peña-Iglesias.»

Publicado en «La Naturaleza», 1897.

- * *Navegación submarina. Aparato de profundidades y de horizontalidad.*

Publicado en la «Gaceta Industrial» y «Ciencia eléctrica», en los números de Enero, Febrero y Marzo de 1901.

- * *Las pilas eléctricas del porvenir.*

Publicado en «La Naturaleza», 1896.

Motores de amoníaco.

Publicado en «La Naturaleza», 1897.

Tranvías eléctricos. Algunas consideraciones acerca de su rendimiento industrial.

Publicado en «La Naturaleza», 1897.

- * *Aparato Jaderin para medir bases geodésicas.*

Publicado en «La Naturaleza», 1896.

Usos del acetileno.

Publicado en «El Memorial de Ingenieros del Ejército», 1897.

Tranvías urbanos. Elección del sistema de arrastre.

Publicado en «La Naturaleza», 1897.

Arrastre eléctrico por acumuladores.

Publicado en «La Naturaleza», 1897.

- * *Nuevo método para obtener hidrógeno.*

Publicado en «La Naturaleza», 1900.

Transmisión de la luz á través del espacio.

Publicado en «La Naturaleza», 1898.

Granadas-torpedos.

Publicado en «La Naturaleza», 1898.

Generador de acetileno.

Publicado en «La Naturaleza», 1901.

- * *Nuevos carburadores.*

Publicado en «La Naturaleza», 1901.

Efectos de las granadas-torpedos.

Publicado en «La Naturaleza», 1898.

Torpederos submarinos.

Publicado en «La Naturaleza», 1898.

Ligera explicación de la telegrafía sin alambres.

Publicado en «La Naturaleza», 1899.

- * *Tracción eléctrica por cable aéreo.*
Publicado en «La Naturaleza», 1901.
- Aguas altas artificiales.*
Publicado en «La Naturaleza», 1900.
- Datos sobre el servicio mareográfico.*
Publicado en «La Naturaleza», 1900.
- El gas aerógeno.*
Publicado en «La Naturaleza» 1900.
- * *Pérdidas producidas por los contadores de energía eléctrica y medios de disminuirlas.*
Publicado en «La Naturaleza», 1901.
- Nivel automático, sistema Cortés.*
Publicado en «La Naturaleza», 1901.
- ¿Inconvenientes de los contadores electrolíticos?*
Publicado en «La Energía eléctrica», 1905.
- * *Las aguas potables y el cólera epidémico.*
Publicado en «La Revista popular de conocimientos útiles» como fundamento de un aereador automático, ideado por el autor y favorablemente informado por la Academia de Medicina de Madrid.
- * *Contador de electricidad Krumer.*
Publicado en 1907, en un folleto de 89 páginas, con el pseudónimo de Víctor Mauri, y extractado por «La Lumière Electrique y el «Bulletin de la Société belge de Electriciens», en 1909.
- Noticia sumaria de los trabajos científicos de D. José Echegaray.*
Publicado en el número dedicado por «La Energía Eléctrica» al Sr. Echegaray, en 1905.
- * *Contador de electricidad Hispania.*
Publicado en un folleto anónimo, en 1904. De este contador dió cuenta «Le Revue scientifique», en 1905.
- * *Aparato para medir la frecuencia de las olas.*
Presentado en el Congreso de Zaragoza de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, y publicado en 1909 en el «Memorial de Ingenieros del Ejército».
- * *Inflamación de cargas explosivas por medio de la electricidad.*
Publicada en la «Electrodinámica industrial», del Sr. Rojas, constituyendo uno de sus capítulos.
- Aplicación de la electricidad al estudio y servicio de las armas de fuego.*
Publicado como el trabajo anterior.
- Proyectores de luz eléctrica.*
Publicado como los dos trabajos anteriores.

- * *Marégraphie Mier á enregistrement mécanique.*
Publicado por el Instituto Geográfico y Estadístico.
D. Francisco de Paula Rojas —Necrología.
Publicado en «La Energía eléctrica». 1909.
- * *La Electricidad y la Aeronáutica.*
Publicado en «La Energía Eléctrica», 1909.
- * *Aplicaciones de la electrolisis del agua.*¹
Apareció en 1902, en el número extraordinario de «La Energía Eléctrica», publicado al subir al trono S. M. el rey D. Alfonso XIII.
- * *Barómetro de precisión.*
Publicado en los Anales de la Sociedad Española de Física y Química. 1903, Septiembre.
- * *Una disposición barata para estudiar la descarga de los acumuladores eléctricos.*
Publicado en los Anales de la Sociedad Española de Física y Química.
- * *Influencia de la porosidad de las placas en la capacidad de los acumuladores.*
Publicado en los Anales de la Sociedad Española de Física y Química. 1903, Abril.
- * *Algunos datos acerca de la frecuencia de las olas y de su relación con ciertos microsismos.*
Publicado en los Anales de la Sociedad Española de Física y Química. 1908, Diciembre.
- * *Nota acerca del estudio de los contadores de electricidad.*
Publicado en los Anales de la Sociedad Española de Física y Química, 1904, Junio.
- * *Teoría de las aproximaciones numéricas.*
Publicado en 1888. Mereció favorable de esta Academia.
- * *Un aparato para impedir el choque de los buques, y otro para impedir el de los trenes.*
Publicado en «La Naturaleza». 1900.
- * *Nueva aplicación del acetileno.*
Publicado en «La Naturaleza», 1898.
- Reseña de los trabajos de los Ingenieros del Ejército en el Instituto Geográfico.*
Publicado en el número extraordinario del «Memorial de Ingenieros del Ejército» de Mayo de 1909.
- Rapport sur les travaux de la Delegation pour l'adoption d'une langue scientifique, auxiliaire, internationale.*
Publicado en las «Comptes-rendus des seances de la troisième

reunión de la Comisión permanente de l'Association internationale de sismologie».

Note sur les stations sismologiques de l'Espagne.

Publicado en las mismas actas que el anterior trabajo.

Memoria acerca de la organización del servicio sismológico en España.

Publicado en el «Memorial de Ingenieros del Ejército», en 1910.

No se incluyen en la anterior relación:

Las *Crónicas científicas y bibliográficas* publicadas durante muchos años en el *Memorial de Ingenieros del Ejército*.

Muchos artículos científicos y bibliográficos, cuyo número pasa de trescientos, publicados en «La Naturaleza», firmados con pseudónimos ó con contraseñas especiales, por considerarlos su autor poco ó nada originales.

Varios trabajos, referentes á nivelaciones de precisión y á mareógrafos y estaciones meteorológicas, que han visto la luz en las «Memorias del Instituto Geográfico y Estadístico».

Los estudios é informes hechos por el autor en varias comisiones oficiales, alguna de ellas con los Sres. Echegaray y Rojas.

Los informes, peritaciones, proyectos de ferrocarriles y de tranvías eléctricos, realizados como trabajos particulares por el autor.

Los estudios é informes oficiales referentes á los cargos desempeñados por el autor como Jefe del Negociado de Geodesia del Instituto Geográfico y Vocal del Consejo del servicio geográfico de ese centro, de la Comisión permanente de Pesas y Medidas y de la Junta del Catastro.

Los estudios de variada índole, muchos de ellos referentes á invenciones y trabajos de investigación, que aún no han visto la luz pública, aparte de otros, en muy escaso número, que, estando publicados, son de polémica ó no pueden considerarse realmente como científicos
