

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS  
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

---

# DISCURSO

LEÍDO EN EL ACTO DE SU RECEPCIÓN

POR EL ILUSTRÍSIMO SEÑOR

D. VICENTE INGLADA ORS

Y

# CONTESTACIÓN

DEL EXCELENTÍSIMO SEÑOR

D. JOSÉ MARÍA DE MADARIAGA

EL DÍA 6 DE FEBRERO DE 1929



TALLERES DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO Y CATASTRAL  
MADRID

1929

DISCURSO

DEL ILUSTRÍSIMO SEÑOR

D. VICENTE INGLADA ORS

*SEÑORES ACADÉMICOS:*



Al entrar, lleno de emoción, en esta Academia, que enaltecieron siempre los más ilustres sabios españoles, dos opuestos sentimientos embargan mi alma: de un lado el de vivísima gratitud por el gran honor conferido, que me impulsa a presentarme a vosotros cuanto antes para hacer público mi profundo reconocimiento, y de otro lado un temor indecible, natural y muy fundado, vista la insignificancia de mis méritos, que me hace vacilar en este instante para mí tan honroso como solemne.

Nunca la realidad, tiránica y voluble, mostró un contraste más vivo entre la excelsa figura del sabio Carracido, cuya muerte lloramos, y la modestísima persona del Académico, que sólo por indulgencia vuestra viene a sucederle. Hablo de sucesión, como efecto de un azar cronológico, pues no puedo aspirar a ocupar su puesto. Ese sillón que exaltaron en su gloriosa vida científica dos ilustres Rectores de la Universidad Central, D. Manuel Ríoz y Pedraza y D. José Rodríguez Carracido, el primero treinta y seis años y el segundo cuarenta, va a quedar vacío, mientras yo viva, como respetuoso homenaje a su memoria: me limitaré a ser el celoso y fidelísimo guardián de tan honroso puesto para evitar el acceso de los que quisieren ocuparlo.

Una tradición, que acato complacido, me obliga a resumir en breves páginas, y como elogio póstumo, la labor científica

de Carracido: voy a hacerlo, pues, aun seguro de no acertar a reflejar, en toda su magnificencia, los rasgos característicos de esa vida prodigiosa en que destacan igualmente el Académico, el Catedrático, el pensador profundo, el investigador incansable y el artífice de la palabra.

Nació D. José Rodríguez Carracido en Santiago de Galicia el 21 de Mayo de 1856. Hijo de modestos artesanos, su gran aplicación hízole destacar en los primeros estudios, y terminó, con premio extraordinario, el bachillerato en 1871 y la licenciatura de Farmacia en 1874. Con un prestigio impropio de sus dieciocho años de edad, cursó el doctorado en la Universidad Central y la licenciatura de Físico-químicas en los años 1874 a 77.

Este período es el más penoso de su vida, pues al mismo tiempo que seguía los cursos universitarios, había de procurarse los medios de subvenir a sus necesidades. Ello le obligó a dar clases de bachillerato, lo que le mostraría acaso sus grandes aptitudes para la enseñanza.

A los pocos meses de doctorarse, en Octubre de 1875, tras rudas oposiciones, ingresó con el número uno en el Cuerpo de Sanidad Militar, al que perteneció hasta 1880, en que pidió la licencia absoluta para consagrarse a la cátedra, que le atraía con fuerza irresistible. El Cuerpo de Sanidad Militar no olvidó el honor que le había hecho Carracido al pertenecer a él, pues años después le nombró Inspector farmacéutico honorario.

A los veinticinco años de edad ganó, tras brillantísimos ejercicios, la cátedra de Química orgánica de la Facultad de Farmacia, y empezó su formidable labor pedagógica, que ha nutrido a los que en estos últimos cuarenta y cinco años tuvieron la suerte de pasar por sus aulas. Explicaba la asignatura con una claridad y precisión de lenguaje que corrían parejas con la amenidad incomparable que solía dar a sus

lecciones. En su afán insaciable de saber, no cesaba de estudiar cuanto se publicaba, por lo cual poseía extensos conocimientos en la asignatura que enseñaba y en las demás disciplinas científicas.

Por eso, las explicaciones de su cátedra no se repetían de un año a otro, y deleitaban a cuantos las oían. Ésta fué, sin duda, la gran vocación de Carracido, quien así lo reconocía, pues al jubilarse dijo que si volviera a nacer, tornaría a ser Catedrático. Siempre se consagró a su clase, a la que no faltó más que los días en que una enfermedad o sus múltiples deberes oficiales se lo impidieron.

Durante veintitrés años explicó la asignatura de Química orgánica, y en 1898 dió un ejemplo sin precedente en la cátedra española, pues hizo oposiciones a la de Química biológica, que acababa de crearse, y ganó por sus ejercicios insuperables. Sin estímulo de un mejor sueldo o mayor honor y exponiendo su brillante posición científica fué a las oposiciones de la nueva cátedra, como la cosa más natural del mundo. ¡Y diez cátedras hubiera ganado, pues le sobraban aptitudes para ello!

En 1908 ocupó el cargo de Decano de la Facultad de Farmacia, y en 1916 fué nombrado Rector de la Universidad Central, cargo para el que fué reelegido por el Claustro en 1922 y confirmado después, al jubilarse, por petición unánime de los decanos, profesores, alumnos y muchas entidades científicas. La Universidad de Madrid debe a su Rectorado inmensa gratitud, pues por las felices iniciativas de Carracido y por su habilidad insuperable, alcanzó un prestigio extraordinario y un crédito en el público que no podrá ser superado.

La Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales comprendió muy pronto las dotes extraordinarias de Carracido y le llamó a su seno en 1887, cuando aún no había

cumplido los treinta y un años. A su notable e interesante discurso inaugural «Concepto actual del elemento químico» contestó el que él llamaba su maestro, D. José Echegaray, y que lo había sido en verdad de varias generaciones.

Su labor como Académico, como Presidente de la Sección de Físico-químicas y posteriormente como Presidente, está aún presente en vuestra memoria y fué de fecundidad extraordinaria: la claridad de sus informes, el acierto de sus iniciativas y la actividad que desinteresadamente desplegaba por todo cuanto redundaba en beneficio de la Academia han dejado un ejemplo digno de imitar y que perdurará en la memoria de todos.

Ingresó en la Academia de Medicina en 1906, y en la de la Lengua en 1908, para cubrir la vacante producida por el fallecimiento del insigne filólogo D. Eduardo Benot. Y es que Carracido, lo mismo que Echegaray, Ramón y Cajal, Benot, Cortázar y tantos otros, a más de hombres de ciencia, son, acaso sin saberlo, o por lo menos sin proponérselo, ni haber hecho nada por conseguirlo, maestros del lenguaje, en cuyos escritos refulge un estilo elevado, poético y brillante, que los consagra como excelsos artífices de la palabra.

Entre las obras científicas de Carracido destacan *La Nueva Química*, sus dos tratados de *Química orgánica y biológica*, el *Estudio físico-químico y biológico de las aguas de Carlsbad*, que le encargó el Municipio de dicha ciudad, *La Evolución de la Química* y el *Procedimiento inventado por los españoles para la explotación de los minerales de plata*.

Sus trabajos, estudios y artículos, publicados en la Revista de la Academia, en los Anales de la Sociedad Española de Física y Química, en la Revista científica francesa, en los Boletines de la Asociación española para el Progreso de las Ciencias, cuyo era el Presidente, y en el Monitor de la Farmacia y de la Terapéutica, son numerosos y dignos de estu-

dio. En todos ellos campea la profundidad del concepto, la claridad de la exposición y la galanura del lenguaje, que daban a sus escritos un atractivo irresistible.

Como orador tuvo éxitos rotundos en su larga vida, pues la palabra, de dulce y atractivo tono, seguía dócilmente al pensamiento, siempre original y profundo, y fluía tan natural y sencilla, que los oyentes parecía que pensaban espontáneamente lo mismo que les decía Carracido en su cálido y amenísimo verbo.

Su primer discurso *La alegación del estudiante*, pronunciado a los diecisiete años de edad, causó en la Universidad la admiración de sus profesores y condiscípulos. De cuán fácil era a Carracido preparar una disertación da idea la siguiente y curiosa anécdota: En el Ateneo, el público esperaba cierto día oír una conferencia; como a la hora anunciada el conferenciante no apareciera, Carracido subió a la tribuna e improvisó su magistral discurso titulado «Ideas estéticas de la Música».

Alcanzó todos los honores y puestos con que puede soñar el hombre de ciencia: fué Consejero de Instrucción pública y de Sanidad durante doce años, Senador vitalicio, Presidente o socio de honor de muchas entidades científicas y docentes de España y de gran número de naciones extranjeras; Gran Cruz de la Real y Distinguida Orden de Carlos III y de la Orden Civil de Alfonso XII, Doctor *honoris causa* de las Universidades de Lisboa, Coímbra y Oporto, etc., etc.; puede decirse, en síntesis, que ningún honor ni distinción faltó a su figura prestigiosa. Su gran modestia y la sencillez de su carácter le hicieron renunciar el cargo de Ministro que le fué ofrecido.

Fué un defensor entusiasta del Cuerpo de Farmacéuticos y un patriota insigne que, no contento con conquistar a su patria los mayores triunfos, trató de estrechar los lazos cien-

tíficos que la unen a Portugal y a las Repúblicas hispano-americanas. Su último discurso, como Presidente de esta Academia, fué en 23 de Noviembre de 1927, en honor del Dr. Gallardo, Corresponsal de ella, Presidente de la de Buenos Aires y Ministro de Relaciones extranjeras en la República Argentina.

Aún parece resonar en este salón su voz cariñosa y elocuente. No podíamos pensar, al verle en la plenitud de sus facultades, que la muerte acechaba traidora para arrebatarle a los pocos días.

¡Descanse en paz el ilustre sabio, gloria de la ciencia española, el insigne Académico, el gran orador y maestro incomparable, el amigo afable y leal, cuya bondad de corazón y modestia sin límites captaron las simpatías de cuantos tuvieron la dicha de tratarle y de venerarle por lo tanto!

\* \* \*

Cumplido este triste deber, un precepto reglamentario me obliga a leer el discurso sobre tema científico, y encomendándome a vuestra indulgencia voy a exponeros, breve y razonadamente, algunas consideraciones acerca de la



## TRASCENDENCIA CIENTÍFICA

---

### \* DEL FENÓMENO SÍSMICO \*

---

**E**L fenómeno sísmico es uno de los más antiguos que ha presenciado la Tierra y acaso el que más tardó la ciencia en conocer de un modo preciso. En el período inicial de formación de nuestro Globo, su masa gaseosa se agita al condensarse, y cuando el proceso de enfriamiento logra constituir una débil e irregular película, que separa la fundida masa interna del externo conjunto de gases y vapores, esa rudimentaria corteza no deja un solo instante de sufrir los furiosos embates de los dos océanos que la aprisionan: por un lado, la potente tensión del fluido interno que la soporta; por otro, la fricción de la capa atmosférica que la barre con sus violentos torbellinos; apenas surge a la vida, el sismo se adueña de ella y la agita con sus terribles sacudidas.

Para lograr al fin su condición de tierra firme, ¡cuántos y cuántos cataclismos ha de sufrir, que la destrozarán mil veces, proyectando sus fragmentos en la densa atmósfera, de donde caerán al punto para volver fundidos al seno del fluido incandescente que les sirvió de efímero soporte! ¡Cuántas veces esa benemérita materia, que había de ser más tarde el

cimiento de la espléndida arquitectura del suelo, hubo de traspasar en migración rapidísima los umbrales de esos dos flúidos a cuya separación definitiva aspiraba tan penosa y obstinadamente!

En este período ígneo de la historia terrestre, el volcán se unió al sismo en su labor demoledora, y si en un principio sus gigantescas erupciones cubrieron la corteza terrestre con sus enormes coladas para fundirla y refundirla, más tarde sirvieron para aumentar su espesor y consolidarla definitivamente.

El fenómeno sísmico, lo mismo que el volcánico, nacen con máximo poder en la masa del Globo, y es necesario que el decurso del tiempo vaya amenguando su intensidad y frecuencia para que el hombre al fin pueda estudiarlos y observarlos, a prudente distancia, por medio de los registros de esos sensibles aparatos pendulares, que una larga experiencia ofrece como progreso brillantísimo de la ciencia moderna.

¿Qué son en realidad los temblores de tierra de la época histórica, sino modestísimos ecos de aquellos grandiosos fenómenos primitivos, cuya área de conmoción cubría toda la faz de la Tierra?

Si entramos en la época geológica, se advierte ya en los albores de la era primaria la existencia de rocas cristalinas y eruptivas, de antiguos granitos, gneis y micacitas, que muestran las indelebles huellas de intensos plegamientos y fracturas; dada la gran extensión de estas masas plegadas cabe admitir que los concomitantes sismos serían de violencia extraordinaria, de inmensa área de conmoción, pero al avanzar los tiempos geológicos, el sismo mitiga su fuerza y pierde el primitivo carácter de universalidad para concentrarse en regiones cada vez más pequeñas, que acabarán por ser las llamadas zonas débiles o bandas de menor resistencia de la corteza terrestre.

Esta evolución del fenómeno sísmico reviste gran interés científico, pues a la confusión de los sismos primitivos, sin focos ni áreas epicentrales, agitando en bloque y por igual la corteza terrestre, sucederá la precisión de un movimiento individualizado, con infinita variedad de matices en la intensidad, profundidad del foco, extensión del área epicentral, distribución de los efectos destructores y propagación de las ondas elásticas por la masa del Globo. El sismo, pues, prenderá en un reducido segmento cortical, y al individualizarse como fenómeno telúrico permitirá estudiar su distribución en el tiempo y en el espacio, objeto de la Geografía sismológica, y analizar las condiciones de su propagación por la masa terrestre. De este modo el hombre conquistará el Globo, como inmenso laboratorio de física, cuyas capas profundas hará transparentes el mágico poder del rayo sísmico.

En este interesante proceso evolutivo se advierte un hecho singular, tan curioso como sugestivo, tan importante como misterioso. Es la distribución de las tierras y mares en los distintos períodos geológicos y, especialmente, la situación de ese amplio mar interior que en un principio se extendía desde las Antillas a la India y al Pacífico y que por su situación central ha recibido el nombre de Mediterráneo. En el decurso de los períodos geológicos este mar va reduciendo su amplitud a causa de la surrección de ingentes montañas que, especialmente en su parte septentrional, se extienden de E. a W., se van soldando a las moles estables y acrecentando de N. a S. el dominio de las tierras emersas.

Estas potentes masas montañosas surgen en las eras primaria y terciaria. La secundaria, en cambio, se presenta como una época de relativa quietud de los agentes endógenos, y aunque a nuestro juicio se ha exagerado algo esta circunstancia al afirmar que es una era de reposo, orogénico, no hay duda alguna que los fenómenos diastróficos alcanzaron en-

tonces modestas proporciones en relación con los ocurridos en las otras dos eras.

Estudiar la marcha de los fenómenos orogénicos es lo mismo que seguir la de los sísmicos, pues, como es sabido, el temblor de tierra, como causa o efecto, acompaña siempre a toda perturbación de las capas corticales.

¿A qué es debida esa migración hacia el S. de las bandas inestables que van contorneando los bloques continentales? ¿Qué causas pueden explicar la relativa quietud sísmica y orogénica de la era secundaria? ¿A qué cabe atribuir esa curiosa y desigual distribución de los bloques corticales en masas estables y bandas de gran movilidad donde anidan los fenómenos sísmicos y volcánicos? Enigmas son estos que acaso no descifre jamás la Geología ni la Geofísica, pero, sea de ello lo que quiera, lo que nos importa principalmente es hacer resaltar la evolución del fenómeno sísmico, para comprender la extrema importancia científica que ha alcanzado en nuestros días.

Entrando ya en el período histórico podemos afirmar que el sismo, a causa de sus terribles efectos destructores, ha merecido en todo tiempo la observación del hombre. El gran orogenista vienés Suess <sup>(1)</sup> (\*) estudia la posibilidad de causa sísmica en el diluvio bíblico, que luego ha sido negada científicamente.

Los filósofos de la antigüedad, y ante todo Thales de Mileto, creían percibir en el sismo un movimiento que daba al terreno las apariencias de las aguas del mar, por lo cual admitían que la Tierra era una corteza que flotaba en las aguas oceánicas. Esta idea tan antigua renace, con ciertas variaciones, en los tiempos actuales, pues gran número de

---

(\*) Una llamada en esta forma indica el número de orden del trabajo de la lista bibliográfica o de obras del autor, que al final se inserta.

geólogos cree que la corteza terrestre flota en un magma que le sirve de soporte, y si algunos geofísicos no admiten que éste sea líquido, lo suponen dotado de cierta plasticidad que le hace ceder al peso de los bloques corticales. En la teoría de Wegener, cuyo entusiasta partidario entre nosotros es el ilustre geólogo D. Lucas Fernández Navarro, se admite que los bloques de sial, cual ingentes témpanos, marchan a la deriva, flotando en la capa de síma que les sirve de asiento. Y aquí tenéis la idea de Thales de Mileto reformada y vestida con las vistosas galas de la ciencia moderna.

Si Thales de Mileto asignaba al agua papel preponderante, no faltaban filósofos que atribuían al aire la acción sismogénica. El aire circulando por las cavidades y conductos de las capas terrestres tiende a elevarse en busca de salida; para lograrla golpea las paredes subterráneas y produce las sacudidas sísmicas. Este esfuerzo incesante va ensanchando los conductos de circulación aérea, y las conmociones sísmicas remiten gradualmente y acaban por desaparecer. Esta teoría sismogénica de Aristóteles, que Séneca aprobó después, ha tenido la singular fortuna de predominar en la antigüedad y en la Edad Media, y aun de rebasar el Renacimiento, pues Froidmont <sup>(2)</sup>, en 1646, la aprobaba plenamente. En el siglo XIX la teoría aristotélica ha vuelto a aparecer con ligeras variantes. El aire se ha substituído por el vapor de agua o los gases desprendidos del magma, y ésta es la base de la teoría sismogénica, que pudiéramos llamar explosiva, en que se ha fundado la escuela italiana dirigida por Rossi, y cuya tendencia se manifiesta bien a las claras en el título de *Meteorología endógena*, adoptado por él <sup>(3)</sup> y por Goiran <sup>(4)</sup> para sus principales investigaciones sísmicas.

Si las ideas de Aristóteles acerca de la génesis del sismo aparecen ligeramente modificadas veinticuatro siglos después, el juicio que el público culto formará de los progresos de la

Sismología no será muy optimista. Esta conclusión, por amarga que parezca, sólo muestra que el hombre ha tardado muchos siglos en encontrar el verdadero camino de la investigación sísmica, pero no es menos cierto que, una vez descubierto, los progresos de la Sismología en estos últimos cuarenta años han sido tan rápidos y brillantes, que ninguna otra ciencia puede compararse a ella.

Las teorías eléctricas, volcánicas y explosivas ideadas en los siglos XVIII y XIX, que explican las sacudidas sísmicas por las acciones químicas de un medio general interno, se han estrellado ante el hecho, probado por la Geografía sismológica, de existir regiones estables; objeción fundamental que echa también por tierra la idea de que los volcanes puedan ser órganos de comunicación entre la corteza terrestre y el núcleo.

Tales teorías han tenido que ceder su puesto a la que explica los sismos por causas tectónicas, basada en la observación de los hechos, y que al estudiar la distribución geográfica de las zonas sísmicas las pone en relación con las fuerzas endógenas que han dado a la Tierra su relieve actual, erigiendo sus cadenas de montañas y excavando sus depresiones oceánicas.

Los sismos permiten asistir a la ejecución en las capas corticales de toda clase de dislocaciones: fracturas, pliegues, inversiones, resbalamientos, bamboleos, exfoliaciones, elevaciones y hundimientos. Si al ocurrir una de estas perturbaciones el esfuerzo que sufren las capas corticales ha de traducirse fatalmente en sacudidas sísmicas, la existencia de éstas ha de mostrarnos las últimas manifestaciones, que se amortiguan gradualmente, de la actividad de las fuerzas endógenas, a las que seguirá el reposo sísmico de las capas corticales, o su muerte mecánica, según la sugestiva denominación de Sieberg.

El régimen de las sacudidas sísmicas de un cierto lugar indica el estado de su evolución, refleja su pasado geológico y es en cierto modo la clave de su porvenir. La sísmica de una región es, pues, elemento indispensable para su estudio geológico, ya que interpretando los hechos del pasado explica las variaciones del relieve terrestre y da la razón de ser de sus formas estructurales.

Puesto que las sacudidas sísmicas acompañan a toda perturbación de carácter endógeno, es evidente que la monografía de un sismo importante dará interesantes pormenores acerca de la actuación de las fuerzas endógenas en relación con las condiciones geológicas de la región conmovida.

Para conocer el proceso tectónico hay que calcular, en cada punto, la intensidad y dirección de la fuerza orogénica. Rudzki, en su *Physik der Erde*, ha tratado algunos casos sencillísimos de la formación de pliegues en las capas corticales. Como a la fuerza orogénica acompaña siempre la sacudida sísmica, reuniendo en un solo estudio la orogenia y la sísmica de una región, formaremos una nueva rama de la Geofísica, y lograremos, por lo tanto, que la descripción geológica de los sismos pase al dominio de las ciencias físicas.

Estas breves consideraciones hacen comprender la importancia geológica del estudio de los sismos, y si dicha rama de la ciencia está aún en su período inicial, porque el sismólogo no suele disponer del gran acopio de datos geológicos—tectónicos especialmente—que requiere el estudio a fondo de un temblor de tierra, hay otra ciencia en cambio, la Sismometría, de reciente creación y de brillante desarrollo, que muestra acaso la fase más interesante de la actual evolución de los estudios sísmicos.

Hasta bien entrado el siglo XIX, la Sismología, reducida esencialmente a la parte descriptiva del fenómeno, no era más

que un confuso montón de hechos, que se trataban de referir a los fenómenos cósmicos y meteorológicos más diversos; buscábase el origen y la causa del sismo fuera de la Tierra, siendo así que tiene asiento y teatro a la vez en las capas corticales. Por pueril y evidente que nos parezca ahora este conocimiento, la Humanidad ha tardado muchos siglos en conquistarlo, durante los cuales, las creencias supersticiosas y las teorías empíricas, se disputaban la explicación de la causa y naturaleza del movimiento sísmico.

A mediados de la pasada centuria el sabio ingeniero inglés Roberto Mallet, en su estudio del gran terremoto napolitano de 1857 <sup>(5)</sup>, obra clásica que marca época en el progreso de la Sismología, trató de llevar a ésta el espíritu científico y de aplicar el cálculo a las observaciones hechas en el terreno a raíz de una catástrofe sísmica.

En las 800 páginas de la Memoria en que Mallet estudia el sismo de la Basilicata, nada se dedica a averiguar las causas del fenómeno; todas las observaciones por él efectuadas, con celo y acierto extraordinarios, se aplican a la determinación de la profundidad del foco. Problema trascendental a que se han dedicado tantas y tantas investigaciones; acaso Mallet presentía que en él radicaba la explicación del misterioso fenómeno y trataba de llegar, por el cálculo se entiende, a la incógnita morada del terrible agente telúrico.

Deslumbrado por la teoría explosiva de los sismos, que en aquella época imperaba entre los hombres de ciencia, Mallet supone que el foco es punctiforme, el rayo sísmico rectilíneo y las sacudidas debidas a vibraciones longitudinales de las partículas terrestres. Hasta aquí la concepción del gran ingeniero inglés es aceptable, pues, si no exacta, es una primera aproximación, tan estimable, que sirve hoy de base a gran número de investigaciones.

Si es cierto que el foco en ciertos terremotos no es real-



mente un punto material, sino un segmento o bloque de la corteza, las dimensiones de éste son tan pequeñas, con relación a la ingente masa del Globo, que se pueden despreciar en primera aproximación; la fase inicial del sismograma es debida a vibraciones longitudinales de las partículas terrestres y, si el rayo sísmico no es rigurosamente rectilíneo, su curvatura es tan pequeña que los errores que resultan al suponerla nula, en el estudio de la propagación de las ondas sísmicas a pequeñas distancias epicentrales, son menores que los errores de observación, de modo que puede prácticamente admitirse la hipótesis del rayo rectilíneo.

En lo que Mallet se apartaba de la realidad era en suponer que la dirección del rayo sísmico es perpendicular a la de las grietas principales observadas en los edificios situados en el área epicentral, y por eso su procedimiento de determinar el foco sísmico por intersección de perpendiculares a dichas grietas, por inexacto y arbitrario, ha sido actualmente desechado. De todos modos, en el concienzudo trabajo de Mallet había un núcleo de observaciones e ideas fecundas, y sus concepciones de epicentro, foco, área epicentral y líneas isosistas han sido incorporadas a la ciencia moderna. La investigación de Mallet supone un gran progreso de la Sismometría, como disciplina de observación, y para adquirir, al fin, de manera definitiva, el título de ciencia exacta sólo faltaba el descubrimiento de los aparatos sísmicos de registro automático. He aquí el hecho moderno que tiene, a juicio nuestro, el mayor alcance en el progreso de la Sismología.

Ya en 1883 Milne, a quien con razón se considera como el padre de la Sismología moderna, escribía esta profética frase: «Es posible que llegue un día en que todo sismo de importancia sea registrado por medio de instrumentos apropiados, establecidos en cualquier punto del Globo.» Seis años más tarde, el malogrado geofísico alemán von Rebeu-Paschwitz <sup>(6)</sup>

encontraba en las bandas de un sensible péndulo horizontal, de registro fotográfico, ciertas oscilaciones que correspondían a un sismo japonés, registrado a 9.000 kilómetros de distancia. De este modo las palabras de Milne expresaban ya un hecho indiscutible.

Este sensacional descubrimiento ha ensanchado el campo de la Sismología, haciéndola progresar de modo prodigioso. El sismólogo, encerrado en su observatorio, sin hacer molestos y peligrosos viajes a las regiones devastadas por los sismos, puede estudiar las particularidades del movimiento sísmico, calcular sus elementos mensurables, el punto y hora en que tembló la Tierra, y todo ello tan cómodamente como el físico o químico hacen sus experimentos y análisis en los laboratorios o como el astrónomo sigue con el anteojo, en el silencio de la noche, la regular y majestuosa marcha de los astros.

El examen de los sismogramas permite deducir inmediatamente la hora de llegada a cada Estación de las distintas ondas sísmicas. Si éstas se propagaran solamente por la superficie terrestre, su velocidad sería sensiblemente constante y el tiempo que tardaran en llegar a las distintas Estaciones proporcional a su distancia epicentral. Esta propiedad se ha observado en las llamadas ondas largas o lentas, que forman la fase principal de los sismogramas, pero no en las ondas longitudinales o transversales, que constituyen los primeros y segundos preliminares de la fase inicial. Ello es debido a que estas últimas ondas se propagan por la masa del Globo, y su velocidad varía según la densidad y elasticidad de las capas que atraviesan, lo que las hace muy adecuadas para estudiar las propiedades físicas del interior de la Tierra. Si éste nos fuera conocido cabría calcular o trazar la trayectoria del rayo correspondiente a una distancia epicentral dada y deducir el tiempo de recorrido de una cierta onda, en función

de dicha distancia. Como nos es desconocido el medio en que se propagan las ondas sísmicas, sólo cabe deducir por los sismogramas las horas  $t$  a que llega a cada Estación una cierta onda. Con tales datos de observación, el sismólogo puede trazar la llamada curva dromocrónica, cuyos puntos tienen por abscisas las distancias epicentrales  $\Delta$  y por ordenadas las horas  $t$  de llegada, referidas a una arbitraria tomada como origen de tiempo. Esta curva dromocrónica, que es la base de los estudios sísmicos, da la variación de  $t$  con relación a la distancia epicentral  $\Delta$ , es decir, la propagación aparente de la onda por la superficie terrestre. La velocidad se obtiene gráficamente midiendo la inclinación de la tangente a la dromocrónica en el punto que tenga por abscisa la distancia epicentral considerada.

El estudio de la curva dromocrónica correspondiente a una cierta onda sísmica, por ejemplo, la longitudinal con que se inicia el sismograma, muestra que la velocidad es infinita en el epicentro, después va decreciendo hasta alcanzar un mínimo a una distancia epicentral inferior a 400 kilómetros y después crece de un modo continuo.

Esta circunstancia de ser infinita la velocidad de propagación de las ondas sísmicas longitudinales en el epicentro es muy digna de tenerse en cuenta para resolver ciertas cuestiones ligadas a la génesis y naturaleza del movimiento sísmico. Para sacar, por ejemplo, la conclusión de que un cierto sismo destructor es debido al movimiento en bloque de un segmento cortical, no basta que las observaciones macrosísmicas indiquen que el fenómeno se percibió a la misma hora en dos puntos,  $A$  y  $B$ , distantes, por ejemplo, 100 kilómetros y que se supone por eso situados en el bloque sismogénico. Si se tiene en cuenta que la velocidad real de las ondas sísmicas longitudinales excede de cinco kilómetros por segundo, se comprenderá fácilmente que las observaciones macrosísmicas, con

errores de dos o tres minutos, y a veces de un cuarto de hora, no sirven para resolver tan delicado problema. Aun suponiendo que en los dos puntos *A* y *B*, próximos al epicentro, estuvieran instalados los sismógrafos, la circunstancia de ser en este punto infinita la velocidad de propagación aparente de las ondas sísmicas exigiría conocer la hora inicial del sismograma en centésimas o milésimas de segundo para afirmar la existencia del bloque sismogénico. En ciertos aparatos dedicados a la prospección sísmica se determinan las horas a la milésima o diezmilésima de segundo, pero en las Estaciones sismológicas los registros suelen dar la llegada de las ondas en segundos redondos y a veces con errores de dos o tres. En estas condiciones, aunque la ciencia tiene medios para resolver el problema sismogénico, no los ha aplicado todavía, pues ello exigiría una densa red de Observatorios y aparatos muy delicados, a más de un personal habilísimo y vigilante para tenerlos en perfecto y no interrumpido funcionamiento.

Acaso pudiera creerse que la observación de la intensidad sísmica diera la solución del problema que estamos tratando, pues el hecho de que el sismógrafo registrara en los dos puntos *A* y *B* la misma aceleración máxima de las partículas del suelo, pudiera ser un sólido argumento en favor de la existencia del bloque sismogénico. Aparte la dificultad de la observación instrumental en las inmediaciones del epicentro, pues si el sismo es destructor el aparato queda en seguida inutilizado, o desmontado por lo menos, hay que tener en cuenta que el número de Estaciones que funcionan actualmente en el mundo son unas 200 a lo sumo, por lo cual la mayor parte de los sismos no encuentran Observatorios inmediatos al epicentro y la apreciación de la intensidad se funda en el examen de los efectos destructores en el terreno y en los edificios, la cual lleva consigo una gran arbitrariedad a causa de los elementos perturbadores. En una misma ciudad, los desper-

fectos causados en los edificios dependen de su tipo de construcción, de los materiales empleados y de la naturaleza del terreno. La constitución geológica del subsuelo influye también de modo notable, y como no se conoce todavía de un modo preciso el efecto que produce, resulta que la apreciación de la intensidad sísmica es muy grosera y no puede dar la solución de tan delicadas cuestiones sismogénicas, que queda reservada al porvenir de la Sismología instrumental o física.

Como ya hemos indicado, las curvas dromocrónicas dan en la superficie terrestre las condiciones de la propagación de las ondas sísmicas. De aquí que los sismólogos, desde un principio, se hayan dedicado a obtener, con la mayor precisión posible, las dromocrónicas correspondientes a las diversas ondas. El primero que dió la de las ondas longitudinales o *P*, de la fase inicial, fué Milne en 1901. Después los investigadores se dedicaron a perfeccionarlas, por lo cual, y en gracia a la brevedad, nos limitaremos a citar los resultados más importantes. En 1905 Benndorf <sup>(7)</sup> daba la dromocrónica de dichas ondas, y con sus investigaciones, y las efectuadas en el Instituto Geofísico de Göttingen por Wiechert <sup>(8)</sup> y sus discípulos, empieza una época de rápidos progresos para la Sismometría. En el año 1906 publicaban Wiechert y Zöppritz <sup>(8)</sup> las dromocrónicas obtenidas en dicho Instituto para las ondas *P*, y más tarde, este último daba las de las ondas transversales o *S*, llamadas también segundos preliminares.

Estas dromocrónicas basábanse en los datos de observación de varios sismos, pero en 1910 el profesor W. Laska <sup>(9)</sup> indicaba su opinión de que a cada sismo corresponde una dromocrónica distinta, opinión que en el mismo año fué confirmada por los trabajos de los profesores Rizzo <sup>(10)</sup> y A. Mohorovicic <sup>(11)</sup>. Este último inició una era de descubrimientos en el estudio de los sismos próximos, con la investigación del ocurrido en Kulpatal (Croacia) el 8 de Octubre de 1909 <sup>(11)</sup>. Las

horas del principio de los sismogramas registrados en numerosas Estaciones hasta la distancia de unos 700 kilómetros, no se ajustaban al trazado de una dromocrónica, sino al de dos. Una de ellas, que empieza en el epicentro y se extiende hasta dicha distancia, corresponde a las ondas que el profesor A. Mohorovicic llamó ondas *individuales* ( $\bar{P}$ ), y más tarde, el profesor E. Rothé, ha denominado *continuas* o *uniformes* <sup>(12)</sup>. La segunda dromocrónica, con tiempos de recorrido más pequeños, corresponde a las ondas normales  $P_n$ : empieza a unos 200 kilómetros de distancia epicentral y continúa hasta los máximos valores obtenidos en el registro instrumental. Entre los 200 y los 700 kilómetros, los sismogramas muestran las dos clases de ondas  $P_n$  y  $\bar{P}$ ; empieza la gráfica con las  $P_n$  en forma de débil emersión, y después siguen las  $\bar{P}$  con impulso más fuerte (ímpetu). Las Estaciones situadas a más de 700 kilómetros sólo inscriben las ondas normales  $P_n$ . Iguales consideraciones pueden aplicarse a los segundos preliminares (ondas  $S_n$  y  $\bar{S}$ ).

Es difícil imaginarse la existencia de dos ondas de la misma naturaleza, longitudinales, por ejemplo, que se propagan en el mismo medio con velocidades distintas, y de tal modo, que una de ellas sólo se registra a partir de una distancia determinada; por esto, el profesor A. Mohorovicic ha encontrado otra explicación <sup>(11)</sup>, basada en la existencia de una superficie de discontinuidad, donde la densidad y las propiedades elásticas de la substancia terrestre varían bruscamente, y las ondas sísmicas sufren una refracción correspondiente a un índice determinado.

Esta superficie de discontinuidad, situada según sus últimas investigaciones a 57 kilómetros de profundidad, divide la corteza terrestre en dos capas del mismo espesor sensiblemente y complica la propagación de las ondas sísmicas, pues a más de los rayos directos  $P$  y  $S$ , que atraviesan solamente la

capa superior, hay que considerar los normales  $P_n$  y  $S_n$ , que sufren una doble refracción al atravesar la superficie de Mohorovicic, para penetrar en la capa inferior y salir de ella, y las combinaciones que resultan de considerar los rayos que se reflejan una o más veces en la superficie terrestre y de discontinuidad, combinaciones muy numerosas, si se tiene en cuenta que los rayos sísmicos al reflejarse pueden cambiar o conservar su naturaleza longitudinal o transversal; baste decir, como ejemplo, que son veintidós las combinaciones que se obtienen considerando sólo las dos primeras reflexiones en las superficies que limitan la capa superior de la corteza.

La ingeniosa teoría del profesor A. Mohorovicic ha tardado mucho tiempo en abrirse paso y aún hoy, a pesar de los dieciocho años transcurridos, en la mayor parte de los boletines sísmicos no se consignan los datos relativos a las ondas  $P$  y  $S$ , lo que es un grave inconveniente para la localización de los focos sísmicos, en que hace falta saber si la hora inicial del sismograma se refiere al rayo individual  $P$  o al normal  $P_n$ .

Nosotros hemos encontrado por vez primera las veintidós ondas mencionadas <sup>(14)</sup>, salvo dos que se superponían a las precedentes, por presentarse con un intervalo menor que una décima de segundo, en una preciosa gráfica registrada en la Estación de Cartuja, de un sismo cuyo foco submarino estaba a 60 kilómetros al WNW. de Melilla, sentido en esta ciudad el 9 de Julio de 1923 a las 15<sup>h</sup> 31<sup>m</sup>.

Como resultado de las admirables y concienzudas investigaciones de los profesores Mohorovicic, padre e hijo <sup>(11 y 13-16)</sup>, el primero ha publicado unas tablas utilísimas <sup>(17)</sup>, que dan los tiempos de recorrido de las veintidós ondas mencionadas para distancias epicentrales crecientes de 20 en 20 kilómetros y las profundidades focales 0, 25, 45 y 57 kilómetros.

Una vez calculada la distancia epicentral por el intervalo  $S - P$  (pues en esta diferencia apenas influye el valor de

la profundidad focal), es fácil, con el auxilio de las tablas de A. Mohorovicic, identificar en el sismograma los impulsos que corresponden a las distintas ondas reflejadas. Comparando los intervalos entre dos impulsos medidos en la gráfica con los que dan las tablas para las profundidades de 0, 25, 45 y 57 kilómetros, se puede deducir por interpolación proporcional el valor más plausible de dicha coordenada.

Los sismogramas utilizados en esta medida no son los mismos que registró el sismógrafo, sino ampliaciones fotográficas que permiten ver claramente el principio de los impulsos y hallar los intervalos con suma precisión, en décimas o centésimas de segundo (según que la gráfica se amplifique unas 5 ó 50 veces), con la circunstancia favorable de que, como son intervalos los que se miden en la gráfica, los errores en la determinación de la hora de las fases, bien sea por desconocimiento del estado del reloj o por la paralaje de las plumas, no influyen en aquella medida.

En el citado sismo melillense de 9 de Julio de 1923, pudimos medir en las gráficas nada menos que 32 intervalos, y hallar otros tantos valores de la profundidad, cuyo promedio de 25,7 kilómetros sólo tenía un error probable de 0,72 kilómetros.

En ese sismo submarino se tenía como único dato de observación directa el haberse sentido en Melilla con una intensidad del grado VI-VII (Mercalli), y los registros de media docena de Estaciones han permitido fijar el epicentro con error de un par de kilómetros, la profundidad del foco en menos de uno y la hora inicial del sismo, en ambos puntos, en menos de una décima de segundo. ¿Qué resultado, pues, dará el registro sísmico el día en que las Estaciones utilizadas sean más numerosas, y las horas inscriptas se obtengan en décimas o centésimas de segundo? Acaso una sonrisa de duda asome al labio pesimista de los escépticos, que creen que lo



único útil que pueda dar la Sismología sea el predecir y, aun si fuera posible, evitar los sismos, ya que si éstos han de ocurrir, de poco nos servirá precisar el punto y hora en que tembló la Tierra para devastar alguna extensa comarca del Japón o de Italia. Es más, si en ciertos sismos tectónicos el proceso sismogénico es el movimiento en bloque de un gran compartimiento de la corteza ¿para qué sirve determinar al kilómetro el foco y epicentro? ¿Corresponde este cálculo a la realidad del fenómeno, o es sólo una abstracción del sismólogo la consideración de ese epicentro, acaso tan indispensable y potente en los cálculos sísmicos como el famoso punto de apoyo que el geómetra griego pedía para levantar el mundo?

Como ya hemos dicho, la cuestión tan importante para la sismogenia de saber si en un cierto temblor de tierra el fenómeno se inició en un pequeñísimo dominio de las capas corticales, asimilable a un punto, o en un bloque de considerables dimensiones, requiere un estudio delicado, con datos precisos y numerosos que la Sismología está en condiciones de facilitar, pero no ha ofrecido aún, por deficiencia en el número de Estaciones registradoras, con instrumentos sensibles y de muy buen funcionamiento. Pero, aun en ciertos sismos catastróficos y de innegable carácter tectónico, es un hecho comprobado por las más recientes observaciones que el fenómeno no ocurre de un modo instantáneo, como haría pensar el movimiento en bloque de un gran compartimiento de la corteza.

En el sismo de California de 18 de Abril de 1906, en que se abrió una falla gigantesca de 435 kilómetros de longitud, la moción más violenta no se produjo hasta unos treinta segundos después de iniciarse las fuertes sacudidas y duró de treinta a sesenta segundos, lo que, en concepto de Reid <sup>(18)</sup>, debe atribuirse no sólo a la vibración de los labios de la falla, sino a la llegada sucesiva de los choques al propagarse la fractura a puntos más lejanos.

En el violento terremoto que devastó una parte del Turkestán ruso en la madrugada del 4 de Enero de 1911, la falla principal, de 170 kilómetros de longitud, situada cerca del lago Issik-kul, tardó en abrirse unos dieciocho segundos <sup>(19)</sup>.

Pero el ejemplo más interesante es el megasismo japonés de 1.º de Septiembre de 1923, catástrofe aún presente en la memoria de todos <sup>(20)</sup>. Un sondeo concienzudo acusó en el fondo de la bahía de Sagami hundimientos y elevaciones permanentes, que en zonas extensas son de 100 metros y en puntos aislados alcanzan para las segundas 250 metros, y para las primeras 400 nada menos. Esas enormes variaciones del relieve se observaron sólo en el fondo de la bahía, pues en tierra firme, a pesar de las minuciosas nivelaciones practicadas, sólo se hallaron diferencias de un par de metros. El estudio del mapa submarino muestra la existencia de dos planos de falla que limitan una zona central hundida, que corre de NW. a SE. en un largo, por lo menos, de 50 kilómetros y un ancho de 25 a 30. Como en ésta se acusaron los máximos efectos destructores, es lógico pensar que en ella se inició el fenómeno sísmico, y ahora surge la cuestión fundamental del proceso sismogénico: El movimiento del bloque hundido en la bahía de Sagami ¿fué instantáneo o, por el contrario, se inició en una pequeña zona, de la que fué propagándose con velocidad inferior a la de las ondas elásticas longitudinales? Si ocurrió lo primero, poco valor real tendría la determinación del epicentro e hipocentro, que dieron con gran exactitud los cálculos sísmicos, pero si sucedió lo segundo, éstos corresponderían cumplidamente a la génesis del misterioso fenómeno telúrico y el hombre podría justamente ufanarse de sus resultados exactísimos.

Parece natural que respondiera a la pregunta el estudio geológico sobre el terreno de los efectos destructores, llamado

a dar indicaciones de la causa y origen del megasismo y, sin embargo, no es así, pues el número de sacudidas fué tan grande y se sucedieron con tal rapidez y violencia que, por pronto que los geólogos pasaron al reconocimiento del lugar de la catástrofe, sólo les cupo examinar los efectos acumulados por las diversas sacudidas, sin poder separar los correspondientes a cada una. Sólo el registro sísmico en las Estaciones cuyos aparatos no quedaron desmontados por la violencia de los choques puede dar fiel y exactamente las horas e intensidades de las diversas sacudidas.

Desgraciadamente, la posición de las Estaciones que sólo rodeaban el bloque hundido en un sector de  $90^{\circ}$ , y los datos de observación al segundo redondo y en pequeño número, no han permitido decidir la cuestión de si el hundimiento del bloque fué instantáneo o las fracturas se abrieron progresivamente <sup>(20)</sup>; pero, de todos modos, parece demostrado que con los datos de numerosas Estaciones, cuyas horas se fijaran en décimas de segundo, estas cuestiones sismogénicas podrían resolverse satisfactoriamente.

El profesor V. Conrad, de Viena, estudiando el sismo de Tauern de 28 de Octubre de 1923 <sup>(20)</sup>, ha encontrado una nueva clase de ondas, llamadas  $P^*$ , cuya dromocrónica se intercala entre las de las ondas  $P$  y  $P$ . El Profesor Jeffreys ha tratado de explicarlas de un modo análogo a las  $P_n$ , es decir, admitiendo una nueva superficie de discontinuidad que, según sus cálculos, estaría a 12,4 kilómetros de profundidad <sup>(21)</sup>.

Por su parte, el profesor S. Mohorovicic <sup>(16)</sup> ha mostrado que dichas ondas  $P^*$  sólo se registran a partir de unos 200 kilómetros, lo que prueba que la superficie de discontinuidad, a que se suponen debidas, se halla a bastante profundidad, que, según sus cálculos, es de unos 40 kilómetros. El profesor B. Gutenberg <sup>(22)</sup> ha estudiado esta nueva discontinuidad, en

un interesante trabajo, y ha obtenido para ella una profundidad de 30-40 kilómetros.

En el importante sismo pirenaico del canal de Berdún, ocurrido el 10 de Julio de 1923, la gráfica registrada por el sismógrafo Berchmans, de la Estación de Cartuja <sup>(3a)</sup>, marca con suma claridad el impulso debido a las ondas  $P^*$ , cuya hora se ajusta perfectamente al tiempo de recorrido establecido por el profesor S. Mohorovicic, según éste nos ha comunicado en una amable carta.

El Sr. Matuzawa ha encontrado estas ondas  $P^*$  en las gráficas de unos sismos japoneses <sup>(23)</sup> y el profesor V. Conrad las ha hallado también en el temblor de tierra de Schwadorf (Austria) de 8 de Octubre de 1927.

En el importante trabajo dedicado a este sismo <sup>(24)</sup>, publicado a fines de Diciembre de 1928, el profesor Conrad ha trazado una dromocrónica, situada entre la de las ondas  $P_n$  y  $P^*$ , que corresponde a unas nuevas ondas cuyo origen está en la inmediación de la superficie de gran discontinuidad de la corteza, descubierta por A. Mohorovicic y que él llama  $P_x$ , ondas que no cabe confundir con las «2» descubiertas por Matuzawa, ya que éstas se propagan por las capas superiores de la corteza y sólo se observan en una reducida zona inmediata al epicentro y de especial constitución geológica. Como sugiere el profesor Conrad, acaso en los telesismos estas dos clases de ondas longitudinales  $P_n$  y  $P_x$  correspondan a los dos impulsos iniciales que generalmente se registran en las gráficas, uno con el carácter de emersión ( $eP$ ) y otro con el de ímpetu ( $iP$ ).

En los segundos preliminares del sismo de Schwadorf, Conrad ha encontrado, en primer lugar, las ondas  $S_x$ , cuyos tiempos de recorrido coinciden prácticamente con las que el profesor Jeffreys llama  $S$  y hace corresponder a las  $P_n$ , aunque el primero se inclina a creer que a estas últimas corres-

ponden más bien las  $S_n$ , cuya dromocrónica va muy próxima a la de las  $S_x$  y por debajo de ella. Los impulsos de estas ondas  $S_x$  suelen coincidir con el de la fase principal, que se designaba por  $iL$ .

Las ondas  $S^*$ , descubiertas por el profesor Jeffreys <sup>(25)</sup>, han sido halladas también en el sismo de Schwadorf, con impulsos más caracterizados que los de las  $S_x$  e inmediatos al máximo de la fase principal.

Por último, la tercera clase de ondas de los segundos preliminares, hallada en el repetido sismo, son idénticas a las  $S$  de A. Mohorovicic, y tanto Conrad como Jeffreys opinan que corresponden a la parte de las  $iL$ , inmediata al epicentro.

Las precedentes consideraciones se aplican al registro de los sismos próximos. Las gráficas obtenidas a 12.000 kilómetros de distancia exigen que el sismo sea catastrófico. Para distancias superiores a 13.000 kilómetros, sólo en contados casos registran los péndulos muy sensibles el verdadero principio del sismo, hecho que puede ser debido a muy diversas causas, en relación con la constitución de las capas profundas del Globo.

El profesor A. Mohorovicic, en 1921, descubrió el hecho curioso de que, a grandes distancias epicentrales, los sismógrafos registran ciertas fases con algunos segundos de retraso; por el estudio de numerosas gráficas, correspondientes a 37 terremotos de foco bien determinado, obtuvo los tiempos de recorrido de estas nuevas ondas que él llama  $P_1, P_2 \dots P_5$  y  $S_1, S_2 \dots S_5$ .

La propagación de las ondas sísmicas ha sido objeto de numerosas y recientes investigaciones. Si la masa terrestre fuera homogénea, el rayo sísmico sería rectilíneo. A. Schmidt <sup>(26)</sup> demostró en 1888 que era imposible, y admitió la hipótesis de un rayo circular, desarrollada después por el profesor Wiechert <sup>(8)</sup>. En 1895, primero, y en 1905-06, después, el profesor

von Kövesligéthy <sup>(27)</sup> expuso la teoría del rayo sísmico en el supuesto de que la densidad de la substancia terrestre variase, según la conocida ley de Roche. Análoga marcha siguió después L. Pilgrim <sup>(28)</sup> (1913). La investigación más importante en esta época se debe a Benndorf <sup>(29)</sup>, que en 1906 demostró que el problema era soluble, sin hacer hipótesis acerca de la variación de la densidad, y con sólo conocer las condiciones en los límites, que daba el trazado de la dromocrónica, y el valor de la velocidad de las ondas sísmicas en la misma superficie terrestre.

En el método de G. Herglotz <sup>(30)</sup>, perfeccionado después por H. Bateman <sup>(31)</sup> y E. Wiechert <sup>(32)</sup>, se supone que el foco sísmico está en la superficie terrestre; partiendo de la ecuación fundamental de la refracción se llega a la fórmula

$$v = \frac{\rho}{R} V_{\rho},$$

en que  $R$  es el radio medio de la Tierra,  $v$  la velocidad de las ondas sísmicas en un punto situado a la distancia  $\rho$  del centro de aquélla y  $V_{\rho}$  la de propagación aparente, dada por la dromocrónica, a la distancia epicentral que alcanza el rayo sísmico que llega al nivel  $\rho$  o a la profundidad  $R - \rho$ . Para hallar el valor de  $R - \rho$ , que corresponde a una distancia epicentral dada  $D$ , se recurre, en el método de Herglotz, a las ecuaciones integrales; la solución, en la forma que le ha dado Wiechert, es

$$\log \operatorname{nep} \frac{R}{\rho} = \frac{1}{\pi R} \int_{D=0}^{D=D_{\rho}} q \cdot dD.$$

La integración se hace gráficamente, pues las curvas  $q$  se hallan por la fórmula

$$q = c h^{-1} \frac{V_{\rho}}{V_D},$$

en que  $V_{\rho}$  es constante, y  $V_D$  ha de recibir todos los valores

desde  $D=0$  a  $D_\rho$ , que es la distancia a que emerge el rayo que llega al nivel  $\rho$ . Substituyendo el valor calculado de  $\rho$  en la primera fórmula, se obtiene la velocidad  $v$  de las ondas sísmicas a la profundidad  $R - \rho$ .

Este método, sin embargo, ofrece el inconveniente de que desprecia la profundidad  $h$  del foco sísmico, lo que en el estudio de los temblores próximos lleva a falsos resultados. Para obviar este inconveniente el profesor S. Mohorovicic <sup>(14)</sup> ha ideado un procedimiento que permite pasar de la dromocrónica real de un sismo de profundidad hipocentral  $h$  a la dromocrónica reducida de un sismo ficticio, cuyo foco está en la superficie terrestre y al que ya se pueden aplicar rigurosamente los métodos precedentes.

Obtenidas las distancias epicentrales y tiempos de recorrido que corresponden a la dromocrónica reducida, la profundidad  $h$  del sismo se halla por la fórmula

$$h = R \left( 1 - e^{-\frac{1}{\pi R} \int_{D=0}^{D=D_i} q \cdot dD} \right),$$

en que  $D_i$  es el doble de la distancia epicentral que corresponde al punto de inflexión de la dromocrónica real.

Esta es la primera fórmula rigurosa que da la profundidad del foco sísmico.

El profesor S. Mohorovicic <sup>(14)</sup> ha dado otra fórmula muy sencilla, pero que sólo sirve en la capa superior de la corteza. Posteriormente, Gutenberg <sup>(33, 34)</sup> ha dado otros procedimientos para el cálculo de  $h$ , que no podemos resumir por falta de espacio.

A más de éstos, existen otros indirectos en que se parte de una forma conocida del rayo sísmico (circular, según Schmidt y Wiechert), o bien de una ecuación, fijada de antemano, para la variación de la velocidad y cuyas constantes se calculan

para que satisfagan a las condiciones en la superficie dadas por el trazado de la dromocrónica.

Para la investigación sísmica a pequeñas distancias epicentrales (menores de 300 kilómetros) hemos propuesto como hipótesis de trabajo la del rayo rectilíneo <sup>(2a y 4a)</sup>, que da fórmulas sencillísimas para la localización del foco y cálculo de la hora inicial, y resultados de gran precisión, que coinciden con los obtenidos por otros procedimientos más complicados (Wiechert, A. y S. Mohorovicic, Gutenberg, etc.).

La pequeñísima curvatura del rayo sísmico ha sido utilizada ingeniosamente por el profesor S. Mohorovicic <sup>(16)</sup> para el cálculo rápido del límite superior e inferior de la profundidad hipocentral; sus resultados coinciden con el nuestro (cuya esencia es la misma) <sup>(2a y 5a)</sup> en el megasismo japonés de 1.º de Septiembre de 1923.

Si hay acuerdo general entre los sismólogos al interpretar los preliminares del sismograma como ondas longitudinales y transversales que se propagan por la masa del Globo, como ya lo admitió Wiechert <sup>(8)</sup> en 1906, las opiniones están muy divididas en lo tocante a las ondas sísmicas superficiales que se registran en la fase principal y en la coda del sismograma.

Lord Rayleigh <sup>(35)</sup> fué el primero que demostró que a más de las soluciones, correspondientes a las ondas longitudinales y transversales, de las ecuaciones diferenciales del movimiento en un medio sólido sometido tan sólo a tensiones elásticas, existe otra en que los desplazamientos  $u, v, w$  del punto, paralelos a los ejes coordenados, vienen dados por expresiones de la forma  $A_1 e^{-\sigma_1 t} + A_2 e^{-\sigma_2 t}$ , en que  $A_1$  y  $A_2$  son constantes y

$$\sigma_1 = -q_1 z + i(f_1 x + g_1 y - p_1 t) \quad \text{y} \quad \sigma_2 = -q_2 z + i(f_2 x + g_2 y - p_2 t);$$

$x, y, z$  son las coordenadas del punto considerado,  $t$  el tiempo,  $i = \sqrt{-1}$  y las demás letras constantes, que en unión de las



$A_1$ ,  $A_2$  satisfacen a ciertas relaciones que dan las condiciones en la superficie que limita el medio sólido.

El propio Lord Rayleigh, en 1887, recalca la importancia de estas ondas, por él descubiertas, en la propagación de las ondas sísmicas, pues siendo de transmisión bidimensional debían ir predominando a medida que la distancia epicentral fuera aumentando.

La relación entre la velocidad de las ondas Rayleigh y la de las transversales es función del cociente  $\frac{\lambda}{\mu}$  de las constantes de Lamé, y para  $\frac{\lambda}{\mu} = 1$ , que corresponde al valor 0,25 de la constante de Poisson, la relación de dichas velocidades es 0,9194, que coincide sensiblemente con el valor 0,92 que daban las observaciones sísmicas; todo ello en el supuesto de la constancia de la velocidad de las ondas transversales. Por esto se admitió en un principio, como lo hizo Wiechert <sup>(8)</sup> en 1906, al año de haber dado Lamb <sup>(56)</sup> la teoría rigurosa de estas ondas superficiales, que con este carácter podrían presentarse tan sólo las ondas Rayleigh. Pero en éstas las partículas elásticas describen elipses en la dirección de propagación, y la relación entre la componente vertical y horizontal del desplazamiento es igual a 1,46, lo que estaba en desacuerdo con el análisis de los sismogramas, que acusaba la indudable presencia de ondas superficiales puramente transversales, es decir, sin componente vertical alguna.

Love <sup>(37)</sup> encontró la causa de esta contradicción, que estribaba en la supuesta constancia de la velocidad de las ondas transversales en la corteza terrestre: con suponer que ésta, según resulta de recientes observaciones, consta de dos capas en que las velocidades de dichas ondas son distintas y es mayor la de la capa inferior, la teoría prueba ya la existencia de ondas superficiales puramente transversales.

Uller <sup>(58)</sup> y Jeans <sup>(59)</sup> han establecido recientemente otras

teorías más generales, que no podemos resumir por falta de espacio, en que se prescinde de ciertas hipótesis auxiliares, las cuales servían de base a las anteriores; pero la existencia de otras clases de ondas superficiales, como resulta de tan interesantes investigaciones, no ha sido confirmada por la observación instrumental, en parte a causa de la absorción de la energía, que reduce considerablemente la amplitud de algunas ondas y la hace casi imperceptible en los sismogramas.

El profesor A. Mohorovicic ha puesto en duda la existencia de las ondas sísmicas superficiales en la fase principal del sismograma, pues a pequeñas distancias epicentrales los impulsos máximos, antes atribuidos a aquéllas, corresponden a las ondas  $\bar{S}$  y a sus reflexiones en la capa superior de la corteza, que en un principio se creía faltaban en las gráficas de los sismos próximos. Por otra parte, de existir dichas ondas sísmicas superficiales, los sismogramas mostrarían diferencias, aún no observadas, en el aspecto de las curvas, según que dichas ondas siguieran un trayecto continental u oceánico, pues en este último caso la potente capa acuosa habría de causar amortiguamiento considerable.

Antes de establecer sus teorías Uller y Jeans, el análisis de los sismogramas había mostrado la existencia de dos clases de ondas: las llamadas  $Q$  (Love), que carecen de componente vertical, y en que la horizontal es normal a la dirección de la propagación, y las  $R$  (ondas Rayleigh), de fuerte componente vertical. Si en éstas, tal como se observan en la gráfica, no prepondera dicha componente, ello es debido a la superposición de las de Love que, como hemos dicho, carecen de dicha componente.

Las ondas  $\beta$  y  $\gamma$  de Uller, así como las de Jeans, no han sido observadas todavía. La fase principal del sismograma, de acuerdo con la teoría, empieza con las ondas de mayor período: las amplitudes van creciendo y llegan a su máximo,

generalmente, con períodos de veinticuatro a dieciséis segundos: el movimiento adquiere una gran regularidad, con período casi constante, y estos trazados sinusoidales, que duran horas enteras, constituyen la fase final o coda, debida, por una parte, a ondas cuya modalidad de oscilación discrepa de las polarizadas, y por otra, como sugirió el profesor Wiechert <sup>(8)</sup>, a vibraciones propias de los estratos corticales, provocadas por el paso de las ondas sísmicas. Una prueba de esto último dan los sismogramas registrados a más de 5.000 kilómetros, cuya coda muestra períodos de doce a catorce segundos, si las ondas se han propagado sólo por Eurasia, en tanto que son de dieciséis a dieciocho si han seguido trayectos de algunos centenares de kilómetros por el continente americano o por el fondo del Pacífico: en el primer caso, los períodos de la coda suelen aproximarse al límite inferior, y al superior en el segundo.

Cuando el sismo es muy violento llegan al lugar de observación las ondas superficiales que han seguido el trayecto más largo, por los antípodas del epicentro, y las que han dado una o más vueltas a la superficie terrestre.

A pesar de las dudas que suscita la teoría de las ondas superficiales y la dificultad de observar en los sismogramas las ondas Rayleigh, porque se les superponen las de Love, el estudio de las características de su propagación es de singular importancia geofísica.

Las del mismo período muestran distinta velocidad, según la zona de la corteza que han atravesado. Esta observación, y la que se refiere a la velocidad de los preliminares, han llevado a Gutenberg <sup>(34)</sup> a la importante conclusión de que la capa de sial no tiene el mismo espesor en todas partes: en Eurasia es de unos 55 kilómetros, en América de 50, en el Atlántico y en la región ártica de 20 a 30 y en el Pacífico parece no existir dicha capa, es decir, que el sima llega al fondo de dicho Océano.

El estudio de la amplitud de las ondas superficiales ofrece graves dificultades por la pequeña amplificación que para ello tienen los sismógrafos, a excepción de los del tipo Galitzin. Como estas ondas atraviesan las capas superficiales, es natural que influyan notablemente en su propagación los accidentes tectónicos, variando su velocidad o período. Comparando la amplitud de la fase principal, Reich <sup>(40)</sup> ha llegado a la interesante conclusión de que cada región tectónica de Europa marca su sello en dicha fase, amortiguando en unos casos y reforzando en otros la intensidad del movimiento sísmico.

Las montañas y fallas ejercen una gran influencia: las ondas sísmicas superficiales se debilitan notablemente al cruzar una cordillera.

El estudio de la extinción sísmica da lugar a conclusiones muy interesantes. Mientras las ondas sísmicas al cruzar las costas del Atlántico sufren la misma extinción que al atravesar las masas continentales, en cambio, al franquear las costas del Pacífico se debilitan de modo más acentuado. Los bordes del Pacífico están formados por superficies de discontinuidad, en tanto que el fondo del Atlántico pasa de un modo continuo al suelo continental.

Por último, un factor local no despreciable es el subsuelo de la Estación, que, según su naturaleza y constitución, registra con menor o mayor amplitud el movimiento sísmico y tiende con facilidad mayor o menor a tomar sus propias vibraciones. Como dato curioso, citado por Gutenberg <sup>(34)</sup>, diremos que, tomando por unidad el subsuelo de Bilt y Jena, a Hamburgo corresponde el valor  $1\frac{3}{4}$ , a Munich y Viena  $1\frac{1}{2}$ , a Karlsruhe, Upsala y Potsdam  $\frac{2}{3}$ , a Zürich  $\frac{3}{5}$ , etc., etc., es decir, que las ondas sísmicas en Hamburgo se registran con una amplitud triple que en Zürich, Estación cuyo subsuelo

amortigua fuertemente el movimiento: otros subsuelos que amortiguan también, aunque no de modo tan marcado como Zürich, son los de Göttingen y Barcelona. En general, el subsuelo cristalino da pequeña amplitud, en tanto que el de arena o empapado en agua muestra gran amplificación, y por lo tanto, pequeño amortiguamiento. Esta circunstancia ha de tenerse muy en cuenta al instalar nuevas Estaciones, pues para elegir sus tipos de sismógrafos hay que atender, no sólo a su objetivo propio y a la sismicidad de las regiones en que estén enclavadas, sino también a la naturaleza del subsuelo, pues sería un error, por ejemplo, dotar de aparatos de igual amplificación a Toledo y a Alicante.

En las consideraciones que preceden pasamos revista a algunas propiedades características del fenómeno sísmico para hacer comprender su trascendencia científica y fecundas aplicaciones, pero sin intentar, porque sería inoportuno y exigiría mucho espacio, el resumir los resultados de las recientes investigaciones acerca de la génesis y proceso del sismo, distribución de sus efectos destructores, teoría de los sismógrafos e interpretación de las gráficas registradas, localización del foco, reflexión y refracción de las ondas sísmicas, movimientos microsísmicos, etc. Las numerosas aplicaciones de la Sismología fueron admirablemente resumidas, en su discurso de ingreso, por el ilustre Académico D. Eduardo Mier y Miura, sismólogo de grandes aptitudes, feliz organizador del servicio oficial del Instituto Geográfico e ingenioso inventor de utilísimos instrumentos. Se consagró a los estudios sismológicos en los últimos años de su vida y puede decirse que en plena investigación le sorprendió la muerte. Al rendir espontáneo tributo de admiración a la memoria del que fué nuestro queridísimo jefe, cumplimos un deber de justicia, pues a sus fecundas iniciativas se debe en gran parte el próspero estado actual de la Sismología en nuestra patria.

Acaso la aplicación más sorprendente de la Sismometría sea la exploración de las capas profundas del Globo, problema de inmensas dificultades en que la nueva ciencia proyecta su luz vivísima e inesperada. El estudio de la propagación de las ondas sísmicas ha permitido fijar la profundidad a que se hallan las superficies de discontinuidad en la masa terrestre. De éstas, las situadas a 1.200 y a 2.900 kilómetros de profundidad se acusan de manera tan acentuada que, en el cálculo, hay a lo sumo un error de 50 kilómetros para la primera y de 200 para la segunda. Según las más recientes investigaciones sismométricas hay que contar, pues, con una división principal de la masa del Globo en tres partes o zonas que, a partir de la superficie, son: la barisfera, la capa intermedia y el núcleo. La barisfera termina por su parte superior en la corteza o litosfera, que llega a la profundidad media de 120 kilómetros, en que se encuentra la superficie de compensación isostática, según resulta de las observaciones gravimétricas en perfecto acuerdo con las sísmicas.

La superficie de discontinuidad descubierta por el profesor A. Mohorovicic <sup>(11)</sup>, situada, según ya hemos dicho, a unos 60 kilómetros de profundidad, divide la corteza en dos capas del mismo espesor: la zona exterior o de fractura y la pastosa o de fluidez. La primera, en que se concentra la actividad sismogénica, es de esperar se subdivida en capas secundarias; el descubrimiento de las ondas  $P^*$  parece afirmar la existencia de una nueva superficie de discontinuidad que, según los cálculos del profesor S. Mohorovicic <sup>(16)</sup>, está a los 40 kilómetros y corresponde a la base de los bloques continentales. Según esta concepción, en la zona exterior o de fractura tendríamos una capa de sial, de espesor desigual según la parte del Globo que se considere y que en Europa alcanzaría hasta los 40 kilómetros de profundidad media, y otra de 20 kilómetros de *sialma* (*Si*, *Al*, *Mg*) según la denominación de

tan ilustre sismólogo, formada por dioritas y gabbros. A los 60 kilómetros de profundidad media empezaría el substratum o *sifema* (*Si, Fe, Mg*) formado por piroxenos y rocas del grupo de las olivinas y que constituye la capa inferior de la corteza.

Una curiosa propiedad que han puesto de manifiesto las investigaciones sísmicas es que, al pasar de la barisfera a la capa intermedia, la substancia terrestre varía de un modo continuo, en tanto que al penetrar en el núcleo, o sea a los 2.900 kilómetros de profundidad, se observa un cambio brusco.

Las opiniones de los geofísicos discrepan muy poco en lo que atañe a la composición del núcleo: se admite generalmente que éste es de hierro níquelífero, con una proporción de 90 por 100 de hierro y casi 10 por 100 de níquel, pues el cobre y cobalto entran en ínfimas cantidades.

En cambio las opiniones están más divididas al juzgar la composición de la capa intermedia: la idea de que pudiera estar formada por una cierta mezcla de hierro y silicatos, de tal modo que la proporción de este metal fuera aumentando gradualmente al acercarse al núcleo, no se ajusta a los resultados de las observaciones sísmicas que, como hemos dicho, acusan al llegar al núcleo una variación brusca de la substancia terrestre. Es probable que la capa intermedia esté constituida por sulfuros y óxidos, con predominio de los primeros, lo que no excluye una mayor proporción de hierro, que según Tammann <sup>(41)</sup> podría llegar hasta el 20 por 100.

La barisfera está constituida por silicatos, que, a juicio de Goldschmidt <sup>(42)</sup>, se hallan en un estado especial de compresión y van pasando gradualmente, al acercarse a la corteza, a la constitución del basalto. El aumento de densidad en la barisfera es debido principalmente a la compresión, en tanto que en la capa intermedia influye el cambio de materiales. La

resistencia a la variación de forma y de volumen en la materia que constituye la barisfera y la capa intermedia es mayor que en la de la corteza, y puede decirse que las constantes elásticas de la capa intermedia y de las más profundas de la barisfera son la causa principal de la gran rigidez y viscosidad del Globo considerado en conjunto.

En lo que atañe al estado de agregación de la materia en el interior de la Tierra hay que tener en cuenta que, dadas las elevadísimas temperaturas y presiones que reinan en las capas profundas, muy distintas de aquellas en que se efectúan las experiencias de nuestros laboratorios de física, es posible que, en la parte central del Globo, la substancia terrestre se encuentre en estados especiales de agregación que no conocemos actualmente, ni podemos concebir. De todos modos resulta muy interesante conocer la densidad y rigidez de las tres zonas del Globo, pues sirven de orientación en este importante problema. Wiechert, que ya en 1897 <sup>(43)</sup> rechazaba la variación continua de la densidad terrestre, debida solamente a la presión de las capas suprayacentes, y aceptaba la idea de un Globo compuesto de una esfera central de hierro y una envuelta rocosa, ha dedicado un reciente trabajo <sup>(44)</sup> a la misma cuestión ampliada a la división en las tres zonas.

Conocidos por las observaciones sísmicas los radios de las superficies esféricas que limitan aquéllas, la densidad media y el aplanamiento terrestre, tomando la densidad media de la Luna, 3,4, como valor de la densidad de la barisfera, pues es natural suponer que la masa lunar se desprendiera de la zona externa de nuestro planeta, y teniendo en cuenta los datos de la precesión y nutación, es fácil calcular, en el supuesto de que son constantes, los valores de las densidades de la capa intermedia y del núcleo, que son, respectivamente, 6,39 y 9,63.

Una vez conocidas éstas y las velocidades de las ondas sísmicas, una fórmula muy sencilla da el valor de la rigidez



que, a los 2.900 kilómetros de profundidad, o sea en la primera superficie de discontinuidad, es de  $2,9 \times 10^6$  para la barisfera y de  $5,4 \times 10^6$  para la capa intermedia. En la base inferior de ésta, o sea a los 2.900 kilómetros de profundidad, resulta de  $6,3 \times 10^6$ . Estas cifras prueban una rigidez de las zonas del Globo mucho mayor que la de las sustancias que nos rodean, pues la del hierro es de  $1,6 \times 10^6$ , y la mitad o tercera parte de ésta la de los minerales ordinarios.

Al llegar al núcleo las observaciones nos deparan una gran sorpresa. Hasta ahora el análisis de los sismogramas no ha permitido fijar el paso de ondas sísmicas transversales por el núcleo. Esto pudiera ser debido a dificultades de la observación, como sugiere el profesor B. Gutenberg, o a que el núcleo fuera líquido, en cuyo caso no se podrían propagar en él las ondas transversales. En cuanto a las longitudinales, su velocidad, que es de 13 kilómetros por segundo en la capa intermedia, desciende a ocho y medio en el núcleo, y si suponemos que en la superficie de éste la relación entre las velocidades de ambas clases de ondas es la misma que en la capa intermedia, resulta para valor de la rigidez en dicha superficie el de  $3,9 \times 10^6$ , que es las dos terceras partes del que en la misma superficie corresponde a la capa intermedia. Esta rigidez de la superficie del núcleo, menor que la de la capa intermedia que está en contacto de ella, resulta en contradicción con el hecho de haber en el núcleo mayor proporción de hierro y níquel.

Si se admite que el núcleo sea líquido, como ya opinaba C. G. Knott en 1919<sup>(45)</sup>, la contradicción desaparece: ¿cómo podría explicarse la fluidez del núcleo? A juicio de Wiechert porque, estando constituida esa región central del Globo sólo por átomos de hierro, la elevadísima temperatura allí reinante les da extraordinaria movilidad, que no se alcanza en las otras dos zonas, por ser allí los átomos de varias sustancias, cuya mezcla les impide dicha fluidez.

Y aquí tenéis la esencia de ese reciente trabajo del ilustre Director del Instituto Geofísico de Göttingen, que ha estudiado a fondo, durante muchos años, la constitución interna del Globo, y cuya muerte, ocurrida hace unos meses, es una pérdida irreparable para la ciencia. ¡Cuántos problemas de esos medios extraordinarios en que las temperaturas se expresan en miles de grados y las presiones en millones de atmósferas, suscita la propagación de las ondas sísmicas, que abre a la Física un dominio de horizontes amplísimos y de novísimas concepciones!

\*\*\*

España, con regiones sísmicas bien definidas, ha estudiado con especial atención el fenómeno telúrico, y son muy numerosos los trabajos que nuestros geólogos han dedicado a los sismos ibéricos más importantes. Limitándonos a la catástrofe más reciente, el terremoto que en la noche del 25 de Diciembre de 1884 devastó algunos pueblos de las provincias de Málaga y Granada, causando 745 muertos y 1.485 heridos, diremos que, Comisiones especiales de la Academia de Ciencias de París <sup>(46)</sup>, de la Real de Lincei de Roma <sup>(47)</sup> y de nuestro Instituto Geológico <sup>(48)</sup>, lo estudiaron sobre el terreno, y el eminente geólogo D. José Mac-Pherson le dedicó una notable conferencia <sup>(49)</sup>, en que hace muy atinadas observaciones acerca de la relación entre las fallas y los efectos destructores del sismo, a que corresponde la concepción de Hobbs, presentada muchos años después, acerca de las líneas sismotectónicas.

Muy interesantes son también los trabajos que al sismo andaluz dedicaron el ilustre Académico D. Federico de Bottella <sup>(50)</sup> y los sabios catedráticos D. Salvador Calderón <sup>(51)</sup> y D. Cesáreo Martínez <sup>(52)</sup>.

En aquellos días de Enero de 1885, en que el alma nacional vibraba de dolor ante el relato de tan tristes escenas, un alumno de la Escuela de Minas empleaba sus vacaciones en recorrer la zona de la catástrofe sísmica y en hacer observaciones para estudiarla; poco después publicaba un trabajo <sup>(53)</sup>, que no desmerece al lado de los ya citados, y en que las ideas y conclusiones son tan precisas y atinadas, que más parecen debidas a un experto sismólogo que a un estudiante de veintidós años de edad. El geólogo que iniciaba sus investigaciones de modo tan notable era D. Domingo de Orueta, el que más tarde había de escribir el precioso estudio de la Serranía de Ronda y ser gran autoridad en Microscopia, cuyo es el tratado magistral de todos conocido. Sus grandes méritos científicos trajéronle a esta Academia, pero la muerte cortó en seguida su brillante carrera.

Otros Académicos, también fallecidos, dedicaron notas y trabajos al temblor de tierra, y merecen el reconocimiento de la ciencia sísmica: son los Sres. Vilanova, Ezquerro, Fernández de Castro, Mallada, Palacio, Barreiro, Sánchez Lozano, Casiano del Prado, Mier y Cortázar. Los tres últimos trataron en sus discursos de recepción temas relacionados con la Sismología o la constitución interna del Globo.

De los que me honran escuchando este pobre discurso, he de citar, reconocido, los nombres de los Sres. Fernández Navarro, Hernández-Pacheco y Novo, que me han alentado en mis investigaciones sísmicas, y especialmente el Sr. Madariaga, que siempre me prodigó, con su exquisita amabilidad, el valioso auxilio de sus sabios y leales consejos.

Gracias al funcionamiento de nuestras Estaciones sismológicas, que rivalizan en la benemérita labor de registrar las sacudidas que agitan el suelo patrio, la Sismología alcanza en España un próspero desarrollo, que debe servirnos de satisfacción y estímulo al mismo tiempo.

Gran auxilio le presta la revista *Ibérica* al publicar, desde su fundación, los resúmenes trimestrales de los sismos ibéricos, que sirven de base estadística a los estudios de sismicidad, a que han dedicado tan notables investigaciones los Sres. P. Sánchez-Navarro Neumann (S. J.), Comas Solá, Fontseré, Faura y Rey Pastor (D. Alfonso), así como al estudio de los sismos recientes.

La habilidad instrumental de nuestros sismólogos está probada por el gran número de péndulos de tipo original o reformado, de construcción española, que funcionan en los Observatorios nacionales.

La organización actual de nuestro Servicio sismológico se detalla en una interesantísima Memoria del Sr. Torallas <sup>(54)</sup>.

Injusto sería olvidar los nombres de los Institutos Geográfico y Geológico, que tan brillante papel han desempeñado en los recientes Congresos internacionales, en Madrid celebrados. El primero, cuyo ilustre Director es el excelentísimo Sr. D. José de Elola, nuestro sabio profesor en la Escuela de Guerra, ha mostrado su gran amor a la Sismología y sus felices iniciativas en la instalación y dotación de las Estaciones, la inspección de cuyo Servicio realiza tan acertadamente el Sr. Galbis. El segundo, cuyo eminente Director es el excelentísimo Sr. D. Luis de la Peña, ha sabido responder a la honrosa comisión internacional que le confió el último Congreso Geológico, implantando en España la prospección geofísica, que realiza el distinguido Ingeniero D. José García Siñeriz, y ha iniciado ya estudios y ensayos prácticos de gran valor científico y de manifiesta utilidad para la explotación minera.

El rayo sísmico, que antaño fué tan sólo agente de destrucción, es hoy valioso medio de investigación que explora la entraña del planeta. Al descubrir en ella ese potente núcleo de hierro niquelífero, que de ser accesible remediaría la actual

crisis mundial económica, acaso siente, compasivo, la impotencia del hombre en alcanzar tan portentosa riqueza y le ofrece los tesoros minerales de las capas superficiales de la corteza terrestre.

Si la prospección, con sus sensibilísimos instrumentos, convierte en espléndidas realidades tan bellas esperanzas, el triunfo de la ciencia será prodigioso y el hombre tendrá un motivo más de profundo reconocimiento a la bondad de Dios, que no creó el rayo sísmico para castigo de la Humanidad, sino para el descubrimiento del mundo subterráneo y para la conquista de esos tesoros minerales sepultados en el seno de las rocas en aquellas edades misteriosas a que no ha alcanzado la mirada penetrante de la Historia.



# CONTESTACIÓN

DEL EXCELENTÍSIMO SEÑOR

D. JOSÉ MARÍA DE MADARIAGA

SEÑORES:



IENTE hoy la Academia la legítima satisfacción que produce el cumplimiento de un deber de justicia al recibir en su seno al Ilmo. Sr. D. Vicente Inglada y Ors, Teniente coronel de Estado Mayor del Ejército español, Ingeniero Geógrafo y profesor, hasta hace poco, de Astronomía y Geodesia en la Escuela Superior de Guerra.

Los múltiples estudios, principalmente de Geofísica, que el Sr. Inglada ha presentado en esta Academia, todos informados favorablemente, y galardonados con el primer premio anunciado en los concursos los que a éstos acudieron, son justificación evidente de la afirmación sentada, y hacen ver que el Sr. Inglada ha conquistado por su propio esfuerzo el puesto que desde hoy ha de ocupar en esta Corporación como Académico numerario.

Nació el Sr. Inglada en Alicante el año 1879, y en aquel Instituto hizo los estudios de la segunda enseñanza hasta obtener el grado de bachiller. Ingresó como alumno en la Academia de Infantería en 1896, y terminó en breve plazo la carrera, en cursos abreviados, que las guerras coloniales obligaron a establecer. Desde 1898 cursó en la Escuela Superior de Guerra los cuatro años del plan de estudios entonces vigente, y terminadas las prácticas reglamentarias obtuvo en 1905 el número uno de su promoción, ingresando en el Cuerpo de Estado Mayor del Ejército, en el cual desempeñó

diferentes cargos en las Capitanías generales de Cataluña y Valencia. En 1907 fué nombrado Ingeniero Geógrafo y destinado a la provincia de Valencia, en la que se ocupó en los trabajos topográficos a cargo del Instituto Geográfico y Estadístico. Es destinado en 1910 a la Estación sismológica de Toledo, de la que fué jefe hasta que, en 15 de Septiembre de 1923, fué nombrado profesor de Astronomía y Geodesia en la Escuela Superior de Guerra. Recientemente ha sido el Sr. Inglada nuevamente destinado como Ingeniero Geógrafo al Instituto Geográfico y Catastral.

Extensa es la relación de las publicaciones del Sr. Inglada, y puede verse en las páginas finales de este folleto. Citaré sólo las siguientes, que han sido presentadas en esta Real Academia de Ciencias:

*Cálculo de las coordenadas del foco sísmico y del instante inicial de la sacudida por medio de las horas del principio de los sismogramas registradas en varias Estaciones próximas.*

*Contribución al estudio del megasismo japonés de 1.º de Septiembre de 1923.*

*Estudio de sismos españoles: el terremoto del Bajo Segura de 10 de Septiembre de 1919.*

*Contribución al estudio del sismo pirenaico (canal de Berdún) de 10 de Julio de 1923.*

Estas cuatro Memorias fueron premiadas por la Academia.

*Cálculo de las coordenadas del foco y del instante inicial de un sismo por medio de las horas de las ondas S, registradas en Estaciones próximas, Memoria publicada recientemente en la Revista de la Academia.*

Lo ha sido, asimismo, la *Nota acerca del cálculo de la profundidad del foco sísmico por el procedimiento S. Mohorovicic y otros análogos, basados en los sismogramas registrados en las Estaciones próximas.*



Fueron también informados favorablemente por la Academia los siguientes trabajos:

*Conferencias sobre Sismometría*, obra del Príncipe Galitzin, traducida de la adaptación alemana hecha por Hecker, por el Sr. Inglada y los Ingenieros Geógrafos y de Minas Sres. García Siñeriz y Del Castillo.

*Nuevas fórmulas para abreviar el cálculo de la profundidad del foco sísmico por el método de Kövesligéthy*, modificadas con ventaja por el autor.

*La Sismología. Sus métodos y estado actual de sus problemas fundamentales.*

*La corteza terrestre.*

*Las observaciones gravimétricas.*

El Sr. Inglada es también autor de varios trabajos de carácter literario, y maestro y entusiasta propagandista del idioma de inteligencia internacional, el Esperanto.

Al presentar a la Academia al Sr. Inglada en este día, no puedo menos de felicitar a la primera por poder contar en su seno a individuo de competencia tan probada y de laboriosidad verdaderamente admirable, seguro de que su paso por este Centro ha de dejar indelebles señales de aquellas dos cualidades; felicito también al Cuerpo de Estado Mayor, y al de Ingenieros Geógrafos, a los que pertenece el Sr. Inglada, y al mismo recipiendario, porque logra, en cierto modo, ver recompensados sus muchos merecimientos.

Mas como todos los acontecimientos de la vida vienen, la mayor parte de las veces, mezclados los alegres con los tristes en unión íntima, por admirable disposición de la Providencia, que los encauza sabiamente para que no tengan extralimitación en sus manifestaciones, acude ahora a nuestra memoria el recuerdo del Académico insigne que hasta hace pocos meses ostentó en su pecho la Medalla número 28 que se ha de entregar al Sr. Inglada, el recuerdo de nuestro involvi-

dable Presidente D. José Rodríguez Carracido. Pocas semanas hace que quien tiene la honra de llevar ahora la palabra en nombre de la Academia, leyó en este sitio algunos rasgos biográficos del Sr. Rodríguez Carracido. Los que recuerden esta lectura podrán, sin duda, afirmar que, al morir Carracido, la Academia experimentó una grande pérdida, y la sufrieron también las ciencias españolas y la Patria, porque Carracido era un verdadero sabio en las disciplinas que cultivó, logrando por ello levantar el nivel científico en España, y era, además, un gran patriota, que trató siempre de enaltecer a su país y de procurarle las simpatías y el cariño de los extraños. Prueba de lo primero son sus escritos científicos, y, principalmente, sus dos obras de *Química orgánica* y *Química biológica*. Demuestran lo segundo, las conferencias y discursos, difíciles de enumerar, con que preconizó siempre y defendió la aproximación a España, de Portugal y de las Repúblicas hispanoamericanas. La Academia conservará de Rodríguez Carracido un recuerdo imborrable, porque supo dirigirla con grandísimo acierto e inspiró todas sus resoluciones, como Jefe del Centro, en la más escrupulosa justicia.

\* \* \*

Aunque con esto podría yo dar por cumplido el deber que me impuso el honroso encargo que me confió el señor Presidente de la Academia, de presentar a ésta al Sr. Inglada y de darle a él la cariñosa bienvenida con que todos le acogemos, no puedo menos, siguiendo la costumbre establecida, de hacer, por cortesía, alguna breve consideración relacionada con el interesantísimo discurso leído por el Sr. Inglada, que, como pueden juzgar los señores Académicos y el público, es prueba indefectible de su competencia y del acierto y justifi-

cación de la Academia al elegirle. Me referiré brevemente a la propagación de las ondas sísmicas.

Consagrado el Sr. Inglada desde hace algún tiempo al estudio del Globo que habitamos, desde diferentes puntos de vista, es natural que haya elegido uno de éstos, en la imposibilidad de abarcarlos todos en un discurso, para el acto de la recepción en nuestra Academia. De la mayor importancia es el tema elegido, porque es natural que, habitando nosotros sobre la Tierra, tratemos de conocer las múltiples condiciones de nuestro planeta, y no es de escasa importancia la que se refiere a la mayor o menor estabilidad de la corteza terrestre que pisamos.

Demostrado por el razonamiento y la experiencia que la mayor parte de los sismos reconoce un origen tectónico, se comprende fácilmente que, según la extensión de la masa desprendida y la violencia de su desprendimiento, así los efectos producidos en la corteza externa, sean de mayor o menor importancia, y se comprende también, que no produciéndose muchas veces la perturbación súbitamente, de una vez, haya réplicas del fenómeno más o menos grandes, perceptibles, desde luego, o acusadas por los aparatos registradores. Pueden los movimientos de la corteza producir perturbación importante en la superficie, o reducirse a trepidaciones de pequeña amplitud que no originan los efectos destructores de los primeros. Triste es la historia de los macrosismos o grandes temblores de tierra que han producido verdaderas catástrofes en diferentes épocas y regiones del Globo, y lamentable que el hombre no disponga de medios para evitarlos, y que, hasta el presente, ni aun pueda predecirlos con suficiente anterioridad para poderse apartar de las regiones afectadas. Cierto es, sin embargo, que parecen comprobadas por la experiencia algunas afirmaciones, tales, entre otras, como la aceptada muy generalmente de que «donde hay tem-

blor de tierra, seguirá habiéndolo», que algunos completan con la proposición recíproca de que «no se ha visto formar regiones sísmicas» en los tiempos históricos. Dícese también que «donde los pequeños sismos son frecuentes, los grandes son de temer»; y se ha llegado a establecer una distribución geográfica de los sismos, formando así la Geografía sísmica, de grande utilidad.

Considerada la corteza terrestre, en conjunto, como un medio elástico formado por capas esféricas, cada una homogénea, pero de densidad y elasticidad variables de una a otra con la profundidad, se admite que la perturbación sufrida en una de sus partes, que para mayor facilidad del estudio, y teniendo en cuenta la magnitud de la Tierra, se considera como un punto, el hipocentro, se propaga por medio de ondas, y se aplican al estudio de esta propagación los principios que la rigen en los medios elásticos, y con frecuencia, por razón de facilidad, se substituyen las ondas por las direcciones normales a cada una en cada punto, direcciones que constituyen los llamados rayos sísmicos. Son estos, según se deduce teniendo en cuenta el aumento de elasticidad de las capas terrestres con la profundidad y el principio braquistocrónico, planos y generalmente curvilíneos, con la curvatura variable de modo continuo y la convexidad vuelta hacia el centro de la Tierra, excepto el que partiendo del hipocentro se dirige, según el radio correspondiente de la Tierra, a la superficie terrestre, determinando en ésta el punto que en Sismología se llama epicentro. Desde el hipocentro parte una multitud de rayos sísmicos que vienen a encontrar a la superficie en diferentes puntos, a veces después que en el interior se han reflejado o refractado. Considerando la propagación, para una representación fácil, en el plano determinado por el foco, el epicentro y la Estación sismológica, se ve que en la línea que une a los dos últimos es atravesada la superficie de la Tierra por una

porción de estos rayos sísmicos que sucesivamente la van encontrando desde el epicentro hasta el punto en que se hace el registro por medio del sismógrafo. Parece evidente que la perturbación que en cada uno de estos puntos de la superficie produzca el rayo que a él llegue, se trasmita alrededor del mismo y en el plano que para mayor facilidad consideramos, en uno y otro sentido a partir de dicho punto de la línea que une el epicentro con la Estación sismológica. Y si en cada punto se produce este efecto, deberán originarse ondas superficiales que obrarán sobre el sismógrafo. De modo que éste acusará la acción de los rayos que directamente lleguen a él, marcando en el trazado las primeras señales (primeros y segundos preliminares de la fase inicial) y luego, para mayor valor del tiempo, otras líneas que pueden corresponder a las llamadas ondas largas o lentas.

El examen atento de los sismogramas hace ver, en efecto, que no todos los rayos o las ondas correspondientes llegan simultáneamente a una Estación, y fundados en esta consideración hacen los sismólogos una clasificación, hoy bastante extensa, de las ondas sísmicas que se distinguen con notaciones especiales, clasificación que se acordó ampliar en el reciente Congreso de Praga, celebrado en 1927, en el que por cierto el Sr. Inglada tomó parte importante con general aplauso.

En esta clasificación de las ondas se consideran dos grupos principales a los que se atribuyen los llamados primeros y segundos preliminares de la fase inicial, las ondas longitudinales (*P*) y las transversales (*S*), nomenclatura la última que, aplicada a las vibraciones correspondientes, parece significar una verdadera polarización, fenómeno que exige demostración concreta, haciendo acaso intervenir la reflexión o refracción posibles de los rayos sísmicos en algunos estratos o en la superficie o superficies de discontinuidad que en la corteza terrestre se admiten.

Se comprende que el catálogo de las ondas sísmicas sea extenso, porque teniendo la mayor parte de estas perturbaciones origen tectónico, como fundadamente se cree, el descenso de los bloques corticales hasta tomar sobre el magma plástico la posición estable que el principio de la isostasia determine en cada caso, puede efectuarse con variación de accidentes muy extensa y, por lo tanto, con diversidad de manifestaciones en los gráficos correspondientes. Se ha pensado en hacer el análisis de las curvas más o menos regularmente periódicas que da el sismógrafo, ya por vía de cálculo o gráficamente; pero bien se comprende que la aplicación de cualquiera de estos procedimientos ha de ofrecer dificultades prácticas casi insuperables. Por esto han pensado algunos en hacer este análisis prácticamente, por medio de sismógrafos analizadores. Y a este propósito es de justicia recordar el interesante trabajo que sobre este asunto, y otros varios que a la Sismología atañen, escribió nuestro sabio compañero, ya difunto, don Eduardo Mier. Es, sin embargo, presumible que la descomposición de estas curvas en sus armónicas no había de ser de utilidad tan grande como lo es, por ejemplo, la descomposición de la curva suministrada por un oscilógrafo en el estudio de una corriente eléctrica alterna. Mayor sería el fruto si pudieran además separarse las curvas correspondientes a diferentes rayos sísmicos, lo que permitiría obtener una especie de espectro sísmico, aspiración irrealizable por no conocer previamente la situación del epicentro, indispensable para poder hacer la instalación de varios sismógrafos a lo largo de la línea que se estudiase.

De estas consideraciones resulta la complejidad que el fenómeno sísmico tiene en el aspecto en que ahora se le considera, es decir, en su propagación por la corteza terrestre.

He dicho antes que los rayos sísmicos son, en general, curvilíneos, y aunque esta afirmación es exacta, cuando se

trata de sismos de ciertas condiciones, puede admitirse la hipótesis del rayo rectilíneo, como con grande acierto y aceptación lo hace el Sr. Inglada para los sismos próximos a un cierto número de Estaciones, lo cual facilita de modo notable el estudio, simplificando los cálculos que éste trae consigo. El profesor V. Conrad, de Viena, aplica este procedimiento del Sr. Inglada al estudio del sismo de Schwarzdorf, de 8 de Octubre de 1927, fundado en la posibilidad de determinar con precisión el principio de los impulsos de las ondas *P*.

Por fortuna, a pesar de la complejidad del fenómeno de la propagación de los rayos sísmicos, los trazados que dan los sismógrafos pueden ser suficientes, cuando la hora de aparición de las ondas puede fijarse con aproximación suficiente, que a veces necesita ser mayor de 0",1 para calcular con exactitud, como prolijamente lo ha hecho en muchos casos el Sr. Inglada, las características que se consideran principales en todos los sismos, la situación del hipocentro y la distancia epicentral.

Al dirigir esta rápida ojeada al fenómeno de la propagación de un sismo no fué mi propósito, claro está, revelar nada que no sea conocido. Únicamente aporto estos recuerdos para señalar la complejidad del fenómeno y la consiguiente dificultad de interpretación de los sismogramas, al menos cuando no hay costumbre de examinarlos. A este propósito señalaré aquí una circunstancia que demuestra el entusiasmo del señor Inglada por esta clase de estudios, y su noble empeño de llevar al ánimo de los demás sus propias convicciones. Digo esto porque, exponiéndole yo mi inhabilidad para interpretar algunos sismogramas que tuvo la bondad de enseñarme, amablemente me mostró los caracteres distintivos de las diversas ondas, haciéndome comprender cómo el examen atento de ellas, y su amplificación, en caso necesario, permiten obtener datos seguros en que fundar los cálculos que son precisos

para determinar las características de los sismos a que antes he aludido.

Preciso es reconocer que el grande perfeccionamiento a que se ha llegado en la construcción de los sismógrafos, ha sido medio eficacísimo por el cual la Sismología ha alcanzado en la ciencia el elevado nivel en que hoy se encuentra.

Mucho ha contribuído a lograrlo la aplicación de los datos obtenidos en el sismógrafo al trazado de las curvas llamadas dromocrónicas — Laufzeitkurve de los alemanes —, que en coordenadas cartesianas se obtienen tomando como abscisas las distancias epicentrales, y como ordenadas los tiempos empleados en recorrer estas últimas. El examen de estas líneas puede arrojar luz sobre el fenómeno de la propagación, y ha permitido, entre otros resultados importantes, llegar a caracterizar, hasta el punto de poderlas distinguir, entre las ondas llamadas longitudinales, dos categorías, designadas, respectivamente, con los símbolos  $P$  y  $\bar{P}$ , indicadas las últimas por primera vez por el célebre sismólogo A. Mohorovicic, y comprobadas por el no menos notable Beno Gutenberg. Cuando existe el hipocentro, estas líneas ofrecen un punto de inflexión, cuya determinación es de la mayor importancia, porque por medio de sus coordenadas, o de la tangente a la curva en él, se puede precisar la posición del foco.

Bien puede afirmarse, después de oír el discurso del señor Inglada, aun sin otros antecedentes, cuán grande importancia tienen hoy los conocimientos sismológicos, y la relación que guarda la Sismología con las demás ciencias que en el estudio de la Tierra se ocupan, y más principalmente con la Geología. Son estas dos disciplinas perfectamente conexas, y se prestan mutua ayuda que, en definitiva, se traduce en el avance y progreso de ambas.

Dice el Príncipe Galitzin en sus *Conferencias sobre Sismometría*, que ésta «es capaz de llegar al conocimiento de



las propiedades físicas de las mayores profundidades terrestres, mediante las observaciones efectuadas en las Estaciones sismológicas; y que lo mismo que los rayos de luz, al llegar hasta nosotros desde los espacios más lejanos, nos dan a conocer la composición química, la temperatura y la presión de los diferentes medios que atraviesan, pudiéndose, por aplicación del principio de Doppler, medir su velocidad, así también los rayos sísmicos nos dan el medio de penetrar en los secretos de la constitución interna del Globo terrestre en aquellas profundidades a que la Geología no alcanza con sus métodos de observación». Aun los que no coincidan de modo absoluto en la apreciación que de los fenómenos indicados hace el célebre sismólogo, reconocerán que los datos aportados por la Sismología han permitido formar un concepto de la constitución de la corteza terrestre, verosímilmente más exacto de los que, hasta no mucho tiempo hace, se aceptaban. Merced a dichos datos, y a causa de la diferencia de velocidad de propagación de las ondas a diferentes profundidades, apreciada en los sismógrafos, y teniendo además en cuenta los aportados por otras investigaciones geofísicas, se cree hoy fundadamente que la corteza terrestre está formada por la barisfera, de unos 1.080 kilómetros de espesor, colocada bajo la superficie de compensación, y que llega hasta la profundidad de 1.200 kilómetros por bajo del nivel del mar, y la litosfera, inmediatamente sobre ella, compuesta de dos zonas: la más interna y flúida formada por el sima en que el magma está constituido por rocas básicas, basaltos, diabasas, peridotitas....., y la de fractura más externa, en que predominan las rocas ácidas: granitos, sienitas, pórfidos cuarcíferos, traquitas....., conjunto o parte de la zona litosférica designada con la voz sial.

La Sismología, ciencia realmente joven, partiendo de los datos experimentales que suministran el trazado de las líneas

isosistas o isoseístas, cuando es posible, y el registro de los sismógrafos, aplica aquellos procedimientos de cálculo que son adecuados, no siempre elementales, para deducir las principales circunstancias que caracterizan el fenómeno y para obtener, en algunos casos, datos importantes acerca de la constitución interna de la corteza terrestre. Mas es preciso reconocer que los fenómenos dinámicos del interior de esta corteza no se pueden estudiar sino por los que se observan o se registran en la superficie; y esta observación, a causa de la complejidad antes apuntada que ofrece la propagación, no siempre permite establecer relaciones concretas entre los trazados y la génesis del fenómeno sísmico propiamente tal.

Aspiración legítima, que podrá tener satisfacción más o menos cumplida con el tiempo, es llegar a determinar estas relaciones. El trabajo perseverante de los sismólogos, que recogen datos y más datos de los fenómenos sísmicos y los estudian con detalle, proporcionando su colocación por lo que al lugar y circunstancias del fenómeno se refiere, en la Geografía y Estadísticas sísmicas que se van formando, ha de ir aclarando muchos puntos de los que hoy aparecen en penumbra, y extenderá las aplicaciones tanto científicas como industriales, acaso más principalmente las primeras, que de la Sismología pueden hacerse.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ED. SUESS.—*Das Antlitz der Erde*.
2. *Meteorologicorum*, libri VI, pág. 283. Louvain, 1646.
3. *Meteorologia endogena*. Milano, 1881-1884.
4. *Meteorologia endogena. Storia sismica della provincia di Verona*. Verona, 1880.
5. *The first principles of observational seismology as developed in the report to the Royal Society of London of the expedition made by command of the Society into the interior of the Kingdom of Naples to investigate the circumstances of the great earthquake of december 1857*. London, 1862.
6. E. VON REBEUR-PASCHWITZ.—*Horizontalpendelbeobachtungen auf der Kaiserlichen Universitätssternwarte zu Strassburg, 1892 bis 1894*. «Beiträge zur Geophysik», Bd. II. 1895.
7. H. BENNDORF.—*Mitteilungen der Erdbeben-Kommission*, N. F. XXIX. Wien, 1905.
8. E. VIECHERT, K. ZÖPPRITZ, L. GEIGER y B. GUTENBERG.—*Ueber Erdbebenwellen*. Nachrichten der Kgl. Ges. d. Wiss. Göttingen, 1907, 1909, 1912, 1914 y 1919.
9. V. LASKA.—*Mitt. der Erdb.-Kommiss.*, N. F. XXXVIII. Wien, 1910.
10. G. B. RIZZO.—*Memorie d. R. Accad. d. Sc. S. II*, t. LXI, pág. 355. Torino, 1910.
11. A. MOHOROVICIC.—*Das Beben vom 8 Oktober 1909*. Jahrbuch des meteorol. Observatoriums Zagreb für 1909.
12. E. ROTHÉ.—*Sur la propagation des ondes séismiques au voisinage de l'épicentre. Préliminaires continues et trajets à refraction. Ondes P et P', exposé d'après les travaux de A. Mohorovicic*. Publications du Bureau Cent. Séism. Int. Travaux scientifiques. Série A, fasc. 1. 1924.
13. A. MOHOROVICIC.—*Hodografi longitudinalni i transversalni valova potresa*. Rad. jugoslav. Acad., vol. CCXXVI.
14. S. MOHOROVICIC.—*Die reduzierte Laufzeitkurve usw. I. Mitt. Die Ausbreitung der Erdbebenstrahlen in den obersten Schichten der Erde*. «Beitr. z. Geophys.», vol. 13, páginas 217-240. 1914. II. *Mitt. Die Ausbreitung der Erdbebenstrahlen in den tiefen Schichten der Erde*. Id. id. id., vol. 14, páginas 187-198. 1916.

15. S. MOHOROVICIC.—*Das Erdinnere*. «Zeitschrift f. angew. Geophysik», volumen I, páginas 330-383.
16. IDEM.—*Ueber Nahbeben und über die Konstitution des Erd- und Mondinnern*. «Beitr. z. Geophys.», vol. XVII, páginas 180-231.
17. *Tables de A. Mohorovicic*, con una introducción de E. Rothé. Publications du Bureau Cent. Séism. Int. Sér. A, fasc. 3, páginas 1-60. París, 1925.
18. H. F. REID.—*On mass movements in tectonic earthquakes and the depth of the focus*. «Beitr. z. Geophys.», vol. X, páginas 318-351. Véase también: *The California earthquake of April 18, 1906*. Report of the State Earthq. Inv. Comm. in two volumes and atlas, vol. II, part. 1, páginas 3-55.
19. FÜRST B. GALITZIN.—*Das Erdbeben vom 3-4 Januar 1911*. Bull. de l'Acad. Imp. d. Sc. St.-Pétersbourg, 1911, 135.
20. V. CONRAD.—*Laufzeitkurven des Tauernbebens vom 28 Nov. 1923*. *Mitt. der Erdb.-Kommiss.* Akad. d. Wiss. N. F. Nr. 59. Wien, 1925.
21. H. JEFFREYS.—*On near Earthquakes*. «Month. Not. R. Astron. Soc. Geophysical Supplement», vol. I, Nr. 8, páginas 385-402. 1926.
22. B. GUTENBERG.—*Der Aufbau der Erdkruste*. «Zeitsch. f. Geophys.», volumen III, pág. 372 y siguientes. 1927.
23. T. MATUZAWA.—*On the Forerunners of Earthquake-motions of certain Earthquakes y Observation of some of recent Earthquakes and their Time-distance curves* (part. I). «Bull. Earthq. Res. Inst. Tokyo», Imp. Univ., vol. IV, March 1928, y vol. V, Aug. 1928.
24. V. CONRAD.—*Das Schwadorfer Beben vom 8 Oktober 1927*. «Beitr. z. Geophys.», vol. XX, páginas 240-277. 1928.
25. H. JEFFREYS.—*On Two British Earthquakes*. «Month. Not. R. Astron. Soc. Geophysical Supplement», July 1927.
26. A. SCHMIDT. — *Wellenbewegung und Erdbeben. Jahrb. d. Verein. f. Vaterländ. Naturkunde in Württemberg*. 1888 (pág. 219).
27. R. VON KÖVESLIGÉTHY. — *Neue geometrische Theorie seismischer Erscheinungen*. Math. und Naturwiss. Ber. aus Ungarn. 1895.  
IDEM.—*Seismonomia*. «Bollettino de la Soc. Sism. Italiana», vol. XI, páginas 113-250. Modena, 1906.
28. L. PILGRIM.—*Die Berechnung der Laufzeiten eines Erdstosses mit Berücksichtigung der Herdtiefen, gestützt auf neuere Beobachtungen*. «Beitr. z. Geophys.», vol. XII, páginas 363-483. 1913.
29. H. BENNDORF. — *Mitt. der Erdb.-Kommiss.*, N. F. XXXI. Wien, 1906.
30. G. HERGLOTZ. — *Physikal. Zeitschr.* VIII. Leipzig, 1907.
31. H. BATEMAN. — *Physikal. Zeitschr.* XI. Leipzig, 1910.
32. E. WIECHERT y L. GEIGER.—*Physikal. Zeitschr.* XI. Leipzig, 1910.
33. B. GUTENBERG. — *Zeitschrift für angewandte Geophys.* 1923, vol. I, página 65, o SIEBERG.—*Geol., physik. and angew. Erdbebenkunde*, cap. 36. Jena, 1923.
34. IDEM.—*En Müller-Pouillet*. «Lehrbuch der Physik.», vol. V, 1.<sup>a</sup> parte, cap. X. *Mechanik und Thermodynamik des Erdkörpers*.
35. LORD RAYLEIGH.—*London Math. Soc. Proc.*, vol. XVII. 1885 y vol. XXX, 1899.
36. N. LAMB.—*Phil. Transact. Roy. Soc.*, vol. CCIII. 1904.

37. A. E. H. LOVE. — *Some problems of geodynamics*. Cambridge, University Press, 1911.
38. K. ULLER. — *Elastische Oberflächenwellen*. «Ann. d. Phys.», vol. VLI. 1918.
39. JEANS. — *The propagation of earthquake waves*. Proc. Roy. Soc. London (A), 102, 554. 1923.
40. H. REICH. — *Ueber die Intensität der Hauptphase eines Bebens in ihrer Beziehung zur Tektonik*. Nach. d. Kgl. Ges. d. Wiss. Göttingen. 1921.
41. G. TAMMANN. — *Zur Analyse im Erdinnern*. «Zeitschr. f. anorg. Chemie», volumen 131. 1923.  
IDEM. — *Bemerkungen zur Geochimie*. «Zeitschr. f. Geophys.», vol. 1. 1924.
42. V. M. GOLDSCHMIDT. — *Ueber die Massenverteilung im Erdinnern, etc*. Die Naturwissensch. Hef. 42. — *Der Stoffwechsel der Erde*. Vidensk. Skrifter I, math.-nat. Kl. Nr. 11. Kristiania, 1922. — *Geochemische Verteilungsgesetze der Elemente*, I, II y III. Id. id. id. Nr. 3, 1923; Nr. 2, 1924 y Nr. 5, 1924.
43. E. WIECHERT. — *Ueber die Massenverteilung im Innern der Erde*. Göttingen. Nachr. 1897.
44. IDEM. — *Ueber die Beschaffenheit des Erdinnern*. Gött. Nachr. 1924. 251-256.
45. C. G. KNOTT. — *The propagation of earthquake waves through the earth*. Proc. Roy. Soc. Edinburg, vol. 39, II. 1919.
46. *Estudios referentes al terremoto de Andalucía ocurrido en 25 de Diciembre de 1884 y a la constitución geológica del terreno conmovido, hechos por la Comisión destinada al objeto por la Academia de Ciencias de Paris*. Versión castellana publicada en el «Boletín de la Comisión del Mapa geológico». Madrid, 1890-93.
47. *Y terremotoi Andalusi cominciati il 25 dicembre 1884*. Memoria di T. Taramelli e G. Mercalli, letta nelle sedute dei giorni 10 e 12 giugno 1885.
48. *Informe de la Comisión para el estudio de los terremotos de Andalucía, dando cuenta del estado de los trabajos en 7 de Marzo de 1885*. «Boletín de la Comisión del Mapa geológico», t. XII, 1-108
49. J. MAC-PHERSON. — *Los terremotos de Andalucía*. Conferencia leída en el Ateneo de Madrid en Febrero de 1885. — *Sur les tremblements de terre de l'Andalousie*. Compt. Rend. Acad. d. Sc., t. C, pág. 136.
50. F. DE BOTELLA. — *Observations sur les tremblements de terre de l'Andalousie*. Comp. Rend., t. C, pág. 196.  
IDEM. — *Los terremotos de Málaga y Granada*. «Bol. de la Soc. Geog.», de Madrid, t. XVIII.
51. S. CALDERÓN. — *Teorías propuestas para explicar los terremotos de Andalucía*. «An. Soc. Esp. Hist. Nat.», t. XIV.
52. C. MARTÍNEZ. — *Los temblores de tierra. Estudios de estos fenómenos en las provincias de Málaga y Granada durante los siete últimos días de 1884 y Enero de 1885*. Málaga, 1885.  
IDEM. — *Los temblores de tierra*. Málaga, 1885.
53. D. DE ORUETA. — *Informe sobre los terremotos ocurridos en el Sur de España en Diciembre de 1884 y Enero de 1885*. Málaga.
54. E. TORALLAS. — *Rapport sur l'organisation du Service sismologique en Espagne*. Instituto Geográfico. Madrid, 1924.

## Trabajos geodésicos y geofísicos de D. Vicente Inglada Ors (\*).

### Presentados a la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

- 4a «Cálculo de las coordenadas del foco sísmico y del instante inicial de las sacudidas por medio de las horas del principio de los sismogramas registrados en varias Estaciones próximas.» (Revista de la Academia, t. XXII, cuaderno IV, páginas 523-92. Junio de 1926.)
- 2a «Contribución al estudio del megasismo japonés de 1.º de Septiembre de 1923. Cálculo de las coordenadas focales y del instante inicial del terremoto principal por medio de las horas de  $\bar{P}$  registradas en las Estaciones próximas.» (Idem íd. íd., t. XXIII, cuad. I, páginas 47-135. Agosto de 1926.)
- «Estudio de sismos españoles. El terremoto del Bajo Segura de 10 de Septiembre de 1919. Cálculo de su profundidad hipocentral y de la hora inicial de sus sacudidas en el foco y en el epicentro.» (Idem íd. íd., t. XXIII, cuad. III, páginas 337-409. Abril de 1927.)
- «Contribución al estudio del sismo pirenaico (canal de Berdún) de 10 de Julio de 1923. Cálculo de sus coordenadas focales y de la hora de la sacudida principal en el foco y en el epicentro.» Presentada en Octubre de 1926.
- (Las cuatro precedentes Memorias fueron premiadas por la Academia en los concursos abiertos, con arreglo al art. 41 de los Estatutos, en los cursos de 1925-26 y 1926-27.)
- «Cálculo de las coordenadas del foco y del instante inicial de un sismo por medio de las horas de las ondas  $\bar{S}$  registradas en las Estaciones próximas.» (Revista de la Academia, t. XXIV, cuad. I, páginas 92-128, Junio de 1928.)
- 3a «Nota acerca del cálculo de la profundidad del foco sísmico por el procedimiento S. Mohorovicic y otros análogos basados en los sismogramas registrados en las Estaciones próximas.» (Idem íd. íd., t. XXIV, cuad. II, páginas 175-201. Septiembre de 1928.)

### Publicados por el Instituto Geográfico y Catastral.

- «El interior de la Tierra, según resulta de las recientes investigaciones sismométricas.» 1919, 51 páginas.
- «Príncipe Galitzin. Conferencias sobre Sismometría» (\*\*). Traducidas de la adaptación alemana de O. Hecker, en colaboración con los Ingenieros Geógrafos D. José García Sineriz y D. Wenceslao del Castillo. 1921, 560 páginas.

(\*) Para no dar excesiva extensión a esta lista sólo se incluyen los trabajos geodésicos y geofísicos y se omiten las publicaciones matemáticas, lingüísticas y literarias.

(\*\*) Informado favorablemente por la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

- «Nuevas fórmulas para abreviar el cálculo de la profundidad aproximada del foco sísmico por el método Kövesligéthy y su aplicación a algunos temblores de tierra» (\*\*). 1921, 61 páginas.
- «La Sismología, sus métodos, el estado actual de sus problemas fundamentales» (\*\*). 1923, 96 páginas.
- «La corteza terrestre» (\*\*). 1923, 94 páginas.
- «Las observaciones gravimétricas» (\*\*). 1923, 584 páginas.
- «Estudio de la propagación de las ondas  $P$  registradas en el sismo producido por la explosión de Oppau (Alemania) de 21 de Septiembre de 1921.» 1926, 37 páginas.
- «Nota acerca de las isanómalas de la gravedad en las regiones central y meridional de España.» 1927, 15 páginas.

#### **Publicado por la Dirección general de Pesca.**

- «La condición isostática de la corteza terrestre.» Conferencia dada en el Instituto Español de Oceanografía el 17 de Febrero de 1927. Notas y resúmenes, serie II, núm. 18. 1927.

#### **Publicados por la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias.**

- «Cálculo de la profundidad hipocentral del sismo del Ribatejo (Portugal) de 23 de Abril de 1909.» Congreso de Oporto, t. IV, páginas 89-107. 1921.
- «La colaboración íntima en los trabajos de investigación, condición indispensable del rápido progreso de las ciencias telúricas.» Congreso de Coimbra. Discurso inaugural de la Sección de Astronomía y Física del Globo, páginas 41-64. 1925.

#### **Publicados por la Real Sociedad Española de Historia Natural.**

- «Los problemas de la moderna Sismología geológica en relación con el estudio de la tectónica de las regiones sísmicas de España.» Tomo extraordinario con motivo del 50.º aniversario de su fundación, páginas 349-65. 1921.
- «El estudio de los sismos próximos.» Conferencias y reseñas científicas, t. II, páginas 1-26. 1927.
- «Procedimientos expeditos de localización de focos sísmicos.» Memorias, t. XIII, páginas 203-47. 1927.

#### **Publicados en el Boletín del Instituto Geológico.**

- «Nota sobre la determinación del foco del megasismo japonés de 1.º de Septiembre de 1923.» T. XLVII, páginas 1-32.
- «El sismo del Bajo Segura de 10 de Septiembre de 1919. Cálculo de las coordenadas del foco, basado en la hora inicial de los sismogramas registrados en varias Estaciones próximas.» T. XLVII, páginas 33-50.

### Trabajos insertos en publicaciones extranjeras.

- «Calcul des coordonnées du foyer séismique au moyen des heures de  $\bar{P}$  ou  $P$  observées au voisinage de l'épicentre.» Publications du Bureau Central Séismologique Internationale. Série A. Travaux scientifiques. Fasc. 5, páginas 3-58. París, 1927.
- «Ueber die Berechnung der Herdtiefe auf Grund der Lage des Inflexionspunktes der  $\bar{P}$ -Laufzeitkurve.» Zeitschr. für Geophysik. Jahrg. 3. Heft 7, S. 317-25. 1927.
- 1 a «Die Berechnung der Herdkoordinaten eines Nahbebens aus den Eintrittszeiten der in einigen benachbarten Stationen aufgezeichneten  $\bar{P}$ -oder  $P$ -Wellen.» Beitr. z. Geophysik. Bd. XIX, Heft 1, S. 73-98. Leipzig, 1928.
- «Estudio de las erupciones volcánicas por medio de las sacudidas sísmicas que producen.» Trabajo presentado a la Asamblea de Praga (Septiembre de 1927) y publicado en el *Bulletin volcanologique* de la Sección de Vulcanología de la Unión Internacional Geodésica y Geofísica.

### Artículos científicos.

#### Publicados en «Ingeniería y Construcción».

- «Importancia de la Sismología y de sus aplicaciones a otras ciencias» (números 11 y 12, Noviembre y Diciembre de 1923).
- «El foco sísmico» (núm. 27, Marzo de 1925).
- «Los procedimientos geofísicos de prospección.» (Serie de artículos inserta en los números de Febrero, Mayo, Junio, Julio, Agosto y Octubre de 1928.)

#### Publicados en «La guerra y su preparación».

- «La Cartografía en la guerra.» (Abril 1924.)
- «Orientaciones de la Geodesia moderna.» Conferencia. (Noviembre 1926.)
- «Evolución de los factores de la guerra.» (Febrero 1927), reproducido por *La Ilustración Militar* (números 447-48).

#### Publicados en la revista «Ibérica».

- «La Sismología moderna» (núm. 318, 1920).
- «Las isosistas y los efectos destructores del temblor de tierra» (núm. 356, 1920).
- «El temblor de tierra sentido el 26 de Noviembre de 1920 en el NW. de la Península Ibérica» (núm. 360, 1921).
- «El período de las ondas de la fase final de los sismogramas» (núm. 493, 1923).
- «El profesor Fusakichi Omori» (núm. 513, 1924).
- «El campo de las investigaciones paleogeográficas» (núm. 519, 1924).



- «II Asamblea de la Unión Geodésica y Geofísica» (números 548, 549 y 550, 1924).  
«La Geodesia moderna» (núm. 561, 1925).  
«El elipsoide terrestre» (números 565 y 567, 1925).  
«Nuevo procedimiento de cálculo de las coordenadas del foco sísmico por medio de las horas de  $P$ , registradas en varias Estaciones próximas» (núm. 639, 1926).  
«Nuevo procedimiento de cálculo de las coordenadas del foco sísmico por medio de las horas de las ondas  $P$ , registradas en varias Estaciones próximas» (número 691, 1927).

#### Publicado en el «Memorial de Artillería».

- «Aplicaciones de la Sismología a la localización de piezas de artillería.» (Conferencia dada en el curso de información de Artillería el 26 de Octubre de 1927. Año 83, serie IX, t. I. Entregas 3.<sup>a</sup> y 4.<sup>a</sup>, páginas 305-324 y 479-493. Marzo y Abril, 1928.)

#### Obras traducidas del alemán.

- A. WEGENER.—*La génesis de los continentes y océanos.* «Revista de Occidente». Madrid, 1924, pág. 172.  
PROF. WILHELM TRABERT.—*Meteorología.* (Colección «Gösschen»), publicado por la Editorial Labor. Barcelona, 1926, 146 páginas.  
PROF. FRITZ FRECH.—*Geología.* Libro II. *Estructura de las montañas. Temblores de tierra.* (Colección «Aus Natur und Geisteswelt»), Editorial Labor. Barcelona, 1926, páginas 149-304.
- 
-