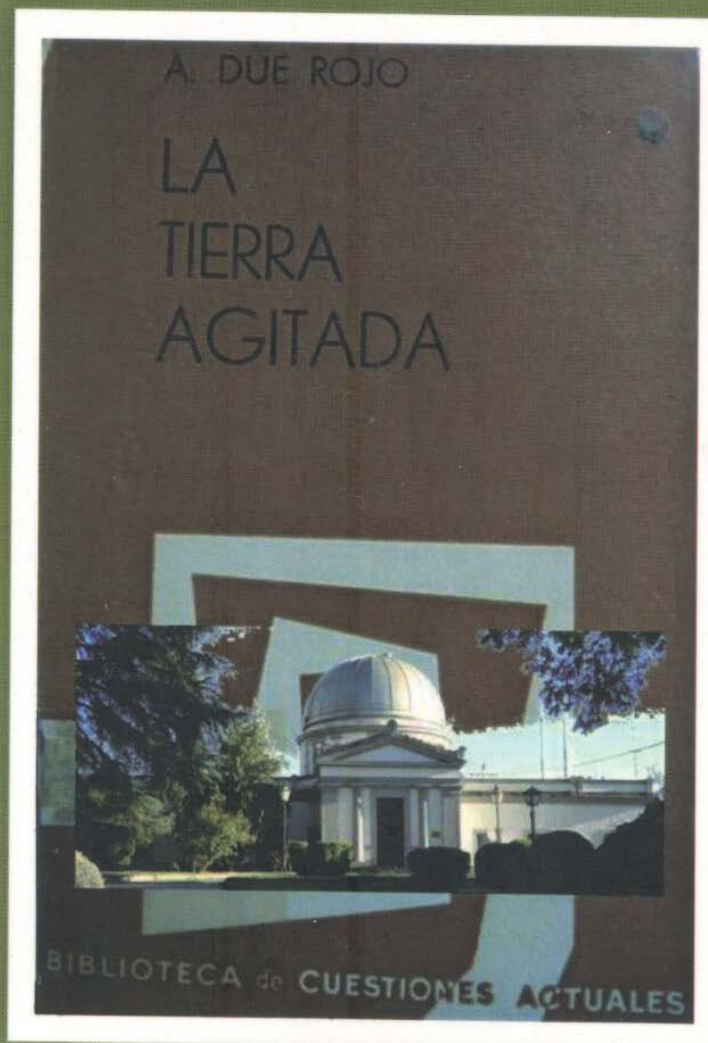


MANUEL ESPINAR MORENO

ESTUDIOS DE SISMICIDAD 7

LA TIERRA AGITADA

Introducción, Vida y Obra del Rvdo. P.D.
Antonio Due Rojo, S.J.



SEGUNDA EDICIÓN

LIBROSEPCCM

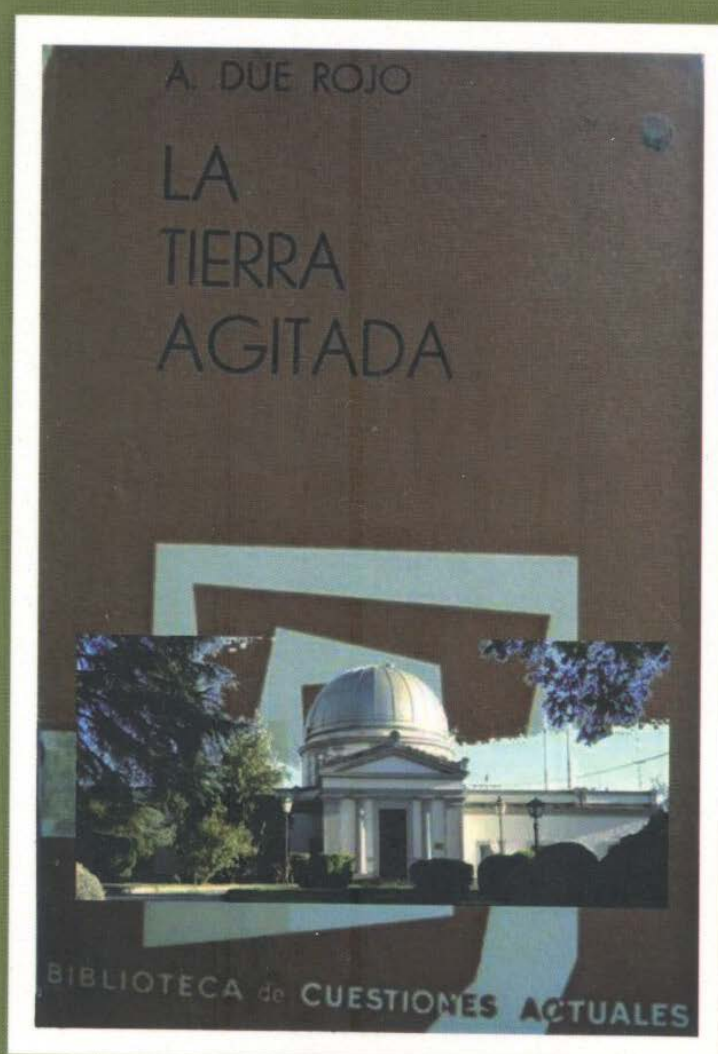
GRANADA, 2023

1 MANUEL ESPINAR MORENO

ESTUDIOS DE SISMICIDAD 7

LA TIERRA AGITADA

Introducción, Vida y Obra del Rvdo. P.D.
Antonio Due Rojo, S.J.



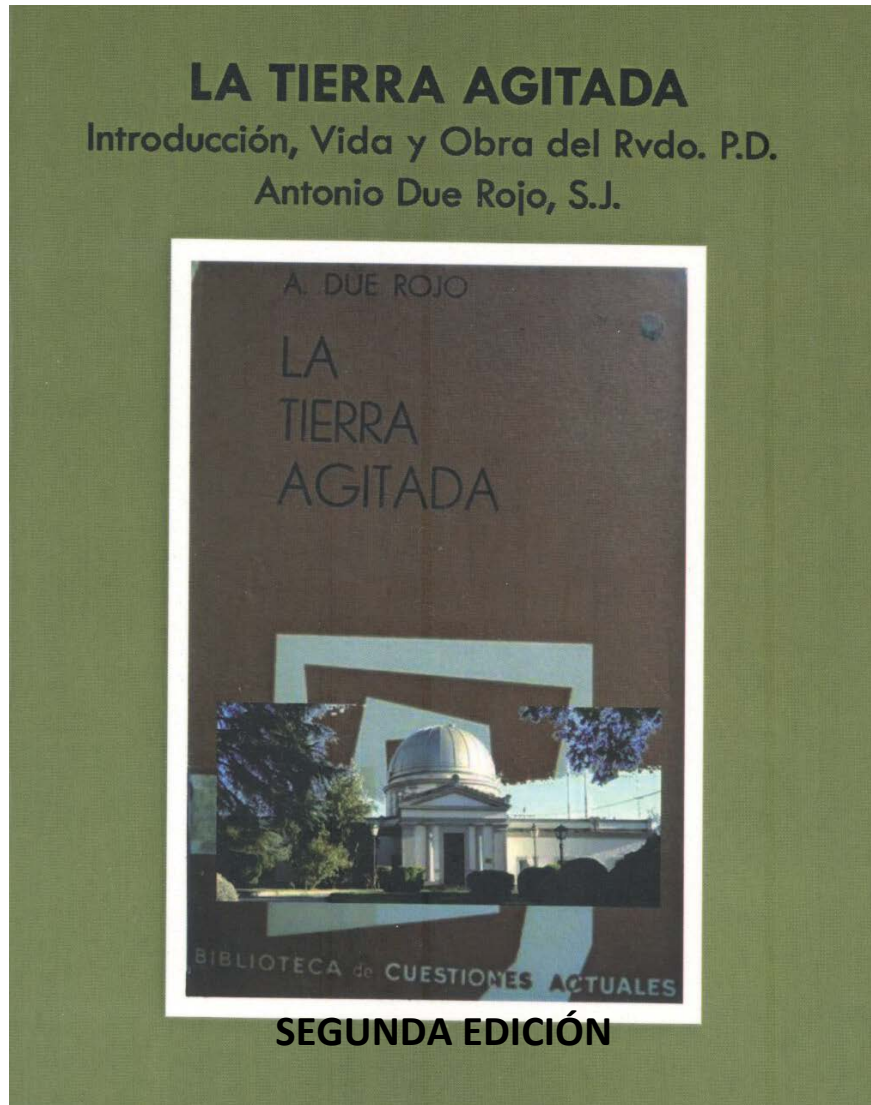
SEGUNDA EDICIÓN

LIBROSEPCCM

GRANADA, 2023

MANUEL ESPINAR MORENO

ESTUDIOS DE SISMICIDAD 7



LIBROSEPCCM

GRANADA, 2023

Editor: Manuel Espinar Moreno

©HUM-165: Patrimonio, Cultura y Ciencias Medievales

Primera edición: 2023

Estudios de Sismicidad 7. La Tierra agitada. Introducción, Vida y Obra del Rvdo. P. D. Antonio Due Rojo, S. J. Segunda edición.

© Manuel Espinar Moreno

Diseño de cubierta: Manuel Espinar Moreno.

Motivo de cubierta: Vista del Observatorio Cartuja (Granada).

Maquetación: Manuel Espinar Moreno

Anexo a la Revista: EPCCM. ISSN: 1575- 3840, ISSN: e-2341-3549 Digibug
<http://hdl.handle.net/10481/>

ISBN: 978-84-9956-502-6. DL.: Gr-308-2013

Edición del Grupo de Investigación: HUM-165: Patrimonio, Cultura y Ciencias Medievales. Colaboración del Centro: “Manuel Espinar Moreno”, Centro Documental del Marquesado del Cenete. Departamento Historia Medieval y CCTTHH (Universidad de Granada) e Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos (I.A.G.P.D. S.-Univ. de Granada)

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede realizarse con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley.

Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos. www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.



© 2018 DOAJ.

The DOAJ site and its metadata are licensed under CC BY-SA

INDICE

Presentación	pág. 7
Introducción de los editores en 2013	pág. V
Vida y obra del Revd. Padre Antonio Due Rojo, S. J.	pág. XI
Actividad del P. Due al frente del Observatorio (1940-1965)	pág. LXV
La Tierra agitada. Conquistas de la Geofísica moderna	pág. 5
Introducción	pág. 7
El impulso inicial	pág. 11
Continentes móviles	pág. 26
Cimientos inseguros	pág. 44
Olas y tempestades de la corteza terrestre	pág. 64
La Tierra agitada, según la Biblia	pág. 83
¿Por qué se mueve la Tierra?	pág. 101
Terremotos para la paz	pág. 122
Relojes y calendarios	pág. 142
Solidez futura del suelo	pág. 161



Fotos sacadas de internet. P. Due segundo por la derecha

Presentación.

LA TIERRA AGITADA

Introducción, Vida y Obra del Rvdo. P.D. Antonio Due Rojo, S.J.

Hace unos años, con motivo del Centenario del Observatorio de Cartuja, publicamos junto con D. Juan de Dios Morcillo Puga, una de las obras maestras del R. P. Manuel María Sánchez-Navarro Neumann, S. J. Hoy ofrecemos una de las obras más interesantes de su discípulo y sucesor en la dirección del Observatorio de Cartuja, el R. P. Antonio Due Rojo, S. J. tituladas La Tierra agitada. Conquistas de la Geofísica moderna, que vio la luz por primera vez en 1965, gracias a la prestigiosa Editorial Razón y Fe, en la llamada Biblioteca “Razón y Fe” de Cuestiones Actuales. Esta fue editada también junto al prof. D. Juan de Dios Morcillo Puga en la editorial Ada book de Granada.

La obra consta de una introducción y varios capítulos que se pueden consultar a medida que leamos esta interesante obra.

Para los que no conocieron a este importante investigador, que ocupó igual que su maestro, la dirección del imprescindible Observatorio de Cartuja de Granada, especializado sobre todo en los estudios de Meteorología, Sismicidad y Astronomía, se dedicó este investigador especialmente a los estudios de Sismología, sin olvidar otros relacionados con la Climatología. Hoy damos a conocer esta obra mediante esta reedición que calificamos como segunda pues ya en 2013 hicimos la primera en la editorial Ada book de Granada, añadiendo a todo ello unas notas sobre la vida y obra del Padre Antonio Due, S. J., vemos como fue trabajador incansable, que escribió muchos trabajos y algunas obras bien pensadas, tratando siempre de ofrecer materiales novedosos a los investigadores de importancia, cumplieron en su día con la intención del autor, fueron muy útiles y necesarios para su tiempo, y creo que todavía hoy lo siguen cumpliendo.

El mismo Padre Antonio Due en su introducción recuerda que la horizontalidad del suelo no era ni absoluta ni aparente pues llega a decir que la aparente tranquilidad de la tierra que pisamos no es más que eso, aparente, pues en realidad el suelo por el que andamos no está totalmente quieto.

Quiero y deseo que esta obra, que se conserva en la biblioteca del Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos, igual que la de su maestro, sirvan a muchos para entender que la tierra en que vivimos tiene de vez en cuando ciertos movimientos que para los estudiosos son el fundamento de la geofísica y de los terremotos. La universidad de Granada en este caso tiene la fortuna de haber heredado muchos de los trabajos que nos legaron aquellos preclaros hijos de la Compañía de Jesús.

Manuel Espinar Moreno, enero 2023.



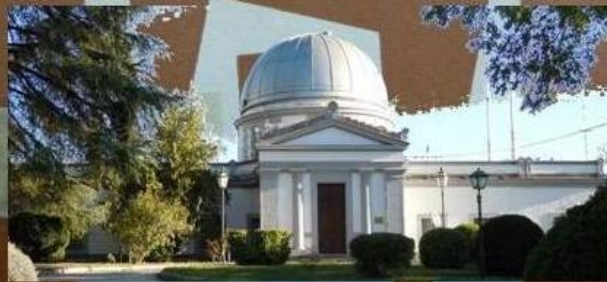
Observatorio de Cartuja, imágenes de internet.

A. DUE ROJO

LA TIERRA AGITADA

Introducción, Vida y Obra del Rvdo. P. D.
Antonio Due Rojo, S.J.

por M. ESPINAR y J.D. MORCILLO



GRANADA, 2012

BIBLIOTECA de CUESTIONES ACTUALES

© Portada: M. Espinar y J.D. Morcillo
Imprime: Ada book, Granada 2013
ISBN: 978-84-9956-502-6
Depósito Legal: Gr-308-2013

INTRODUCCIÓN

Hace unos años, con motivo del Centenario del Observatorio de Cartuja, publicamos una de las obras maestras del P. Manuel María Sánchez Navarro-Neumann S.J. Hoy ofrecemos otra de las obras clásicas de su discípulo P. Antonio Due Rojo S.J. titulada “La Tierra agitada. Conquistas de la Geofísica moderna”, que vio la luz en el año 1965, gracias a la Editorial madrileña Razón y Fe

Esta obra consta de una Introducción y nueve capítulos.

Para los que no conocieron al eminente investigador que ocupó, igual que su maestro, la dirección del importante Observatorio de Cartuja de Granada, especializado en Meteorología, Geodesia, Astronomía y, especialmente, estudios de Sismología; ahora, en esta reedición facsimilar damos unas pinceladas sobre su vida y sobre su obra puesto que fue un trabajador incansable que escribió obras manejables y bien medidas, que cumplieron perfectamente una misión útil y necesaria para su tiempo, y, nosotros creemos que, todavía hoy, la sigue cumpliendo.

Ya, en la Introducción recordaba que la firmeza y horizontalidad del suelo no era ni absoluta ni completa, llegando a decir que la aparente tranquilidad del suelo que pisamos no es más que eso: aparente, porque en realidad no estaba quieto.

Gracias a la Geofísica moderna y a las investigaciones llevadas a cabo en el siglo XX mediante métodos e instrumentos nuevos podemos decir que el Observatorio de Cartuja estuvo a la altura de la ciencia de su época, especialmente del Instituto Nacional de Geofísica, creado en el año de 1941.

Aquella nueva ciencia tenía aspectos importantes, de entre ellos destacamos el económico, y a él se dedicaron empresas privadas y estatales, especialmente para las prácticas de la prospección minera, pero ya el P. Due nos dice que había otro género como el estudio de muchos procesos naturales y fenómenos que redundaban en grave daño de los hombres porque ocasionaban miles de millones de pérdidas, tal como eran los terremotos.

Descubrir y analizar estos procesos, buscando remedios eficaces para evitarlos o reducirlos en sus perniciosos efectos hacía que la Sismología se convirtiera en una ciencia de gran utilidad, que requería una amplia colaboración internacional y una ayuda mutua, fraternal y desinteresada.

El capítulo primero lo titula “El impulso inicial”, planteándose la cosmogonía, en general, la formación de nuestro planeta independiente del Sol y la evolución posterior. Para ello ofrece teorías de investigadores de elite en aquellos momentos.

Continúa, en el capítulo segundo, hablando de los “continentes móviles” o lo que también denomina “resurrección de una teoría muerta”, expone hundimientos y elevaciones ocurridas en la corteza terrestre, el subsuelo en ebullición, la clave antártica con ejemplos de testimonios vivientes. Para pasar después a los hechos y teorías, con ejemplos, muchas veces locales

En el capítulo tercero hay un estudio de los “cimientos inseguros” donde analiza los terremotos sobre los que él tantas veces escribió. Dice que es relativamente reciente su estudio científico y mucho más la investigación con métodos de depuradas técnicas y recursos, aunque todavía se conserven ideas del vulgo en esta materia. Expone cómo eran los trenes de ondas, las anomalías, las calumnias sísmicas le permiten poner el ejemplo de Monachil (Granada) donde con admiración de las gentes “un monte echó a andar” trastornando los límites de las propiedades y arrasando los campos cultivados. Continúa hablando de otros terremotos importantes entre ellos el que destruyó Alhama de Granada y su región. Sigue analizando lo que llama “huyendo del peligro” y el mejor remedio, logrando de esta forma tanto al especialista como al profano que conozcan el funcionamiento de la sismología.

El capítulo cuarto lo titula “Olas y tempestades de la corteza terrestre”. Aquí expone muy acertadamente, en diversos apartados, la denominada “piedra en el estanque”, las “tempestades pasajeras”, “las opiniones se dividen” en donde da cuenta de las diversas reuniones llevadas a efecto en Europa, África y Asia y las diferentes concepciones de los especialistas, además emprende la búsqueda de soluciones, así como el concepto de tempestades útiles.

El siguiente capítulo, titulado “la tierra agitada, según la Biblia”, nos ofrece criterios de interpretación, como los fenómenos ocurridos en el Mar Rojo y en el río Jordán, los falsos volcanes, los falsos terremotos, la sismicidad del Monte Calvario lo que nos hace ver por el planteamiento de esta parte de la obra la preparación, no

sólo científica, sino teológica del antiguo director de Cartuja (Granada), relacionado con las figuras más señeras, no sólo de la Sismología, sino de la Teología, y, cómo compaginaba ambas para ofrecernos un capítulo novedoso que, todavía hoy, no ha sido superado.

El capítulo sexto lo denomina “Por qué se mueve la Tierra” en donde analiza los errores disculpables, la tierra caliente, la tierra fría, la sismicidad Bética, los cinturones de fuego, causas verdaderas y falsas, y aquí vuelve a la ciencia para recordarnos su quehacer diario.

En el capítulo séptimo, muy novedoso, pues lo llama “Terremotos para la paz” en el que habla del Padre Dinamita, la sismología y los tratados de paz, las cajas negras, los detectives sísmicos, las señales distintivas y los terremotos útiles. Nada más que la enumeración de los apartados del capítulo nos permite ver que estaba totalmente al día en todos los aspectos relacionados con la Geofísica, y, a la vez, sabía apellidar cada fenómeno científico con uno literario, totalmente congruente y sintácticamente exacto.

El capítulo octavo titulado “Relojes y calendarios” hace un repaso sobre el reloj de los muertos (C-14), inundaciones heladas y calendarios atómicos; ya que para él la cronología era algo importante y útil para entender los problemas cronológicos relativos a las inquietudes terrestres desde las primas fases de su formación hasta nuestros días.

El último capítulo “Solidez futura del suelo” expone que una de las grandes investigaciones sería el descubrimiento de un método eficaz para predecir los terremotos. Trata el fondo de la cuestión, la falla de San Andrés, las señales preventivas, el último recurso y

perspectivas a largo plazo que también nos hace ver como estaba actualizado y preocupado por la moderna sismología, tratando, igual que ya hizo su maestro, de dar a la Sismología una finalidad social y caritativa porque siempre los más pobres son los más afectados.



El P. Antonio Due Rojo en la XX Reunión Anual de la Sociedad Sismológica de América, en la Universidad John Carroll, 18 y 19 de junio de 1948.

VIDA Y OBRA DEL R. Padre ANTONIO DUE ROJO, S. J

Por las noticias que se conservan en el Archivo de la Compañía de Jesús y en los fondos del Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos en Granada, sabemos que el P. Due nació en Málaga el 12 de Febrero de 1898 y que murió en Cartuja (Granada) el 7 de Enero de 1975. Tras sus estudios medios y de Bachillerato, ingresó en la Compañía de Jesús el 1 de octubre de 1915. Fue ordenado sacerdote el 29 de Julio de 1928. Renovó sus votos en Profesión religiosa solemne el 2 de Febrero de 1933. Sobre su vida se conservan dos notas necrológicas publicadas en los periódicos granadinos “Ideal” y “Patria” y una reseña en “ABC”.

Fue Director del Observatorio de Cartuja, Rector y Profesor de la Facultad de Teología¹. Antes de ordenarse sacerdote se dotó de una amplia formación, terminó sus estudios de Filosofía, enseñó Ciencias Naturales y Astronomía en Cartuja (Granada) en el curso 1923-1924. Tras concluir su formación teológica fue designado subdirector del Observatorio Astronómico y Sismológico de Cartuja (Granada), propiedad de la Compañía de Jesús, en el año 1930, aunque, en realidad, como él mismo nos comenta, ejercía el cargo desde 1925. Sabemos que se

¹ En los papeles y documentos sueltos del Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos se conservan gran cantidad de noticias sobre su vida y obra que hemos recuperado para realizar este trabajo.

doctoró en Filosofía y Teología. Algunas notas proceden de su propio curriculum; en 1954 nos da las noticias que siguen sobre él y alguno de sus colaboradores:

El 4 de mayo de 1954 envía el P. Due algunos datos sobre su curriculum al Consejo Superior de Investigaciones Científicas en Madrid, en donde dice que ha nacido en Málaga el 12 de febrero de 1898, que está en posesión del Título de Bachiller, expedido por el Instituto General y Técnico de Málaga, en donde estudia desde 1909 a 1915. Los estudios de Letras y Filosofía los realiza en el Colegio de la Compañía de Jesús en Granada en dos etapas: la primera, desde 1917 a 1919 y, la segunda desde 1919 a 1923. Estudia Teología en la Facultad del mismo Colegio entre 1925 y 1929. Realiza la licenciatura en Ciencias Físicas en la Universidad de Madrid desde 1932 a 1935. De la misma manera nos informa cómo fue profesor de Ciencias y Letras en los siguientes períodos: 1919-1920, 1923-1925 y 1930-1931; profesor de Teología y Sagrada Escritura desde 1936 a 1940; profesor de Lengua Hebrea en la Facultad de Teología de la Compañía de Jesús en Granada en el curso 1921-1922 y desde 1937 a 1940, y profesor de Filosofía en 1940. Subdirector del Observatorio de Cartuja, en 1925 y en el período 1931-1932. Fue nombrado Rector del Colegio Máximo y Facultad de Teología de la Compañía de Jesús en Entre-os-Rios (Portugal) y en Granada desde 1935 a 1940, y, desde este mismo año es nombrado Director del Observatorio de Cartuja (Granada).

Como director del Observatorio, desarrolló, sobre todo, trabajos en Astronomía (actividad solar), Meteorología y Sismología. El Observatorio estuvo agregado al

Consejo Superior de Investigaciones Científicas como uno de los Institutos del patronato "Alfonso el Sabio".

Cuando se refiere a uno de sus colaboradores nos dice que el P. Gimeno Riutort nació en Sevilla el 19 de diciembre de 1907, estudió el Bachillerato y la Licenciatura en Ciencias Químicas en Sevilla, y los estudios de Letras y Filosofía así como los de Teología en la Compañía de Jesús.

El P. Due trabajó a las órdenes del P. Manuel María Sánchez-Navarro Neumann, uno de los pioneros más destacados de los estudios sismológicos. Disuelta la Compañía de Jesús en España por la Segunda República y despojada la Compañía del Observatorio de Cartuja² salió de Granada y aprovechó estos años de dispersión para ampliar estudios en las Universidades de Sevilla y Madrid desde 1932 a 1935. Las indicaciones de sus superiores y las circunstancias especiales le impusieron un nuevo paréntesis en su dedicación total a la Geofísica y a la Astronomía.

En el curso 1935-1936 fue nombrado Rector del Teologado de la provincia de Andalucía de la Compañía de Jesús. En aquellos momentos se estaba tratando de reorganizar a los padres y estudiantes. El Teologado se había establecido en Entre-os-Rios (Portugal) para que los estudiantes jesuitas españoles, que no podían seguir estudiando en España por la citada disolución, continuaran sus estudios y trabajos. En aquella casa se pusieron las bases, bajo el Rectorado del P. Due, para que, concluida la

² Por Decreto de Presidencia de Gobierno de 23 de Enero de 1932, y, puesto en ejecución el 2 de Febrero del mismo año.

guerra civil española, fuera Granada la sede de la nueva Facultad de Teología. El Teologado se volvió a instalar en Granada en 1939 y en ese mismo año, con fecha de 3 de diciembre, se erigía la Facultad. Poco después, a finales de enero de 1940, se nombraba un nuevo Rector en la Facultad y el P. Due de esta forma se pudo dedicar casi plenamente a lo que él consideraba la actividad fundamental de su vida: el trabajo y la dirección del Observatorio de Cartuja.

Vuelta la normalidad a nuestro país el P. Due fue designado de nuevo subdirector del Observatorio de Cartuja ya recuperado y devuelto por el Gobierno³ a la Compañía, aquí de nuevo trabajó con el P. Sánchez-Navarro. Poco después, a la muerte del P. Sánchez-Navarro, su maestro y amigo, es nombrado Director del Observatorio, tanto en la Sección de Astronomía como en la de Geofísica. Al frente de este cargo perseveró veintiséis años, desde 1940 hasta 1966. Una penosa enfermedad (miastenia), que ya no le abandonó hasta su muerte, le obligaron a cesar en sus numerosos trabajos científicos. Hasta el último día conservó los rasgos fundamentales de su personalidad humana y religiosa. Los que lo trataron destacan su delicadeza, afabilidad, sencillez, deseo de evitar molestias a los demás, profunda y sencilla piedad, etc., algo que nos recuerda a su maestro el P. Sánchez-Navarro Neumann.

Los que lo conocieron nos dicen que además de su preparación científica poseía una seria y sólida formación

³ Por decreto de la Jefatura del Estado de 3 de Mayo de 1938, III Año Triunfal.

filosófica y teológica, especialmente destacaba en Teología Fundamental, en Hebreo y en cuestiones científicas relacionadas con la Filosofía.

En una nota del expediente encontramos: "*Ha fallecido en la paz del Señor en Granada (Cartuja) el P. Antonio Due Rojo, el día 7 de enero de 1975. Tenía 76 años de edad y 59 de Compañía.*

Además de la oración especial que hagan por él, todos los PP. ofrecerán una misa, y los que no son sacerdotes una misa, comunión y rosario, por el alma de dicho Padre difunto: P. Socio. El último aviso enviado fue el del P. Francisco Enciso".

El periódico Ideal de Granada publicó dos esquelas tras su fallecimiento el 8 de enero de 1975 que dicen:

"R. P. Antonio Due Rojo, S. J. ex director del Observatorio de Cartuja, ex Rector y Catedrático emérito de la facultad de Teología. Falleció en Granada el día de ayer, a los 76 años de edad. El Rector y personal del Observatorio Universitario de Cartuja. Ruegan una oración por su eterno descanso y comunican que el funeral tendrá lugar hoy, a las cuatro de la tarde, en la capilla de la Residencia de Profesores de la Compañía de Jesús, Polígono Universitario de Cartuja. Granada, 8 de enero de 1975". La otra esquela es igual y fue puesta por la Facultad de Teología. Apareció otra en el Diario Patria.

Al día siguiente, jueves 9 de enero de 1975, el Ideal de Granada dedica una extensa nota donde se hace una reseña biográfica, pág. 12 del periódico. El título de la reseña es: *El padre Dúe, S. J. fue el primer rector de la Facultad de Teología de Cartuja. Como director del Observatorio desarrolló una intensa labor científica*

durante más de un cuarto de siglo. La redacción nos dice que fue enterrado el día 8 cuando tenía 76 años, y, añade: "Durante los cinco últimos años una penosa enfermedad lo ha tenido separado de toda actividad exterior. Hasta entonces había desplegado una intensa labor, conocida de todos los granadinos, desde su puesto de director del Observatorio de Cartuja". El periódico YA de Madrid dedicó una pequeña nota el 9 de enero que titula: Fallece el padre Due, ex director del observatorio de La Cartuja. De esta nota destacamos lo que sigue:

"El padre Due era una conocida personalidad científica en el orden de la sismología, y ha sido director durante veintiséis años del Observatorio Sismológico y Astronómico de Cartuja, hasta que en 1965, por imperativos de edad, cesó. Fue el primer rector de la facultad de Teología de Granada, de donde actualmente era profesor. Pertenecía al Consejo Superior de Investigaciones Científicas y a numerosas sociedades internacionales de su especialidad. Su muerte ha sido muy sentida en Granada".

El periódico granadino Patria dedicó otra reseña semejante a la de Ideal el 9 de enero pero sacó una nota necrológica el día 8 de enero que pasamos a extractar por lo que dice: Necrológica, ayer falleció el padre Due, S.J., durante veintiséis años fue director del Observatorio de Cartuja.

En otra nota encontramos algunos datos sobre el P. Due, en la que expresa era un gran científico y profesor. Tuvo a su cargo durante muchos años el Observatorio de Cartuja (Granada), una vez recuperado al final de la guerra civil de 1936-1939. Escribió numerosas obras de divulgación científica, con valor también apologético.

Tenía la carrera civil de Ciencias, licenciado en Física. Hombre de una delicadeza suma, y también sumamente paciente bien demostrada durante los muchos años que le duró la enfermedad progresiva de miastenia⁴. Se vio privado totalmente de su vigor muscular y supuso un brusco corte en su actividad.

No fue obstáculo su permanente falta de salud para que, en los citados 26 años, realizara una amplia labor científica, principalmente en el terreno de la Geofísica y Astronomía. Así lo acredita la nota de sus publicaciones,

⁴ Es una enfermedad autoinmunitaria que afecta los receptores de la unión neuromuscular y suele acompañarse de tumores tímicos. Se caracteriza por un agotamiento progresivo y rápido de la fuerza muscular durante esfuerzos repetidos y constantes (empeora con el ejercicio y mejora con el reposo) aunque a veces se observe una debilidad constante.

Esta fatiga muscular afecta a los músculos del esqueleto, faciales, oculomotores, laríngeos, faríngeos y respiratorios, siendo esta última lesión la que puede ocasionar muy graves complicaciones. La evolución clínica es variable; hay remisiones y exacerbaciones espontáneas.

El diagnóstico suele desprenderse de la historia clínica y la exploración física. Las pruebas complementarias ayudan a confirmarlo.

El tratamiento no se atiene a ningún protocolo concreto. La modalidad será de acuerdo con los síntomas, los hábitos de vida y la respuesta terapéutica. Cuando hay un empeoramiento rápido de la función respiratoria y la deglución obliga a medidas de mantenimiento intensivas, y al tratamiento y corrección de las causas desencadenantes (infecciones y alteraciones de la función tiroidea).

Las crisis miasténicas con insuficiencia respiratoria se observa en los pacientes con debilidad de la musculatura bulbar y respiratoria, aunque la función respiratoria hay que vigilarla en los pacientes con riesgo.

más de un centenar en diversas publicaciones científicas, principalmente en el "Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural", "Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España", "Revista de Geofísica", "Euclides", "Urania", "Las Ciencias", "Razón y Fe", "Fomento Social", "Pensamiento", "Ibérica", etc. Entre su obra encontramos 6 libros de divulgación científica. Su intensa preocupación religiosa en conexión con el mundo científico, le impulsó a publicar su libro trabajado tal vez con el mayor cariño: *Dios y la Ciencia*, 1941.

Estuvo muy conectado con el mundo científico extranjero y español, en éste, fue miembro del Consejo Superior de Investigaciones Científicas del Ministerio Español de Educación y Ciencia. Intervino, por supuesto en otras Asociaciones científicas del extranjero, a cuyos congresos asistía con intervención personal. Todo ello aparte de su labor diaria en el Observatorio, sus clases en la Facultad de Teología de Granada y en la Facultad de Filosofía de Chamartín-Alcalá, actividades editoriales, etc.

Publicó unos 600 trabajos y entre ellos varios libros. Se conservan encuadernados, en la Biblioteca de la Facultad de Teología de Granada, dieciocho volúmenes de tamaño medio, que contienen en total unos seiscientos trabajos, del género de comunicaciones para congresos científicos y entidades similares. Además se conservan también un grupo de monografías, bajo los siguientes títulos:

- *Dios y la Ciencia.*
- *El poder de Dios y la Ciencia.*
- *El hombre de Dios y la Ciencia.*
- *La acción de Dios y la Ciencia.*

Son los números 3, 5, 11 y 12 de una colección de monografías publicadas con fines apologéticos por el Centro de Cultura Religiosa Superior. En la Biblioteca de Cuestiones Actuales se conocen los siguientes volúmenes:

- *Edades y tiempos en el Universo.*
- *La frontera de nuestro mundo.*
- *La Tierra agitada.*
- *El mundo de los mares.*
- *Infancia y juventud de la Cultura Humana.*
- *Vida y muerte del Cosmos.*

Los volúmenes de las monografías son de tamaño medio y tienen unas dimensiones de 165 x 112 mm y un contenido medio entre 175 y 210 págs. La orientación que dio a sus escritos nos muestran un importante rasgo de su personalidad: su capacidad para imprimir a todas las actividades de su vida un profundo sentido religioso, apostólico y sacerdotal.

En el diario Patria se dice: "*..a sus elevadas dotes de sacerdote ejemplar unimos su gran personalidad científica, no será necesario destacar la gran pérdida que para nuestra ciudad y para el mundo entero supone la desaparición del padre Due*". Más adelante continua: "*En el campo de la sismología era una auténtica autoridad que demostró en su prolongada dirección del Observatorio de Cartuja en donde quemó sus muchas horas de estudioso desde que llegó a Granada en el año 1939 hasta que cesó por imperativos de la edad, en 1965*". El periódico da el pésame a sus familiares y añade que siempre colaboró cuando fue requerido para asesorarles en las parcelas del saber en las que era un consumado especialista, da el pésame a la Compañía de Jesús por haber perdido a uno de

sus más preclaros componentes y finaliza diciendo:
"Descanse en la paz de Dios el querido padre Due".

El 2 de octubre de 1986 se redactó otra nota dirigida al R. P. Francisco de Borja Medina, S. J. (Roma), que dice:

"Querido P. Borja: le envié adjunta copia de un corto informe que he tenido que realizar acerca del P. Due. La ficha que a su debido tiempo envié a V. relativa a nuestro P. Due, era pobrecita y tal vez sirva para enriquecer las notas que le adjunto.

Mañana D. m. es su onomástica. Ya procuraremos encomendarle al Señor. Afmo en Cto. Francisco Delgado". Otra similar se destina al P. Francisco Mondejar, S. J.

Otras noticias sobre su vida.

En 1942 publica la Crónica de la Segunda Reunión de Estudios Geográficos, celebrada en Granada, en la Revista Razón y Fe. Pronunció una conferencia sobre *El clima en Granada*, que había presentado en dicha Reunión y que había entregado para la revista Estudios Geográficos del Instituto Juan Sebastián Elcano. Impartió una nueva conferencia sobre la labor científica del P. José A. Pérez del Pulgar. Dictó un curso de conferencias dogmático-científicas en el Centro de Cultura Religiosa Superior de Granada, sobre *El Hombre ante Dios y la Ciencia*, y otras dos conferencias sobre el Observatorio de Cartuja a 140 maestros con ocasión de las oposiciones al Cuerpo del Magisterio Nacional Primario, celebradas en Granada en ese mismo año. También sabemos que impartió otra conferencia en la II Asamblea sismológica de Alicante, otra en la Sección granadina de la Real Sociedad Española de Historia Natural y, por último, otra sobre *La*

Astronomía y la religión en el Colegio residencia de la Compañía de Jesús en Jerez de la Frontera.

Durante 1943 volvió a impartir el curso sobre *El Hombre y la Ciencia* en el Centro de Cultura Religiosa Superior durante Enero y Febrero, que hicieron un total de 12 conferencias. El 25 de enero imparte otra sobre *El problema del registro galvanométrico* en la Real Sociedad de Física y Química. El 7 de marzo dio una conferencia en el Seminario de Córdoba sobre *Santo Tomás y la ciencia astronómica*. En la Facultad de Teología imparte otra sobre *La Santa Sede y la reforma novísima del Calendario* el 28 de Marzo. En la Sección de Granada de la Real Sociedad Española de Historia Natural el 1 de junio expresa una comunicación sobre *La sismicidad de España en 1941*.

Durante el mismo año imparte otras conferencias, una el 12 de marzo en el Colegio de Médicos de Cádiz, con ocasión del homenaje al P. Sánchez-Navarro Neumann, S.J., médico antes de entrar en la Compañía de Jesús, y luego Director del Observatorio durante 30 años. Otras dos en la Hermandad de San Cosme y San Damián, de Jerez de la Frontera, a médicos y farmacéuticos, sobre *Moral profesional*, el 1 y 2 de Mayo. En el Colegio San Luis Gonzaga, del Puerto de Santa María, otra sobre *La Astronomía moderna*. Otra sobre Astronomía en el Centro de Cultura Religiosa Superior de Granada con ocasión del centenario de Newton. En el Ideal Cinema de Atarfe da tres conferencias de vulgarización científica sobre Astronomía y Geofísica del 4 al 6 de Mayo. A través de Radio Jerez dicta 6 conferencias sobre las relaciones del hombre con Dios.

En 1944 asiste al XVIII Congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias celebrado en Córdoba en Octubre⁵. Disertó sobre *Las teorías sismogénicas en España durante los últimos siglos*, en ella analiza las teorías que se desarrollan a partir del terremoto de Lisboa de 1 de Noviembre de 1755, cuyos efectos se dejaron sentir en Portugal, España y el norte de África. Entre las conferencias de este año nos encontramos 7 impartidas en el Centro de Cultura Religiosa Superior en el curso 1943-1944 sobre *El gobierno de Dios en el mundo*, en las que se trató sobre las relaciones de los fenómenos naturales con la Providencia. En este mismo centro la sesión final trató sobre *La Astronomía y la Religión*, que estuvo ilustrada con proyecciones. En la Facultad de Teología realizó una conferencia sobre *Los métodos de la investigación Científica*. En la sección granadina de la Real Sociedad Española de Historia Natural sobre *Los movimientos sísmicos en España durante el año 1942*. En la sección de la Real Sociedad Española de Física y Química sobre *Influjo real y ficticio de la Luna en la dinámica atmosférica*. En la Agrupación Álvarez Quintero, de Granada, una conferencia sobre *El influjo del Sol en la Tierra*. Por último, en la Universidad de Sevilla dio otra conferencia sobre *Progresos de la Astronomía y Geofísica*.

En 1945 volvió a dictar en el Centro de Cultura Religiosa Superior otro curso sobre *Los fenómenos luminosos naturales y las apariciones sobrenaturales*, en dos conferencias. En el Observatorio de Cartuja da una

⁵ Reseña publicada en la *Revista de Geofísica*, Año III, núm. 12, Octubre-Diciembre, 1944, pp. 677-685.

conferencia sobre Meteorología a los alumnos de la Cátedra de Higiene de la Universidad de Granada. En Sevilla da una conferencia sobre *La responsabilidad humana y la ciencia heterodoxa*.

En estos momentos, en uno de sus informes y tras enumerar todos los trabajos que realiza el Observatorio, nos dice que tiene que hacer frente a las consultas frecuentes, conferencias científicas y la participación en Congresos y Asambleas científicas y que había tenido que negarse a dar muchas conferencias porque tenía que dejar sus clases.

En 1946 dictó un ciclo de conferencias en el centro de Cultura Religiosa Superior de Granada del 3 de febrero al 10 de marzo sobre *la Palabra de Dios y la Ciencia*, que hacen un total de nueve conferencias. Otro ciclo de conferencias en el Colegio de Miraflores del Palo (Málaga), sobre *Los problemas de la Astronomía moderna*. Este año sabemos que su salud estaba mermada pero tiene que llevar casi solo los trabajos del Observatorio y sus clases en el Colegio Máximo. Se plantea en la Compañía que tuviera un ayudante para que incluso le sustituyera en el Observatorio.

En 1947 asistió al Congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, celebrado en San Sebastián en el mes de abril, donde presentó dos trabajos. En la Universidad de Granada impartió una conferencia el 1 de Mayo sobre *El estudio de los microsismos y sus aplicaciones prácticas*, en la sección de la Real Sociedad Española de Física y Química. En la de Historia Natural aportó dos comunicaciones en las sesiones del 14 de junio y 23 de octubre.

El 18 de Diciembre de 1948 el propio P. Due nos informa que había asistido en Madrid a la Reunión de la Real Sociedad Española de Física y Química. También pronunció una conferencia en la Universidad de Granada en la Sección Provincial de la Real Sociedad Española de Historia Natural, que trataba sobre *El estado actual de la Astronomía y la Geofísica en los Estados Unidos*. Además dictó otras 5 conferencias sobre temas científicos de vulgarización en la Facultad de Teología y en el Seminario Mayor de Granada.

Entre sus actividades destaca el viaje realizado en este año a los Estados Unidos, para asistir a los Congresos de Geofísica de Washington y Cleveland. A finales del año se termina de instalar el geotermógrafo para tres profundidades: 25, 50 y 100 cms.

Lo más interesante de esta anualidad fue el viaje científico a los Estados Unidos desde Abril a Noviembre. El viaje se realizó a propuesta del Patronato "Alfonso el Sabio" del C.S.I.C. con la concesión de una ayuda por parte de la Junta de Relaciones Culturales del Ministerio de Asuntos Exteriores. El fin del viaje era recoger información práctica sobre métodos y medios de investigación en Astronomía y Geofísica, recorriendo observatorios, instituciones científicas, fábricas de aparatos, etc., estrechando relaciones e intercambios. Nos dice el P. Due que antes de emprender el viaje hizo gestiones y en todos los lugares fue bien acogido, fue admitido como miembro de la American Geophysical Union de la Sociedad Sismológica Americana y como "Visiting research fellow" del Instituto Tecnológico de California. Visita los observatorios de Monte Wilson y Monte Palomar, tomó interesantes notas en los observatorios y en bibliotecas, y

se consiguieron muchos intercambios y donaciones de libros.

La mayor parte del tiempo, seis meses, estuvo en la Universidad de Georgetown, en Washington. Aprovechó los días en las bibliotecas, oficinas, talleres, etc., pues estuvo en el Observatorio Naval, Aeropuerto del Weather Bureau, Observatorio Astrofísico de la Smithsonian Institution, Oficinas de la United States Coast and Geodesic Survey, las del Geological Survey y la Carnegie Institution, Biblioteca del Congreso, sobre todo en el Pabellón Jefferson, donde se encuentran las publicaciones de los diez últimos años. En la U.S.C.G.S. recibió el encargo de negociar con España la emisión de telegramas cifrados para determinar los epicentros sísmicos en la Oficina Central de Washington.

A finales de Abril asistió al XXIX Congreso de la American Geophysical Union, donde conoció a eminentes hombres de ciencia, lo que le facilitó el resto del viaje. Estuvo en Boston casi un mes, obtuvo importantes datos en Harvard y en su Observatorio, en el Instituto de Tecnología de Massachussets, Observatorio Geofísico de Weston. También visitó Cambrigde. En Cleveland asistió a la Reunión Anual de la Seismological Society of America. En Saint Louis, Missouri, estuvo en el Instituto de Tecnología Geofísica, en los talleres de construcción de sismógrafos Sprengnether y en la estación de Florissant. Visitó Los Ángeles.

Otro mes estuvo en el Laboratorio Sismológico de Pasadena, California, con su Director, Dr. Beno Gutenberg, cuyo trabajo lo ha llevado a ser el observatorio más completo del mundo. Visitó la fábrica VEMCO donde se construye el modelo de sismógrafo Benioff, le acompañó

en la visita el propio Dr. Benioff. Desde allí fue a los Observatorios de Monte Wilson y Monte Palomar, muy interesante para los fines prácticos del viaje, pero las gigantescas instalaciones no tenían aplicación posible en España.

Estuvo 15 días en San Francisco donde visitó el Pabellón Astrofísico de la Universidad de California y la Biblioteca de la Universidad de San Francisco. Unos días en Chicago donde estuvo en la John Crerar Library en su sección de Ciencias. De allí se trasladó a Nueva York, a la Universidad de Fordham, donde estuvo con el Dr. Víctor Hess, descubridor de los rayos cósmicos. Por último, otras dos semanas en Baltimore, en la sección de Ciencias de la Biblioteca Enoch Pratt y una visita a la fábrica de aparatos de Meteorología The Instrument Corporation.

Durante 1949 se construyó un gran péndulo bifilar, modelo Cartuja, de 4.500 kgs. de masa, aprovechando parte del material del antiguo Berchmans invertido. En la Universidad, sección provincial de la Real Sociedad Española de Historia Natural, presentó un trabajo el 24 de abril sobre los movimientos sísmicos de 1947, varias notas y comunicaciones y en especial participó en la Semana Pedagógica celebrada en la Escuela Normal de Maestros de Granada con el tema: *Astronomía y Geofísica modernas*, el 16 de mayo.

En 1950 asistió a la Reunión bianual de la Real Sociedad Española de Física y Química en Zaragoza, dio una conferencia en el Facultad de Teología y, además, fue invitado por la Alta Comisaría de España en Marruecos para dar una conferencia en Tetuán sobre *La Física cósmica en la primera mitad del siglo XX*, ésta se dio en el Salón de Actos de la Biblioteca, sito en la actual Avenida

de Mohamed V, que actualmente se encuentra en restauración.

En 1952 se celebró el Cincuentenario del Observatorio y se prepararon varios trabajos. Dictó varias conferencias en la Facultad de Teología, participó en el Congreso de la Sociedad Sismológica Americana, celebrado en Ottawa (Canadá), en el Congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, celebrado en Málaga. Invitado por el C.S.I.C., actuó como delegado de España a la Semana de Estudios sobre el problema de los microsismos, celebrada en Roma, en la Ciudad del Vaticano, del 19 al 26 de Noviembre. En la Universidad de Granada da una conferencia sobre *Los estados físicos en el interior de la Tierra*". También, y en representación del C.S.I.C., participó en el I Congreso Internacional de la Comisión Sismológica Europea, bajo los auspicios de la Asociación Internacional de Sismología y Física del Interior de la Tierra y de la UNESCO, en Stuttgart⁶, del 22 al 27 de Septiembre.

⁶ En los locales de la Technische Hochschule. Se presentaron y discutieron las comunicaciones de los representantes de 14 países europeos. De España se presentaron: *La sismicidad de la Península Ibérica*, por J. Bonelli (Madrid) y *La sismicidad del Sudeste de España*, por A. Due (Granada). La mayor parte de los trabajos se refirieron al estudio de la sismicidad en Europa. El acuerdo básico de la Asamblea fue *recomendar a cada uno de los países la confección de catálogos y mapas sísmicos donde figuren los epicentros (especificando la precisión con que se han determinado sus coordenadas geográficas), profundidad focal, intensidad máxima, radio macrosísmico y correspondencia entre los datos macrosísmicos y las magnitudes.*

El criterio con el que se debían disponer los datos sísmicos, especialmente en los mapas, fue muy discutido; de tal manera que hubo la propuesta de hacer dos distintos, o al menos indicar en uno

En 1953 dictó dos conferencias en la Universidad de Granada y un curso sobre Cuestiones Científicas en la Facultad de Filosofía de la Compañía de Jesús. Además estuvo en el Congreso de la Asociación para el Progreso de las Ciencias celebrado en Oviedo.

En 1954 impartió varios cursos de cuestiones científicas relacionadas con la Filosofía en la Facultad Filosófica de la Compañía de Jesús en Madrid. Durante 1952 a 1954 visitaron el Observatorio los Prof. M. Joucey, Spring, Mobile, Alabama, de U.S.A., Dr. Dean S. Carder, de la U. S. Coast and Geology Survey, de Washington, D.C., de U.S.A., Prof. Gervais Doumeige, de la Faculté Coll. Engien, de Bélgica, y F. Baldet, Astron Titulaire de l'Observatoire Paris-Meudon.

En 1955 entre los trabajos especiales sabemos que impartió Tres cursos de cuestiones científicas en la Facultad de Filosofía de la Compañía de Jesús en Alcalá de Henares. Las que vuelve a repetir en 1956.

En 1958 asiste al Congreso de la Asociación para el Progreso de las Ciencias celebrado en Madrid en noviembre. Participó en las *Conversaciones de Pensamiento* de Alcalá de Henares en enero y en la misma Facultad de Filosofía explicó tres cursos sobre cuestiones científicas, de Octubre a Noviembre.

Durante 1959 en las conferencias y cursillos destacan *Evolución cósmica* en la Facultad de Teología en Granada el 15 de Febrero, otras dos conferencias en Ceuta,

mismo dos clases de intensidad de los terremotos: la que se manifiesta por los daños producidos -cuyo interés se centra en la construcción [arquitectos, ingenieros]-, y la magnitud y frecuencia -de gran interés a los sismólogos-.

una en el Instituto de Segunda Enseñanza sobre *Visión actual del Universo*, la otra en el Centro Cultural Militar sobre *Satélites artificiales* el 15 de abril. Otra en la Sociedad Algecireña de Fomento, sobre *Perspectivas astronómicas*, Algeciras, 17 de abril.

En 1960 participa en el Congreso Internacional de la Asociación Luso-Española para el Progreso de las Ciencias celebrado en Sevilla del 23 al 26 de Noviembre. Dictó el Discurso inaugural del curso 1960-1961 de la Facultad Teológica de Granada con el tema *La evolución integral y el dogma de la Providencia*. En el Seminario Mayor de San Torcuato, de la Diócesis de Guadix, da una conferencia sobre *Los problemas físicos y filosóficos de la astronáutica*.

En 1961 dicta una conferencia en la Universidad de Granada sobre *Actitud del hombre ante la vida y muerte del Cosmos*. Asistió al Pleno de la División de Ciencias del C.S.I.C, en noviembre.

En 1962 participó en el Congreso de Ingeniería Sísmica, celebrado en Madrid del 5 al 7 de diciembre. Fue nombrado por el Excmo Sr. Ministro de Educación Nacional representante en la Comisión Interministerial para los temas sísmicos, participó en dos reuniones del Instituto Geográfico celebradas el 5 de noviembre y el 3 de diciembre. Recibió una visita de los representantes de la UNESCO y expuso ante ellos las condiciones de sismicidad de la región granadina.

El 20 de noviembre de 1964 justifica una subvención de 80.000 pts ante el Presidente de la División de Ciencias Matemáticas, Médicas y de la Naturaleza del C.S.I.C.. No contamos con otras informaciones de interés

hasta que en 1965 fue sustituido por motivos de salud y de edad por el subdirector P. Teodoro Vives Soteras, S. J.

Relaciones del Observatorio de Cartuja con otras entidades.

Desde los años en que dirigió el Observatorio el P. Manuel M^a Sánchez-Navarro Neuman hasta que se jubiló el P. Due Rojo hemos sacado la relación de las entidades científicas extranjeras con las que se mantiene intercambio y relación epistolar, amén de visitas de investigación. Con todas ellas mantuvo el P. Due una importante correspondencia, cuyo contenido nos hubiera aportado interesantes datos sobre su vida y obra. En sus escritos se enumeran las siguientes:

- 1.- Apia Observatory. Apia. Western Samoa. Oceanía.
- 2.- Service Météorologique Grec. Odos Tsopsig, 28. Athenes. Grecia.
- 3.- Institut Seismologique a Tasmaidan. Beograd. Yugoslavia.
- 4.- Observatoire National de Besancon (Dubs). Francia.
- 5.- Observatoire d'Arger. Bouzareah. Algerie. Marruecos Francés.
- 6.- University of Queensland Seismological Station. St. Lucía. Prísbane. Australia.
- 7.- Museo Argentino de Ciencias Naturales e Instituto Nacional de Investigación de Ciencias Naturales. Avda Angel Gallardo, 470. Buenos Aires. Argentina.
- 8.- Harvard College Observatory. Harvard University, Cambridge, U.S.A. (Mass.).
- 9.- Osservatorio Astronomico. Capodimonte. Napoli. Italia.
- 10.- Specola Vaticana. Castel Gandolfo. Roma. Italia.

- 11.- Magnetic Observatory. Christchurch. Nueva Zelanda.
- 12.- Observatorio Astronomico da Universidade. Coimbra. Portugal.
- 13.- Instituto Geofisico da Universidade. Coimbra. Portugal.
- 14.- Observatorio Astronómico de Córdoba. Argentina.
- 15.- Royal Magnetical Meteorological Observatory. Djakarta. Indonesia.
- 16.- Meteorological Service. 44, Upper O'Connell Street. Dublín. Irlanda.
- 17.- Osservatorio Ximeniano. Firenze. Italia.
- 18.- Fraunhofer Institut. (17 b) Freiburg i. Br. Schauinsland. Alemania.
- 19.- Deutsche Hydrographische Institut. (24 a). Hamburg, 11. Seewartenstrasse, 9. Alemania.
- 20.- Royal Greenwich Observatory. Herstmonceux Castle. Hailsham, Sussex. Inglaterra.
- 21.- Observatoire de Kandilli. Cengelkoy-Istanbul. Turquía.
- 22.- Kew Observatory. Richmond, Surrey. Inglaterra.
- 23.- Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional. La Plata. Argentina.
- 24.- Museu e Laboratorio Mineralogico e Geologico da Universidade. R. da Escola Politécnica. Lisboa. Portugal.
- 25.- Servicio Meteorologico Nacional. Largo de Santa Isabel. Lisboa. Portugal.
- 26.- Instituto Geofísico do Infante D. Luis. R. da Escola Politécnica. Lisboa. Portugal.
- 27.- Meteorological Office. Air Ministry. London. Inglaterra.
- 28.- Royal Astronomical Society. Burlington Arcade. London. Inglaterra.

- 29.- University of California at Los Angeles. California, U.S.A. 405, Hilgard Ave. L. A. 24.
- 30.- Observatoire Cantonal de Neuchatel. Suiza.
- 31.- Dominion Observatory. Ottawa. Canadá.
- 32.- Observatoire de Paris. Francia.
- 33.- Bureau International de l'Heure. 61, Av. de l'Observatoire. Paris (XIV). Francia.
- 34.- California Institute of Technology. Pasadena. California, U.S.A.
- 35.- Observatorio Astronomico di Monte Mario. Roma. Italia.
- 36.- Observatorio de Física Cósmica. San Miguel. F.C.P. Argentina.
- 37.- Institute of Technology. 3621 Olive Street. St. Louis 8. Missouri, U.S.A.
- 38.- Rikets Allmanna Kartverk. Stockholm 8. Suecia.
- 39.- Observatorium. Stockholm. Suecia.
- 40.- Institut de Physique du Globe. 38, Boulevard d'Anvers. Strasbourg. Francia.
- 41.- Observatoire de Tananarive. Madagascar.
- 42.- Tokio Astronomical Observatory. University of Tokio. Mitaka. Tokio. Japón.
- 43.- Japan Academy. Ueno Park. Tokio. Japón.
- 44.- Observatoire de Toulouse. Francia.
- 45.- Istituto Talassografico. Viale Romolo Gessi, 2. Trieste.
- 46.- Osservatorio Geofisico. Trieste (116).
- 47.- The Dunsink Observatory. Co. Dublin. Irlanda.
- 48.- Astronomical Observatory. University of Turku. Finlandia.
- 49.- Flower Observatory. Upper Darby, Penn. U.S.A. Philadelphia 4.

- 50.- Observatoire Météorologique de l'Université.
Uppsala. Suecia.
- 51.- Observatorio Meteorologico da Serra do Pilar. Vila
Nova de Gaia. Portugal.
- 52.- Instituto Geofísico da Universidade do Porto.
Portugal.
- 53.- Geological Survey. Department of the Interior.
Washington, D.C., U.S.A.
- 54.- Naval Observatory. Washington D.C., U.S.A.
- 55.- United States Coast and Geodetic Survey. Department
of Commerce. Washington D.C., U.S.A.
- 56.- Westher Bureau. Department of Commerce.
Washington D.C., U.S.A.
- 57.- Eidgenössische Sternwarte. Zürich. Suiza.
- 58.- Schweizerischer Erdbebendienst. Zürich. Suiza.
Gloriastrasse, 35.
- 59.- Ole Römer Observatory. Aarus. Dinamarca.
- 60.- American Association of Variable Stars Observers.
Harvard College. Cambridge, Mass., U.S.A.
- 61.- Observatoire de Geneve. Suiza.
- 62.- Servicio da Marinha. Goa. India Portuguesa.
- 63.- Lick Observatory. Mount Hamilton. California,
U.S.A.
- 64.- Poznam University Observatory. Poznam. Polonia.
- 65.- Perking Observatory. Ohio Wesleyan University.
Delaware. Ohio, U.S.A.
- 66.- University of Pittsburg. Penn., U.S.A.
- 67.- Observatorio Nacional de Tucubaya. Méjico.
- 68.- Wiener Sternwarte. Wien. Austria.
- 69.- Yale University Astronomical Observatory. New
Haven, 11- Conn., U.S.A.

- 70.- Instituto de Geofísica de la Universidad de México.
Puente de Alvarado, 71. México, 3, D.F.
- 71.- Observatorio Meteorológico Nacional de San
Salvador. El Salvador. San Salvador.
- 72.- Service Météorologique d'Ankara. Turquía.
- 73.- California University. Berkeley 4. California, U.S.A.
- 74.- Academie Royal des Pays Bas. De Bilt. Holanda.
- 75.- Institut Météorologique des Pays Bas. de Bilt.
Holanda.
- 76.- Service Séismologique et Gravimétrique de
l'Observatoire Royal. Uccle. Bruxelles. Bélgica.
- 77.- Dominion Observatory. Wellington. Nueva Zelanda.
- 78.- Central Meteorological Observatory. Tokio. Japón.
- 79.- Revista de Ciencias. Apartado 2974. Lima. Perú.
- 80.- Meteorologisches Amt für Nordwestdeutschland.
Postfach 50. Bad Kissingen. Alemania.
- 81.- Colegio de Ingenieros de Venezuela. Caracas.
Venezuela.
- 82.- Observatoire National de Geneve. Suiza.
- 83.- Deutscher Wetterdienst. Bernard Notht Strasse, 76.
Hamburgo. Alemania.
- 84.- Crakow Observatory. SW. Tomazsa, 30. Krakow.
Polonia.
- 85.- Osservatorio Astronomico de Brera-Merate. Via
Brera, 28. Milano. Italia.
- 86.- Det Norske Institutt for Kosmik Fisik. Bergen.
Noruega.
- 87.- Royal Academy of Sciences. University of Uppsala.
Suecia.
- 88.- Seismological Society of America, Eastern Section.
U.S.C.G.S., Department of Commerce. Washington D.C.,
U.S.A.

- 89.- Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. Hohe Warte, 38. Wien XIX, 117. Austria.
- 90.- Air Ministry. Headstone Drive. Harrow Middlesex. Inglaterra.
- 91.- Observatoire de Ksara. Par Zahlé. República del Líbano.
- 92.- Servicio Meteorologico da Marinha. Lisboa. Portugal.
- 93.- Munt Wilson and Palomar Observatories. 813, Santa Barbara Str. Pasadena 4. California, U.S.A.
- 94.- Institut Séismologique. Observatoire National. Athenes. Grecia.
- 95.- Geofisiske Institut. Universiteten i Bergen. Noruega.
- 96.- Det Magnetiske Byra. Universitatem i Bergen. Noruega.
- 97.- Observatoire astronomique de l'Université. Al Ujazfowkie, 4. Warzaswa. Polonia.
- 98.- Instituto Geofísico de los Andes Colombianos. Colegio de San Bartolomé., Apartado 270. Bogotá. Colombia.
- 99.- Geodetis Institut. Copenhagen. Dinamarca.
- 100.- Solar Physics Observatory. Cambridge University. Inglaterra.
- 101.- Observatorio Meteorologico Cajigal. Caracas. Venezuela.
- 102.- Leander McCormick Observatory. University of Virginia. Charlottesville, Iirginia, U.S.A.
- 103.- Institut d'Astrophysique. Cointe Sclessin. Bélgica.
- 104.- Seismological Station. Rathfarnham Castle. Dublín. Irlanda.
- 105.- Georgetown University Seismological Station. Washington 7, D.C., U.S.A.

- 106.- Seisminen Sema Fysiikan Laites. Siltavuorenpenger, 20. Helsinki. Finlandia.
- 107.- Landessterwarte. Heidelberg Königsstuhl. Alemania.
- 108.- Astronomisches Recheninstitut. Seminarienhaus. Augustinerstr, 15, Apart. 191. Heidelberg (17 a). Alemania.
- 109.- Solar Physics Observatory. Kodaicanal. South. India.
- 110.- Observatorio de San Calixto. La Paz. Bolivia.
- 111.- Observatorio Astronomico da Tapada. Lisboa. Portugal.
- 112.- Astronomical Observatory. University of Michigan. Michigan, U.S.A.
- 113.- Osservatorio di Fisica Terrestre. Seminario di Milano. Italia.
- 114.- Sociedad Astronomica de México. Jardín Castilla. Colonia Alamos. México, D.F.
- 115.- Istituto Geofisico e Geodetico della Università de Messina. Messina. Italia.
- 116.- Institut Gebhard-Severine. 5 Fauburg de l'Hopital. Neuchatel. Suiza.
- 117.- Lamont Geological Observatory. Columbia University. Torrey Cliff. Palissades. N. Y., U.S.A.
- 118.- Seismological Laboratory. 22o North San Rafael Avenue. Pasadena 2, California, U.S.A.
- 119.- Institut für Geophysik in Prag. Checoslovaquia.
- 120.- Observatoire National. Bedecska, 6 IV p. Praha. Checoslovaquia.
- 121.- Facultad de Filos., Ciencias y Letras "Mancel de Nóbrega". Rua do Principe, 526. Recife Pernambuco. Brasil.
- 122.- Observatoire de Boucarest. Rumania.

- 123.- Riverwiew College Observatory. Riverwiew N. S. W. Australia.
- 124.- Municipalidad de Santafé. Argentina.
- 125.- Oficina Meteorologica de Chile. Casilla 717. Santiago. Chile.
- 126.- Asociación Astronomica argentina de Amigos de la Astronomia. Patricias Argentinas, 550. Parque Centenario. Buenos Aires. Argentina.
- 127.- Institut de Physique du Globe et Méteorologie Cherifien. Rue de Foucault, 2. Casablanca. Marruecos Francés.
- 128.- Royal Swed. Academy of Sciences. Stockholm 50. Suecia.
- 129.- Commitee on experimental Geology and Geophysics. Geological Museum. Cambridge, 38. Mass. U.S.A.
- 130.- Soumalien Tiedeakademia. Snellmanink, 9-11. Helsinki. Finlandia.
- 131.- Turun Yliopiston Tähtotorni. Turku, Suomi. Ylipisto. Finlandia.
- 132.- Institut fur Meteorologie und Geophysik der Universitat. Innsbruck. Austria.
- 133.- Europa Publications Ltd. 53, Bloomsbury Str. London W.C. 1. Inglaterra.
- 134.- Science Museum. South Kensington. London S. W. 7. Inglaterra.
- 135.- Endeavour (Revista de Ciencias). Imperial Chemical Industries. Novel Hose. Buckingham Gate. London S. W. Inglaterra.
- 136.- Junta Nacional de Meteorologia. Casilla 64. Montevideo. Uruguay.

- 137.- David Dunlap Observatory. Richmond Hill. Ontario. Canadá.
- 138.- Istituto Nazionale di Geofisica. Citá Univesitaria. Roma. Italia.
- 139.- Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut. Stockholm, 12. Suecia.
- 140.- Royal Astronomical Society of Canada. 3, Willcocksstreet.
- 141.- Meteorologiska Institutionem vid Kongl Universitat. Uppsala. Suecia.
- 142.- Hispanic Exchange Project and Cift Division. Library Congress. Washington 25, D.C., U.S.A.
- 143.- Universitatssternwarte. Türkenschanzstrasse, 17. Wien XVIII. Austria.
- 144.- Württemberg. Erdbebendienst. Richard Wagner Strasse, 15. Stuttgart, O. Alemania.
- 145.- Instituto de Geologia. Universidad Nacional de México. México, D.F.
- 146.- Universidad de Santo Domingo. Ciudad Trujillo. República Dominicana.
- 147.- International Astronomical Union. Eidgenosischer Sternwarte. Zürich. Suiza.
- 148.- Astronomical Society of Japan. Tokio Astronomical Observatory. Tokio. Japón.
- 149.- Institut Météorologique Central. Rue Dragan Tzankoff, 4. Sofía. Bulgaria.
- 150.- Centre National de la Recherche Scientifique. 18, Rue Pierre Curie. Paris V. Francia.
- 151.- Norke Videnscapen Akademy i Oslo. Noruega.
- 152.- Institut d'Astronomie, Geodesie et Physique du Globe. Université de Liege. Belgica.

- 153.- University of Pennsylvania. Philadelphia. Penn., U.S.A.
154.- Meteorologiske Institutionen. Uppsala. Suecia.
155.- American Geophysical Union. 1530 P Str. NW. Washington 5, D.C., U.S.A.

Actividad científica del R.P. Antonio Due Rojo S. J.

1.- Libros:

- Dios y la Ciencia*, conferencias dogmático-científicas pronunciadas en el Centro de Cultura Religiosa Superior de Granada. Escelicer. Cádiz. 1941. 232 págs.
El poder de Dios y la ciencia. Escelicer, S.L. Cádiz. 1942. 224 págs.
Dios y la Ciencia. Conferencias dogmático-científicas. Escelicer, S.L. Cádiz. 1942-2ª ed.
El hombre ante Dios y la Ciencia. Escelicer, S.L. Cádiz. 1944.
La Acción de Dios y la Ciencia. Escelicer, S.L. Cádiz. 1945.
El Mundo de los Mares. Editorial Razón y Fe. Madrid. 1962. 190 págs.
Deus a luz da ciencia. Edições Asa. Oporto. 1962. 174 págs.

2.-Artículos:

- 1931
"Datos sísmicos trimestrales de España". *Ibérica*. Suplemento 1931. 1931.
1939

“Las oscilaciones barométricas de corto período”. *Boletín mensual del Observatorio de Cartuja*. Enero-Marzo 1939. 1939.

“Un gran sismólogo español”. *Boletín mensual del Observatorio de Cartuja*. Abril-Junio 1939. 1939.

“El hormanemógrafo HURTADO”. *Boletín mensual del Observatorio de Cartuja*. Julio-Septiembre 1939. 1939.

1940

"La labor científica del P. M. M. Sánchez Navarro, S.I.". *Boletín mensual del Observatorio de Cartuja*. Enero-Septiembre 1940.

1942

“Una forma poco frecuente de halo solar”. *Revista de Geofísica*. Año I, Nº 3. 1942. 276-277 / Vol. I.

“Observaciones climatológicas y terremotos registrados en un radio de 100 Kms de Granada”. *Anuario Estadístico de Granada*. 1942.

“El observatorio de Cartuja”. *Guía de Granada*. 1942.

"Contribución al estudio del clima de Granada". *Estudios Geográficos*. Septiembre 1942. 1942. 143-152.

"El tercer centenario de la muerte de Galileo". *Razón y Fe. Revista hispanoamericana de cultura*. 1942. 284-287 / T. 122.

"Crónica de la Segunda Reunión de Estudios Geográficos en Granada". *Razón y Fe. Revista hispanoamericana de cultura*. Diciembre 1942. 1942. 520-522.

"La sismología, ciencia práctica moderna". *Euclides, revista matemática*. Nº 19. 1942. 294-296 / T. II.

"El clima de Granada". *Estudios Geográficos*. 1942.

1943

"Una solución práctica al problema del registro galvanométrico". *Anales de Física y Química*. 1943. 5-9 / T. XXXIX.

"El tercer centenario del nacimiento de Isaac Newton". *Razón y Fe. Revista hispanoamericana de cultura*. Enero 1943. 1943. 66-73.

"Los jesuitas españoles y las ciencias astronómicas y geofísicas". *Euclides, revista matemática*. Nº 23. 1943. 74-77 / T.III.

1944

"Un curioso documento meteorológico del siglo XIX". *Revista de Geofísica*. Nº 8. 1944. 422-427 / Vol. II.

"Tempestades microsísmicas registradas en Granada del 10-17 de febrero de 1944". *Revista de Geofísica*. Nº 10. 1944. 300-303 / Vol. III.

"Ondas barométricas anormales de período corto". *Revista de Geofísica*. Nº 11. 1944. 455-465 / Vol. III.

"Movimientos sísmicos en España durante el año 1942". *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*. 1944. 425-431 / T. XLII.

"Los terremotos: su predicción". *Letras*. Nº 80. 1944. 30-33 / Vol. VIII.

"El clima de la provincia de Granada". *Anuario Estadístico de Granada*. 1944.

“El cielo desde Granada o una noche en el Observatorio de Cartuja”. *E.S.O.* Número extraordinario. 1944.
"Influjo real y ficticio de la luna en la dinámica atmosférica". *Arbor*. Nº 3. 1944. 439-447 / T.I.
"En el cuarto centenario de la muerte de Nicolás Copérnico". *Euclides, revista matemática*. Nº 35. 1944. 51-54 / T.IV.

1945

“Los elementos en la muerte y resurrección de Jesucristo”. *E.S.O.* Número extraordinario. 1945.
"Movimientos sísmicos en España durante el año 1943". *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*. 1945. 631-638 / T. XLII.
"Las teorías sismogénicas en España en los últimos siglos". *Las Ciencias: Asociación Española Progreso de las Ciencias*. Año X, Nº 2. 1945. 283-294 / Vol. X.
"Métodos de investigación científica". *Euclides, revista matemática*. Nº 53-54. 1945. 386-389 / Vol. V.
"La agitación microsísmica de período medio en Granada". *Revista de Geofísica*. 1945. 87-98 / Vol. IV.
"La teoría de emigración de epicentros". *Revista de Geofísica*. 1945. 473-479 / Vol. IV.
"Actividad del Observatorio de Cartuja en 1944". *Revista de Geofísica*. 1945. 136-138 / Vol. IV.
"La IV Reunión de la Real Sociedad Española de Física y Química en San Sebastián". *Revista de Geofísica*. 1945. 550-554 / Vol. IV.
"El registro instrumental de los cambios de régimen atmosférico". *Anales de Física y Química*. Nº 399. 1945. 901-909 / Vol. XLI.

"Movimientos sísmicos en España durante el año 1943". *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*. 1945. 631-638 / T. XLII.

"Las teorías sismogénicas en España en los últimos siglos". *Las Ciencias: Asociación Española Progreso de las Ciencias*. Año X, Nº 2. 1945. 283-294 / Vol. X.

"Métodos de investigación científica". *Euclides, revista matemática*. Nº 53-54. 1945. 386-389 / Vol. V.

"La agitación microsísmica de período medio en Granada". *Revista de Geofísica*. 1945. 87-98 / Vol. IV.

"La teoría de emigración de epicentros". *Revista de Geofísica*. 1945. 473-479 / Vol. IV.

"Actividad del Observatorio de Cartuja en 1944". *Revista de Geofísica*. 1945. 136-138 / Vol. IV.

"La IV Reunión de la Real Sociedad Española de Física y Química en San Sebastián". *Revista de Geofísica*. 1945. 550-554 / Vol. IV.

"El registro instrumental de los cambios de régimen atmosférico". *Anales de Física y Química*. Nº 399. 1945. 901-909 / Vol. XLI. 1946

"Olas y tempestades de la Corteza terrestre". *Boletín de la Universidad de Granada*. 1946 / Nº 81. 1946. 6 págs.

"Anomalías climatológicas del año 1945". *Revista de Geofísica*. 1946

"La agitación microsísmica del suelo durante el otoño e invierno de 1945-46". *Revista de Geofísica*. 1946

"En el cuarto centenario de Tycho-Brahe". *Euclides, revista de matemáticas*. Enero de 1946

"Las leyes atmosféricas y el pronóstico científico y vulgar del tiempo". *Arbor*. 1946. Tomo IV, págs. 283-295

"Movimientos sísmicos en España durante el año 1945".
Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. 1946. Tomo XLIII, págs. 539-547.

1948

"La prospección magnética por avión en EE.UU.". *Revista de Geofísica*. Nº 26. 1948.

"La XX Reunión anual de la Sociedad Sismológica Americana en Cleveland". *Revista de Geofísica*. Nº 27. 1948.

"La inauguración del telescopio de Hale en Monte Palomar". *Euclides, revista matemática*. 1948. Vol. VIII.

"El Weather Bureau de los Estados Unidos". *Razón y Fe. Revista hispanoamericana de cultura*. 1948. 601-608 / T. 137.

"La componente vertical descendente del viento en Granada". *Anales de Física y Química. Serie A, Física / Nº 5-6*. 1948. 377-379.

"El Congreso XXIX de la Unión Geofísica Americana. Abril de 1948". *Urania. Revista de Astronomía y Ciencias afines*. Nº 218. 1948.

"Análisis de algunas anomalías meteorológicas registradas en España". *Las Ciencias: Asociación Española Progreso de las Ciencias*. Año XIII. 1948.

1949

"Actualidades geofísicas en los Estados Unidos". *Revista de Geofísica*. 1949

"Resultados de las investigaciones sobre la alta atmósfera". *Revista de Geofísica*. 1949

"The blister hypothesis". *Revista de Geofísica, Reseña bibliográfica*. 1949.

"El nuevo sismógrafo de la Estación sismológica de Cartuja". *Revista de Geofísica*. 1949.

"Movimientos sísmicos en España durante el año 1946". *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*. 1949.

"Los nuevos aparatos registradores del Observatorio de Cartuja". *Anales de Física y Química*. 1949.

"La Astronomía y Geofísica en los Estados Unidos". *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural, Revista Las Ciencias*. 1949.

"Actualidades Astronómicas". *Razón y Fe. Revista hispanoamericana de cultura*. 1949

"Microturbonadas". *Urania. Revista de Astronomía y ciencias afines*. 1949.

"Alusiones bíblicas a la astronomía y geofísica". *Euclides. Revista matemática*. 1949.

"La Estación sismológica del Observatorio de Cartuja". *Euclides. Revista matemática*. 1949.

"Las libraciones lunares". *Euclides. Revista matemática*. 1949. (Traducido del inglés)

"Nota sobre heliofísica y sus orígenes". *Euclides. Revista matemática*. 1949.

— y GIMENO RIUTORT, Antonio S.J. "Movimientos sísmicos en España durante el año 1947". *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*. 1949.

1950

"La humedad atmosférica en el Observatorio de Cartuja". *Revista de Geofísica. Serie B, Año V, Nº 30*. 1950. 11 págs.

"Novedades sobre astronomía y geofísica en los EE.UU." *Boletín de la Universidad de Granada. Cuadernos de Geología, II*, págs. 61-65.

"Notas astronómicas". *Razón y Fe. Revista Hispanoamericana de cultura*, vol. 628, págs. 533-539.

"Ondas barométricas anormales en el cambio rápido de régimen atmosférico". *Revista de Geofísica*, Vol. IX. Págs. 73-78.

"Labor astronómica de aficionados". *Urania. Revista de Astronomía y Ciencias afines*, N° 220. Págs. 207-209.

"La aurora boreal de 20 de febrero de 1950". *Euclides. Revista matemática*, Vol. X, págs. 122-123.

"Estado actual de la astronomía y geofísica en los EE.UU." *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*. Vol. 46, págs. 359-368.

"Recensión bibliográfica". *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*. Vol. 47, págs. 708-709.

"Un ciclón en miniatura". *Euclides. Revista matemática*. Vol. X, págs. 259-260.

"El megasismo tibetano de 15 de agosto de 1950". *Euclides. Revista matemática*. Vol. X, págs. 343-344.

"El fundador de la Helifísica (P. Cristobal Scheiner, S.I.)". *Urania. Revista de Astronomía y Ciencias afines*, n° 223-224. Págs. 1-19.

— y GIMENO RIUTORT, Antonio S.J. "Rutas sísmicas superficiales". *Urania. Revista de Astrofísica y Ciencias afines*. N° 221-222. Págs. 89-94.

— y GIMENO RIUTORT, Antonio S.J. "Movimientos sísmicos en España durante el año 1947". *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*. Vol. 47, págs. 485-493. 1951

"La temperatura del subsuelo en el Observatorio de Cartuja". *Urania. Revista de Astronomía y Ciencias afines*. Año XXXVI, N° 225. 1951. 49-58.

“La oscilación térmica en Granada”. *Urania. Revista de Astronomía y Ciencias afines*. 1951, Nº 228. 206-215.

“Ondas barométricas anormales en un cambio rápido de régimen atmosférico”. *Revista de Geofísica*. Nº 33. 1951. 73-78 / vol. IX.

“Notas astronómicas”. *Razón y Fe. Revista hispanoamericana de cultura*. Nº 628. 1951. 533-539.

“La aurora boreal de 20 de Febrero de 1950”. *Euclides, revista matemática*. 1951. 122-123 / Vol. X.

“Estado actual de la astronomía y geofísica en los Estados Unidos”. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*. 1951. 359-368 / vol. XLVI.

“El megasismo tibetano de 15 de Agosto de 1950”. *Euclides, revista matemática*. 1951. 343-344 / vol. X.

“Un ciclón en miniatura”. *Euclides, revista matemática*. 1951. 259-260 / vol. X.

“El régimen del viento en Granada (II)”. *Revista de Geofísica*. Año V, Nº 42. 1951. 6 págs.

— y GIMENO RUITORT, Antonio S.J. “El régimen de heladas en el Observatorio de Cartuja (Granada)”. *Revista de Geofísica*. Serie B, Año V, Nº 30. 1951. 14 págs.

“Las fuentes de energía del porvenir”. *Razón y Fe. Revista hispanoamericana de cultura*. Vol. 143, nº 637, págs. 172-182.

“Boletín de sismología”. *Razón y Fe. Revista Hispanoamericana de cultura*, nº 640, págs. 512-517.

“Movimientos sísmicos en España durante el año 1948”. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*. Vol. 48, págs. 83-90.

“Nota sobre la alteración universal de los climas”. *Euclides, revista matemática*. Vol. 11, nº 121, págs. 124.

"La humedad atmosférica en el Observatorio de Cartuja".
Revista de Geofísica. Año X, nº 38, págs. 131-138.

"Seismology in Spain". *Earthquake Notes*. Vol. 22, nº 3.
Págs. 15-16.

"La Cosmogonía moderna y la Encíclica *Humani Generis*".
Discurso de apertura del curso en la Facultad de Teología de la Compañía de Jesús en Granada. 24 págs.

1952

"La precipitación atmosférica en el Observatorio de Cartuja (1902-1951)".
Urania. Revista de Astronomía y Ciencias afines. Año XXXVII, Nº 229. 1952. 31-42.

"El período sísmico de la provincia de Jaén (Marzo a Agosto de 1951)". 1952. 5 págs.

1953

"Años de sequía". *Revista de Geofísica*. Nº 47. 1953. 229-233 / Vol. XII.

"Años de sequía". *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E. Serie B*, Año VII, Nº 62. 1953. 5 págs.

"Nuevos recursos de la geología moderna". *Boletín Real Sociedad Española de Historia Natural*. 1953. 249-257 / Vol. extra.

"Movimientos sísmicos en España durante el año 1951".
Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. 1953. 59-71 / Vol. LI.

"Movimientos sísmicos en España durante el año 1952".
Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. 1953. 73-84 / Vol. LI.

“Origen de los rayos cósmicos”. *Urania. Revista de Astronomía y Ciencias afines*. Nº 235. 1953. 225-229 / Vol. 38.

1954

“Notas paleontológicas”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E. Serie B, Año XIX, Nº 156*. 1954. 249-274 / nº 75.

“Nota sobre la técnica del Carbono 14”. *Euclides, revista matemática*. Nº 165-166. 1954. 393-395 / Vol. XIV.

“Efemérides climatológicas de lluvia y temperaturas extremas en Granada”. *Urania. Revista de Astronomía y Ciencias afines*. Serie B, Año IX, Nº 73. 1954. 214-219 / Vol. 39.

“Actualidades climatológicas”. *Razón y Fe. Revista hispanoamericana de cultura*. Nº 676. 1954. 473-482 / Vol. 149.

“El "Jet Stream" o río aéreo estratosférico”. *Revista de Geofísica*. Serie B, Año VIII, Nº 64. 1954. 117-122 / Vol. XIII.

“Sobre algunas recientes anomalías climatológicas”. *Urania. Revista de Astronomía y Ciencias afines*. Serie B, Año VIII, Nº 65. 1954. 129-133 / Vol. 39.

“Notas oceanográfico-geológicas”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E. Serie B, Año VIII, Nº 66*. 1954. 27-40 / Vol. 34.

“Notas Paleontológicas (II)”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E. Serie B, Año VIII, Nº 69*. 1954. 29-42 / Vol. 36.

“Crónica de Astronomía”. *Razón y Fe. Revista hispanoamericana de cultura*. Nº 673. 1954. 169-176 / Vol. 149.

“A propósito de los "cerebros" electrónicos”. *Euclides, revista matemática*. Nº 156. 1954. 72-73 / Vol. XIV.
“Las bombas A, B, C, H, L, N, Q”. *Euclides, revista matemática*. Junio-Julio 1954. 1954. 265-266 / Vol. XIV.
“Notas sísmicas de 1953”. *Revista de Geofísica*. Nº 50. 1954. 185-188 / Vol. XIII.
“Notas sobre habitabilidad planetaria”. *Urania. Revista de Astronomía y Ciencias afines*. Nº 238. 1954. 160-168 / vol. 39.
“Actividades del Observatorio de Cartuja en 1953”. *Urania. Revista de Astronomía y Ciencias afines*. Nº 234. 1954. 167-168 / Vol. 38.

1955

“Geología del suelo vegetal”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E. Serie B, Año IX, Nº 80*. 1955. 41-52 / Vol. 40.
“Movimientos sísmicos en España durante el año 1954”. *Revista de Geofísica*. Nº 55. 1955. 243-256 / vol. XIV.
“El régimen térmico estival en Granada”. *Boletín de la Real Sociedad Geográfica. Serie B, Nº 347*. 1955. 1-9.
“Vulcanología práctica”. *Razón y Fe. Revista hispanoamericana de cultura*. Nº 685. 1955. 189-194 / Vol. 151.
“Notas hidrogeológicas”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E. Serie B, Año VIII, Nº 70*. 1955. 5-22 / Vol. 37.
“Átomos pacíficos”. *Razón y Fe. Revista hispanoamericana de cultura*. Nº 687. 1955. 395-401 / Vol. 151.
“El problema de la contaminación del aire”. *Euclides, revista matemática*. Nº 168. 1955. 58-60 / Vol. 15.

L

“El problema del uranio”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E. Serie B, Año IX, N° 72.* 1955. 3-16 / Vol. 39.
 “Actualidad geofísica de las regiones polares”. *Urania. Revista de Astronomía y Ciencias afines. Serie B, Año IX, N° 76.* 1955. 7-16 / Vol. 40.
 “La Unión Geofísica Americana”. *Revista de Geofísica. Serie B, Año IX, N° 79.* 1955. 411-415 / Vol. XIV.
 “Crisis filosófica en las ciencias físico naturales”. *Pensamiento. N° 42.* 1955. 189-198 / Vol. XI.
 “Actualidades de Astronomía”. *Pensamiento. N° 42.* 1955. 443-451 / Vol. 152.
 “Contribución al estudio de los microsismos en España”. *Scripta Varia Pont. Acad. Sc. N° 14.* 1955. 333-336.
 “El pronóstico del tiempo a largo plazo”. *Revista de Geofísica. N° 53.* 1955. 51-59 / Vol. XIV.
 “Fenómeno luminoso de origen sísmico”. *Urania. Revista de Astronomía y Ciencias afines. N° 69.* 1955. 3-4.
 “Resultados radioastronómicos”. *American Scientiphic.* 1955. 47-48 / Vol. 6-7.
 “Datos sobre astronomía meteórica”. *Urania. Revista de Astronomía y Ciencias afines. N° 241.* 1955. 164-174 / Vol. XL.
 “El río aéreo estratosférico”. *American Scientiphic.* 1955. 106-108 / Vol. 9.
 “Vida y muerte de las estrellas”. *Euclides, revista matemática. N° 176.* 1955. 327-330 / Vol. XV.
 “Meteorología astronómica”. *American Scientiphic.* 1955. 62-63 / Vol. 8.

1956

“Noticiero astronómico-geofísico”. *Urania. Revista de Astronomía y Ciencias afines*. Serie A, Año X, Nº 36. 1956. 10 págs.

“Algunos problemas prácticos en los satélites artificiales”. *Revista de Geofísica*. Serie B, Año XI, Nº 91. 1956. 449-457.

“La Geofísica aristotélica”. *Pensamiento*. 1956. Nº 47. 1956. 313-318 / Vol. XII.

“Geología submarina”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E.* Serie B, Año X, Nº 83. 1956. 47-66.

“Notas Glaciológicas”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E.* Serie B, Año X, Nº 87. 1956. 11-29 / Vol. 43.

“Notas metalográficas (I)”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E.* Serie B, Año X, Nº 88. 1956. 119-139 / Vol. 44.

“Algunos problemas prácticos en los satélites artificiales”. *Revista de Geofísica*. Nº 60. 1956. 449-457 / Vol. XV.

“Cronometría Radiactiva”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E.* Serie B, Año X, Nº 86. 1956. 3-24 / Vol. 42.

“Períodos secos y húmedos en Granada”. *Congreso A.P.P.C.* 1956. 1-10.

“Noticiero astronómico-geofísico”. *Urania. Revista de Astronomía y Ciencias afines*. Año X, Nº 244. 1956. 257-266 / Vol. XLI.

“El período sísmico de Granada (Abril-Mayo 1956)”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E.* Serie B, Año X, Nº 84. 1956. 159-170 / Vol. 42.

“El automatismo en Meteorología”. *Revista de Geofísica*. Serie B, Año X, Nº 81. 1956. 65-78 / Vol. XV.

“Peligros del átomo pacífico”. *Razón y Fe. Revista hispanoamericana de cultura*. N ° 699. 1956. 569-580 / Vol. 153.

“Movimientos sísmicos en España durante el año 1953”. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*. 1956. 151-158 / Vol. LIV.

“Movimientos sísmicos en España durante el año 1954”. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*. 1956. 159-166 / Vol. LIV.

“Notas sísmicas de 1955”. *Revista de Geofísica*. N° 58. 1956. 189-194 / Vol. XV.

“La Ratio studiorum y las ciencias exactas y físico-naturales”. *A.V.* N° 39. 1956. 62-65.

“La contaminación de las aguas corrientes”. *Ibérica*. N° 316. 1956. 327-ss / Vol. 22.

“La carrera del uranio”. *Ibérica*. N° 319. 1956. 447-ss / Vol. 22.

“El problema del mineral pobre de uranio”. *Ibérica*. N° 320. 1956. 9-ss / Vol. 23.

1957

“Nota estadística sobre el régimen de tormentas en Granada”. *Urania. Revista de Astronomía y Ciencias afines*. Serie B, Año XII, N° 245. 1957. 90-94 / Vol. 42.

“Las especies eucarísticas y las teorías físicas modernas”. *Estudios del IV Congreso Eucarístico Nacional*. 1957. 459-466.

“Geología Submarina II”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E.* Serie B, Año XI, N° 95. 1957. 212-237.

“Notas metalográficas (II)”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E.* Serie B, Año X, N° 89. 1957. 65-86 / Vol. 45.

“Notas vulcanológicas”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E. Serie B, Año XII, N° 99. 1957. 227-250 / Vol. 48.*

“Nota sobre algunas anomalías térmicas en Granada”. *Revista de Geofísica. Serie B, Año XII, N° 100. 1957. 193-199 / Vol. XVI.*

“Escatología natural”. *Razón y Fe. Revista hispanoamericana de cultura. N° 720. 1957. 47-58 / Vol. 157.*

“El año Geofísico Internacional”. *Razón y Fe. Revista hispanoamericana de cultura. Abril 1957, N° 711. 1957. 373-380 / Vol. 155.*

“Notas paleontológicas (III)”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E. Serie B, Año XI, N° 92. 1957. 103-128 / Vol. 47.*

“Influencia del arbolado en la lluvia”. *Ibérica. N° 340. 1957. 352-ss / Vol. 24.*

“Átomos en el espacio”. *Euclides, revista matemática. N° 199-200. 1957. 222-226 / Vol. XVII.*

“Nota sobre astronomía cometaria”. *Euclides, revista matemática. N° 197-198. 1957. 165-168 / Vol. XVII.*

“Estado actual de la nucleónica”. *Razón y Fe. Revista hispanoamericana de cultura. N° 716-717. 1957. 183-194 / Vol. 156.*

“Notas sísmicas de 1956”. *Revista de Geofísica. N° 61. 1957. 77-83 / Vol. XVI.*

“Responsabilidad cósmica”. *Euclides, revista matemática. N° 191-192. 1957. 1-3 / Vol. XVII.*

“Las especies eucarísticas y las teorías físicas modernas”. *Pensamiento. N° 51. 1957. 347-352 / Vol. 13.*

“Geología submarina (II)”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E. 1957. 212-237 / Vol. 16.*

1958

“Descubrimientos paleontológicos”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E. Serie B, Año XII, N° 113.* 1958. 157-182 / 52.

“La presión atmosférica en Granada”. *Las Ciencias: Asociación Española para el Progreso de las Ciencias. Serie B, Año XIV, N° 112.* 1958. 4 págs. / 3 / XXV.

“En el cincuentenario de la estación sismológica de Cartuja (1908-1957)”. *Revista de Geofísica. Serie B, Año XII, N° 65.* 1958. 83-88 / Vol. XVII.

“Los océanos, campo de investigación en el Año Geofísico Internacional (AGI)”. *Euclides, revista matemática.* marzo-abril 1958, N° 206-207. 1958. 61-65 / Vol. XVIII.

“Cosmologías novísimas”. 1958. 9 págs.

“Notas sobre prospección minera”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E. Serie B, Año XII, N° 102.* 1958. 93-124 / Vol. 49.

“El factor geológico en la evolución cultural”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E. Serie B, Año XII, N° 109.* 1958. 165-188 / n° 51.

“El problema de los tornados”. *Urania. Revista de Astronomía y Ciencias afines. Serie B, Año XII, N° 246.* 1958. 225-236 / Vol. 42.

“Halos y Coronas en el cielo de Granada”. *Las Ciencias: Asociación Española Progreso de las Ciencias. Año XXIII, N° 2.* 1958. 189-194.

“Descubrimientos Paleontológicos”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E. Serie B, Año XII, N° 113.* 1958. 157-182 / Vol. 52.

“Cosmologías y cosmogonías modernas”. *Pensamiento*.
Nº 56. 1958. 475-486 / Vol. XIV.

“El factor geológico en la evolución cultural”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E. Serie B*, Año XII, Nº 109. 1958. 163-187 / Vol. 51.

“Geología Antártica”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E. fasc. 1º*. 1958. 95-130 / Vol. 50.

“Soluciones científicas de problemas sociales”. *Fomento Social*. Año XIII, Nº 49. 1958. 39-52.

“Uso racional de las riquezas naturales”. *Fomento Social*. Año XIII, Nº 51. 1958. 267-278.

“Movimientos sísmicos en España durante el año 1955”. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*. 1958. 241-248 / Vol. LVI.

“Mundos nuevos”. *Espíritu. Cuadernos del Instituto Filosófico de Balmesiana*. Nº 26. 1958. 56-64 / Vol. VII.

“Actualidades físico-químicas”. *Razón y Fe. Revista hispanoamericana de cultura*. Nº 726-727. 1958. 83-94 / Vol. 158.

“Notas sísmicas de 1957”. *Revista de Geofísica*. Nº 66. 1958. 213-220 / Vol. XVII.

“El fuego prehistórico y la edad del Hombre”. *Ibérica*. Nº 375. 1958. 237-238.

“Hallazgos de campamentos prehistóricos”. *Ibérica*. Nº 376. 1958. 330-331.

“Reconstrucción de la agricultura neolítica”. *Ibérica*. Nº 377. 1958. 367-368.

“Relación entre volcanes y terremotos”. *Ibérica*. Nº 377. 1958. 392-394.

“El abominable hombre de las nieves”. *Ibérica*. Nº 378. 1958. 409-410.

“El observatorio del volcán Paracutín”. *Ibérica*. Nº 379. 1958. 467-468.

“Teorías vulcanogénicas”. *Ibérica*. Nº 387. 1958. 316-ss..

“Prospección geoquímica de yacimientos metalíferos”. *Ibérica*. Nº 388. 1958. 327-328.

“Movimientos sísmicos en España durante el año 1956”. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*. 1958. 487-494 / Vol. LVI.

“El humanismo científico, la teología y el espíritu ignaciano”. *Congreso Nacional Ignaciano*. 1958. 177-182.

1959

“El régimen del viento en Granada”. *Revista de Geofísica*. Serie B, Año XIII, Nº 116. 1959. 51-55 / Nº 69.

“Geología Antártica (II)”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E.* Serie B, Año XIII, Nº 114. 1959. 165-180 / Vol. 53.

“La última frontera geológica”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E.* Serie B, Año XIII, Nº 118. 1959. 177-198 / nº 55.

“Geología Ártica”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E.* Serie B, Año XIII, Nº 121. 1959. 109-130 / nº 56.

“Exploración de la exosfera”. *Revista de Geofísica*. Serie B, Año XIII, Nº 122. 1959. 431-438 / nº 72.

“¿Qué pasa en la Luna?”. *Razón y Fe. Revista hispanoamericana de cultura*. 1959. 11 págs.

“La sismología moderna, auxiliar de la geología”. *Estudios Geológicos*. 1959. 139-146 / Vol. XV.

“El XXIV Congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias”. *Revista de Geofísica*. Serie B, Año XIII, Nº 114. 1959. 7 págs. / Vol. XVII.

“Bodas de oro de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias”. *Razón y Fe. Revista hispanoamericana de cultura*. Nº 734. 1959. 271-276 / Vol. 159.

“La previsión del futuro”. *Espíritu. Cuadernos del Instituto Filosófico de Balmesiana*. Nº 30. 1959. 81-88 / Vol. VIII.

“Prospección microsísmica”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E.* 1959. 139-158.

“El régimen del viento en Granada (III)”. *Revista de Geofísica*. Nº 69. 1959. 51-55 / Vol. XVIII.

“Notas sísmicas de 1958”. *Revista de Geofísica*. Nº 70. 1959. 207-216.

“La última frontera geológica”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E.* 1959. 177-198 / Vol. 55.

1960

“Explosiones atómicas y terremotos”. *Razón y Fe. Revista hispanoamericana de cultura*. 1960. 6 págs.

“El pronóstico en Geología”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E. Serie B, Año XIV, Nº 123.* 1960. 277-298 / 57.

“Periodicidad climatológica en Granada”. *Revista de Geofísica. Serie B, Año XIV, Nº 124.* 1960. 55-60 / nº 73.

“Meteorología antártica”. *Revista de Geofísica. Serie B, Año XV, Nº 132.* 1960. 285-294 / nº 75.

“El problema del "Ambiente" en la datación radiactiva”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E. Serie B, Año XIV, Nº 125.* 1960. 211-230 / nº 58.

“Efemérides de temperaturas extremas en Granada”.
Urania. Revista de Astronomía y Ciencias afines. Serie B, Año XIV, N° 129. 1960. 3 págs / n° 251.

1961

“Geología nórdica”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E.* Serie B, Año XV, N° 135. 1961. 261-270 / n° 62.

“Notas sobre datación geológica”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E.* Serie B, Año XV, N° 137. 1961. 233-252 / n° 63.

“Estado actual de la modificación artificial atmosférica”.
Revista de Geofísica. Serie B, Año XV, N° 136. 1961. 135-146 / n° 78.

“Frutos del Año Geofísico Internacional”. *Razón y Fe. Revista hispanoamericana de cultura*. 1961. 469-482 / n° 163.

“La Astronomía en la era electrónica”. *Razón y Fe. Revista hispanoamericana de cultura*. 1961. 65-74 / n° 163.

“Más allá de las nebulosas”. *Razón y Fe. Revista hispanoamericana de cultura*. 1961. 445-456 / n° 164.

“Valoración lógica de la estadística”. *Pensamiento*. 1961. 517-522 / vol. 17. 1962

“Anomalías atmosféricas”. *Revista de Geofísica*. Serie B, Año XVI, N° 150. 1962. 267-278 / n° 83.

“Valoración de los satélites meteorológicos”. *Revista de Geofísica*. Serie B, Año XVIII, N° 155. 1962. 369-377 / n° 84.

“Notas Paleontológicas (IV)”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E.* Serie B, Año XIV, N° 145. 1962. 293-314 / n° 66.

“¿Un salto en el vacío?”. *Razón y Fe. Revista hispanoamericana de cultura*. 1962. 275-282 / nº 165. 1963

“Criterología cósmica”. *Pensamiento*. 1963. 447-454 / vol. 19.

“Astronomía de mañana”. *Razón y Fe. Revista hispanoamericana de cultura*. 1963. 104-113 / nº 168.

“Ambiente de la exosfera”. *Revista de Geofísica. Serie A*, Año XIX, Nº 80. 1963. 241-246 / nº 87.

“Investigación galáctica moderna”. *Las Ciencias: Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*. Año XXVIII, Nº 3. 1963. 169-184. 1964

“La meteorología en 1970”. *Revista de Geofísica. Serie B*, Año XX, Nº 165. 1964. 173-177 / nos. 91-92.

“Peligros de la controversia científica”. *Razón y Fe. Revista hispanoamericana de cultura*. 1964. 464-468 / nº 790.

“Noticiero astronómico”. *Razón y Fe. Revista hispanoamericana de cultura*. 1964. 505-512 / nº 169.

“Geología meteórica”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E. Serie B*, Año XIX, Nº 158. 1964. 199-218 / nº 74. 1965

“Nuestro sistema solar ante la ciencia de hoy”. *Espíritu. Cuadernos del Instituto Filosófico de Balmesiana*. 1965. 23-29 / nº 14.

“La verdad sobre los platillos volantes”. *Espíritu. Cuadernos del Instituto Filosófico de Balmesiana*. 1965. 157-162 / nº 14.

“Problemas y controversias paleontológicas”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E. Serie B*, Año XIX, Nº 160. 1965. 167-186 / nº 79.

“Métodos recientes de investigación heliofísica”. *Revista de Geofísica*. Serie A, Año XXII, N° 167. 1965. 55-61 / n° 93. 1966

“El manto terrestre”. *Razón y Fe. Revista hispanoamericana de cultura*. 1966. 527-532.

“Crisis en la investigación marciana”. *Las Ciencias: Asociación Española Progreso de las Ciencias*. Año XXXI, N° 2. 1966. 85-93.

“¿Dominio humano sobre los elementos?”. *Espíritu. Cuadernos del Instituto Filosófico de Balmesiana*. 1966. 73-78 / n° 15.

“Astronomía bíblica”. *Espíritu. Cuadernos del Instituto Filosófico de Balmesiana*. 1966. 175-182 / n° 15.

“Geología lunar”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E.* Serie B, Año XX, N° 186. 1966. 55-70 / n° 83.

“El manto terrestre”. *Razón y Fe. Revista hispanoamericana de cultura*. 1966. 527-532 / n° 173. 1967

“Geología del núcleo planetario”. *Notas y Comunicaciones. I.G.M.E.* Serie B, Año XXI, N° 171. 1967. 195-208 / n° 99-100.

“La moral de la Astronáutica”. *Razón y Fe. Revista hispanoamericana de cultura*. 1967. 191-196 / n° 175.

Sin fecha

“Las leyes atmosféricas y el pronóstico científico y vulgar del tiempo”. 283-295.

“Evolución y evolucionismo”. *Pensamiento*. N° 86. 7 págs. / Vol. 22.

“Nota estadística sobre la temperatura en Granada”.
Revista de Geofísica. Serie B, Año VI, N° 49. 8 págs.

“El pronóstico en Geología”. *Notas y Comunicaciones*.
I.G.M.E. Serie B, Año XIV, N° 123. 16 págs.

“Actualidades geológicas”. *Notas y Comunicaciones*.
I.G.M.E. Serie B, Año VII, N° 57. 5 págs.

“Actualidades geológicas (II)”. *Notas y Comunicaciones*.
I.G.M.E. Serie B, Año VII, N° 58. 7 págs.

“Estados físicos en las capas internas de la Tierra”. 4
págs.

“Medicina Meteorológica”. 3 págs.

“Notas bioclimatológicas”. *Revista de Geofísica*. Serie B,
N° 46. 299-305 / Vol. 11.

“Periodicidad sísmica en la provincia de Granada”.
Revista de Geofísica. N° 4. 362-368 / Vol. I.

“La agitación microsísmica del suelo en Granada”.
Revista de Geofísica. N° 7. 278-289 / Vol. II.

* “El R. P. M.M. Sánchez-Navarro, S.I.”. *Boletín de la*
Real Sociedad Española de Historia Natural. 117-120 /
Tomo XXXIX.

“La asamblea sismológica de Alicante (Septiembre
1941)”. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia*
Natural. 76-77 / T. XL.

“Movimientos sísmicos en España durante el año 1941”.
Boletín de la Real Sociedad Española de Historia
Natural. 473-479 / T. XLI.

* “Um grande sismologo espanyol”. *Broteria*. 284-287 /
Vol. XXXII.

“Las oscilaciones barométricas de corto período”. *Las*
Ciencias: Asociación Española Progreso de las Ciencias.
28-34 / Vol. VI.

"Contribución de la Estación sismológica de Cartuja al estudio de los sismos españoles". *Las Ciencias: Asociación Española Progreso de las Ciencias*. 5 págs.
"Crónica del XVI Congreso de la A.E.P.C. (Zaragoza, 1940)". *Razón y Fe. Revista hispanoamericana de cultura*. 157-162 / T. 122.





ACTIVIDAD DEL P. DUE AL FRENTE DEL OBSERVATORIO (1940-1965).

El Observatorio en los años cuarenta.

El 9 de diciembre de 1940 el P. Due eleva una petición al Excmo. Sr. Presidente del C.S.I.C., en Madrid, el que le dice que escribe en nombre del Rector de la Facultad Teológica y Seminario Mayor de la Compañía de Jesús de Cartuja (Granada). Le expone que es Director del Observatorio de Cartuja en las tres secciones: Astronómica, Meteorológica y Sísmica. Además, le hace notar que carece de medios económicos suficientes para sostener y ampliar los trabajos científicos del Centro. Y, por último, le suplica que se le conceda una ayuda económica para poder desarrollar su labor y una mayor colaboración con los centros nacionales y extranjeros a los que es invitado frecuentemente.

A este escrito le acompaña un presupuesto de gastos del Observatorio de Cartuja que resumimos de la siguiente manera:

1.- **Personal.** Son necesarios un *meteorólogo* y un *mecánico*. Hasta el momento estos cargos los desempeñan dos Hermanos Coadjutores de la Compañía de Jesús que no pueden dedicarse por completo a estos trabajos y, para ello, sería necesario abonar a la Compañía una cantidad para que dichos Hermanos se dediquen por entero a estos trabajos. Se necesitan además *dos auxilia-*

res subalternos que ayuden en los trabajos científicos leyendo los gráficos, tomando medidas y otras tareas similares, amén de los trabajos de oficina propios del Centro como intercambios con otros centros, informaciones macrosísmicas, etc. Por último, sería conveniente la existencia de *un criado* para trabajos inferiores. Los cuatro primeros percibirían una cantidad de 3.500 pesetas y, el último, 2.000 pesetas anuales.

2.- **Material.** Por haberse construido en los Talleres del Observatorio casi todos los instrumentos, principalmente los de Sismología, a veces con materiales muy deficientes, se necesitan mejores rendimientos, reformas y mejoras; completar y perfeccionar otros; motores de relojería, baterías e instalaciones eléctricas, cronógrafos, sistemas ópticos, etc. Incluyendo las tres secciones se calculan unas 6.000 pts., anuales, para esta clase de gastos y otras 1.000 para reparaciones menores y ordinarias pues la mano de obra está comprendida en el sueldo del mecánico. Al año unas 7.000 pts. en este concepto.

El material fotográfico total supone unas 3.000 pts. Los gastos de mantenimiento del edificio, la luz, el teléfono, correo, papel, etc., unas 2.000 pts. La impresión del Boletín 4.000 pts., otros impresos y gastos varios 1.000 pts. Los gastos de Personal se elevarían a unas 17.000 pts. Todo ello, supondría un total de 34.000 pts., a las que hay que sumar otras 6.000 pts., para otros apartados del Observatorio, haciendo un total de 40.000 pts., anuales, para todo el Centro. Además le adjunta un informe sobre el Observatorio de Cartuja en el que resalta varios apartados que pasamos a enumerar y describir a continuación:

1.- **Dirección y personal.** El Observatorio es propiedad de la Compañía de Jesús y fue fundado en 1902. En estos momentos está dirigido por D. Antonio Due Rojo, licenciado en Ciencias Físicas y dedicado a este tipo de estudios desde 1925, ha visitado frecuentemente los observatorios instalados en distintos países de Europa. Tiene como ayudantes a dos Hermanos Coadjuutores de la Compañía que prestan sus servicios en el Centro.

2.- La **Estación Sismológica.** Es la principal del centro y en ella prestó sus servicios como Director el P. Manuel Sánchez-Navarro Neumann durante 30 años. La importancia científica del Director y el Centro fue enorme pues colaboró asiduamente con el Instituto Geográfico y otros centros análogos del extranjero. A este se debe la construcción de sismógrafos que pueden denominarse españoles "por las mejoras con que aventajan a los modelos primitivos, y que han sido todos construidos en los talleres de la Estación Sismológica; su superioridad sobre los de otras estaciones extranjeras la muestra el resultado obtenido en sus sismogramas, como consta de la comparación de los boletines". En aquellos momentos prestaban un servicio nacional que consistía en el estudio de las gráficas, que en 1940 habían analizado 350 terremotos registrados, además de la publicación de un Boletín provisional y otro definitivo, junto con los datos meteorológicos y artículos de investigación científica en revistas nacionales y extranjeras.

3.- **Sección meteorológica.** Los datos recogidos por los aparatos y observación directa pertenecen a una estación de primera clase y se envían a entidades públicas oficiales y privadas, se atiende a consultas solicitadas

eventualmente. Los trabajos sobre este apartado y los de sismología suponen más de 300 desde la fundación del Observatorio además de haber publicado el primer *Manual de Sismología* en España.

4.- **Sección Astronómica.** La actividad de esta sección ha sido algo menor por la falta de medios materiales aunque la calidad de algunos aparatos permite colaborar con otros observatorios extranjeros y ser, por el momento, uno de los mejores de España. Se cuenta con una instalación espectrográfica de potentes instrumentos.

5.- **Intercambio de publicaciones.** Las publicaciones generadas en el Observatorio tienen un total de 400 intercambios culturales en España y el extranjero. Visitas de varios millares de personas que se interesan por las actividades científicas y es uno de los lugares más visitados por los forasteros cuando vienen a Granada.

6.- **Estado económico.** Durante muchos años no recibió ayuda alguna y por ello sus actividades se han visto muy mermadas. Una subvención de 7.250 pesetas le permitieron durante seis años antes de la República subsistir y continuar. A partir de 1940 sigue colaborando y atendiendo a una parte de los gastos del Centro gracias a la subvención. Por ello se solicita que a partir de 1941 se vea incrementada. El Ayuntamiento de Granada colabora con una aportación anual que unida a la anterior suman 10.000 pesetas anuales. Según las estimaciones del Director del Instituto Geográfico Nacional serían necesarias otras 10.000 para atender a los gastos de materiales y personal subalterno pues la Compañía de Jesús pone los gastos de Dirección y otros trabajos.

El 16 de enero de 1941 desde el Consejo Superior de Investigaciones Científicas se le escribe al P. Due

adjuntándole un oficio con el acuerdo de la sesión del Consejo. Le comunican que esperan la visita del P. Romaña para poder concretar la subvención que puede asignarse al Observatorio de Cartuja.

Entre la documentación encontramos el Plan de Reformas del Observatorio. El primer punto es el estado económico (1941-1946) donde destaca:

I. Estado económico (1941-1946)

A.- Ingresos anuales en firme, a cambio de los trabajos científicos y colaboración en los servicios oficiales.

ORGANISMO	PESETAS
Instituto Geográfico	7.250
Diputación de Granada	3.000
Ayuntamiento de Granada	2.000
Confederación del Guadalquivir (Sevilla)	720
Artículos y Conferencias	1.000
TOTAL	13.970

B.- Ingresos anuales que hay que justificar, por estar concedidos para gastos de personal, material y publicación del Boletín:

C.S.I.C. 16.000 pesetas¹.

La justificación se hace en esta forma:

CONCEPTO	PTS.	PTS.
Nomina Salarios (Hurtado, Martínez, Burgos)	7.200	10.800 ²
Publicación del Boletín	4.800	8.200
Papel fotográfico	3.000	3.500

¹ Debajo en letra manuscrita pone 27.000 pesetas.

² Escrito a mano junto a la cantidad anterior

Otros gastos menores	1.000	1.500
TOTAL	16.000	24.000

Nota: en realidad los gastos son inferiores a este total, pues sólo se paga el sueldo del ayudante seglar, y el H. Martínez interviene sólo en cosas muy breves y poquísimas veces.

Total general de Ingresos	29.970 pesetas
Total general de Gastos reales	14.970 pesetas
Superávit medio anual	15.000 pesetas

(Esta cantidad se queda en la Procura de la Casa).

II. Estado económico a partir de 1946.

Se ha concedido (el P. Romaña, en cuyas manos está oficialmente el asunto, lo da por hecho), un aumento³ de la subvención ordinaria de 14.000 ptas. sobre las 16.000 consignadas hasta ahora; y además, con carácter extraordinario, por unos cinco años, un subsidio especial de otras 20.000, destinado a proveer el Observatorio de medios e instrumentos que le faciliten y permitan ampliar sus trabajos científicos. Con arreglo a esta concesión, habrá que justificar estas 314.000 ptas., no sólo oficialmente, por medios de facturas y otros trámites semejantes, sino también con mejoras reales y adquisiciones encaminadas a un plan más amplio de investigación principalmente en el registro y observación que le sirve de base. Con la nueva concesión se pueden realizar planes concretos y ser aprobados por el Consejo.

El Observatorio dependía hasta 1945 del Instituto Nacional de Geofísica del que recibía subvención. Ahora se trata de formar un nuevo Instituto compuesto por los Observatorios del Ebro, Cartuja, Santiago y Villafranca,

³ Existe una nota manuscrita que dice: *ya concedido oficialmente.*

bajo la dirección del P. Romaña, hasta tanto es un Instituto independiente.

III. Material.

A.- **Edificio.** Por haberse realizado recientemente obras ante la urgencia de remediar daños inminentes, se encuentran casi todos los pabellones regularmente defendidos de la intemperie y el estado general del edificio es bueno exceptuando:

1.- La *terrazza* sobre la sala meridiana donde está la escalera por cuyo hueco entra el agua y también están averiadas las compuertas del anteojo meridiano. La *terrazza* Oeste sobre la sala de Meteorología necesita arreglos para evitar las goteras.

2.- Es urgente pintar las *cúpulas*, *verjas* y otras *partes metálicas* del exterior y departamentos interiores. Tienen que realizarse obras de albañilería. Hay que elegir los colores para que no sean discordantes con el tono del edificio.

3.- *Traslado de la escalera* a la sección Sur para que salga a la salita cubierta junto a la cúpula con lo que resolverá varios problemas. En el plano se indica donde se colocará aunque requiere un pequeño cambio de tabiques, perforación del suelo de la *terrazza* donde ha de salir y obra para sostener el suelo y techo.

4.- Bajo el punto de vista estético y para un aspecto científico es necesario reunir en un solo local apartado de lo estrictamente profesional los cuadros, aparatos poco técnicos, planchas de zinc, parral, pilares exteriores, etc., que hay que ver sobre un plano para distribuir el espacio de cara a los nuevos trabajos científicos que se piensan acometer.

5.- El *jardín* exige poco cuidado para mantenerlo pero no debe descuidarse.

B.- **Aparatos.** Estado y mejoras de los mismos.

1.- *Astronomía.* La Ecuatorial Mailhat fue desnivelada y descuidada entre 1931 y 1939 y se necesita un técnico que determine sus defectos y los corrija, sus oculares tienen defectos graves, el aparato de relojería que la mueve es antiguo y deficiente, en general es un instrumento potente del que se puede sacar mucha utilidad.

La Grubb, si se monta fija y se corrige su nivel en latitud pues está acomodada para utilizarla en Cádiz será muy práctica, manejable y prestará buenos servicios en las observaciones solares sobre las que el Observatorio realiza trabajos con abundante fruto.

El foteheliógrafo, inservible ahora, puede reanudar las fotografías solares y otras. El antejo meridiano necesita el arreglo de las compuertas y el servicio horario perfeccionado.

2.- *Meteorología.* Se pueden completar algunos aparatos que faltan y se obtendrán abundantes noticias que complementan las de las otras estaciones de la Universidad y Armilla. Las observaciones son buenas, las llevadas directamente por el H^o Hurtado como las registradas mecánicamente. Algunos aparatos registradores podían mejorarse.

3.- *Sismología.* Hay que mejorar motores de relojería de los registradores pues resta exactitud a los sismogramas. Se están arreglando las instalaciones eléctricas y la continuidad del registro a veces por la falta de fluido. En los péndulos caben reformas. Así el Berchmans como se puso de manifiesto en la Asamblea de Sismología de Alicante aprobadas por el Inspector Jefe de esta Sección

del Instituto Geográfico, miembro de C.S.I.C. y Jefe de la Sección de Geofísica.

4.- *Accesorios.* Completar y asegurar el buen funcionamiento de baterías para los aparatos. Instalación de radio con las modernas mejoras que permita un sistema horario digno de un Observatorio astronómico, podría funcionar el cronógrafo Ducretet que se conserva bien para observar ocultaciones y que son solicitadas por la cooperación internacional.

IV. Trabajos científicos.

1.- Observación. Las que se hacen se publican en los Boletines y se comunican oficialmente para ser utilizados dentro y fuera de España, en especial los sismogramas desde el alto nivel del centro con el P. Sánchez Navarro.

Con el personal actual es imposible realizar mas trabajo, si se incorporan nuevos aprenderían los que el H^o Hurtado hace y los jóvenes podían estar una temporada en el Observatorio del Ebro para salir sólidamente formados. El H^o Hurtado es mayor y no puede dedicarse a otras tareas. El Director no tiene salud ni fuerzas y se dedica a los trabajos sísmicos, sobre todo, además de los trabajos científicos, asuntos oficiales, correspondencia y gestión en arreglos y cosas menudas. Además tiene a su cargo la sección astronómica del que tiene un ayudante que le proporciona los elementos de cálculo, además de las clases en el Colegio Máximo. Por todo ello es necesaria la incorporación de un Padre para secundarle y sustituirlo a su debido tiempo, debe ser joven con aptitudes y vocación científica. En el Ebro hay ya tres Padres con carrera de Ciencias. El elegido puede comenzar a trabajar y a publicar con un poco de dirección y ayuda.

2.- Investigación. A este fin se encamina la actividad del Observatorio: es su razón de ser. A pesar de la meritoria y científica labor del P. Sánchez Navarro se resintió de la falta de tiempo para la investigación por la falta de medios y otros aprovecharon los materiales recogidos.

En los cinco años últimos se habían realizado en Congresos unos 50 trabajos que han sido muy valorados por los elementos oficiales y científicos. Esta labor requiere estudio y tiempo.

La Biblioteca es indispensable y hay que completarla en libros y revistas, realizar fichero doble de materias y autores y en aquellos momentos tenía un total de más de 60.000 fichas y hay que adquirir nuevos muebles.

V. Pabellón espectrográfico.

Como se cuenta con estos aparatos se pueden utilizar para importantes trabajos científicos según la opinión del P. Romaña se necesita completar algunos aparatos y unas reformas en el edificio para su instalación que marcamos en el plano pues había que alargar 3 metros el pabellón Este junto al fotoheliógrafo y modificar uno de los tabiques. Si se concede debe de tenerse en cuenta el elemento de personal.

VI. Orden de las reformas.

Las obras del edificio se atenderán a las necesidades y se llevarán a cabo en unos 5 años. El orden puede ser de la siguiente manera. En 1946 pintura general y traslado de escalera con lo que permite una nueva disposición de departamentos. Sala 1ª donde está la radio grande se pueden reunir los cuadros y aparatos de vulgarización aprovechando los lienzos de pared. La radio

grande tras su reforma puede ir a la salita mirador junto a la radio Philips ocupando el testero. La escalera sería un cuarto pequeño junto al depósito de gráficas y quedaría lugar para instalación de baterías. En 1947 completar la reforma de la sala meridiana, servicio horario, ecuatoriales y Berchmans, cúpula nueva para la Grubb. En 1948 pabellón espectrográfico y fotoheliógrafo, etc.

En otro informe del 4 de Noviembre, pero sin año específico, el P. Due expone que envía la Memoria al Consejo Superior de Investigaciones Científicas y al Instituto Geográfico y Catastral, en ella se da una idea aunque incompleta del trabajo ordinario del Observatorio y las actividades científicas del Director. Suele publicar al año unas 10 ó 12 comunicaciones en revistas del Consejo y otros trabajos de investigación más serios cuando el tiempo se lo permite.

El Observatorio exige atenciones y servicios que en su mayoría están atendidas por el ayudante seglar Burgos, mientras que el H^o Torralbo atiende su salud y entre ellos se distribuyen las tareas por lo que en ocasiones el propio Director tiene que atender a muchas cosas. Estos ayudantes ayudan a preparar, ordenar y resumir datos gráficos que pasan al Director para que los analice, estudie y publique. Ayudan a la catalogación del material bibliográfico que se recibe de centros científicos de todo el mundo, clasificando las fichas bibliográficas que ascienden a unas 65.000 (labor en aquellos momentos interrumpida por la falta de personal y las abundantes tareas). Entre los trabajos que se realizan están:

- consultas y correspondencia epistolar nutrida.

- conferencias científicas en la Universidad de Granada y en otras pero muchas se rechazan pues no se pueden atender a las clases y trabajos del Observatorio.

- participación en Congresos y Asambleas científicas, dar a conocer trabajos del Observatorio, establecer relaciones útiles con personas y centros, viajes en representación del Consejo, etc.

El problema del personal. Se cuenta con el seglar Burgos "*muchacho fiel y listo, bien impuesto en la técnica del trabajo ordinario, que hace a satisfacción durante mis ausencias del verano*". Este se casa por lo que hay que establecerlo y ponerle un sueldo conveniente. Se necesita otro Hermano de la Compañía para que atienda lo que Burgos ya no puede, visitas numerosas los domingos, jueves y días festivos. Si el H^o Torralbo no se puede incorporar por su salud hay que pensar en designar otro que ocupe su lugar. En cuanto al Director, debe de dedicarse al trabajo científico que esperan los organismos oficiales que favorecen al Observatorio con sus ayudas económicas; además de sus clases de Teología. Este aspecto se solucionaría con una suplencia; además, se necesita otro Padre de la Compañía y un estudiante, que se forme para el futuro. En el primer caso conviene que sea licenciado en alguna rama de Ciencias, pues de otra manera se necesitarían muchos años para lograr las metas previstas. El P. Due propone al P. Antonio Gimeno, que es licenciado en Química, y, que en aquellos momentos se encontraba en Sevilla. Éste quedaría a cargo del Observatorio mientras que él iba a Estados Unidos. De no ser así quedaba sólo Burgos. Otro Hermano, que estudia 2^o de Teología tenía también la licenciatura en Química, cursada en Sevilla. Se llamaba José Gallego, del que dice

el P. Due que puede aprender mucho e incluso acabar Teología en el extranjero, si se le concede una beca del C.S.I.C., pues en Aragón había dos PP. que estudiaban Cosmología y otro P. que estudiaba en Toledo.

Acompaña el Estado económico del Observatorio. Este queda de la siguiente forma:

A.-

CONCEPTO	PTAS	PTAS
Subvención anual Instituto Geográfico	7.250	8.000
Ayuntamiento / Diputación Granada	5.000	6.000
Confederación Guadalquivir (Sevilla)	720	720
TOTAL	12.970	14.720

Todas ellas en firme, sin obligación de dar cuenta alguna.

B.- Subvención del C.S.I.C. 20.000 ptas, que hay que justificar.

CONCEPTO	PTAS	PTAS.
Nómina de Salarios	7.200	18.800 ⁴
Boletín (Impresión)	8.000	8.000
Papel fotográfico	3.800	3.800
Gastos menores	1.000	
TOTAL	20.000	26.000

C.- Ingresos eventuales: Colaboración en revistas del Consejo, que asciende de 1.000 a 1.500 ptas al año, subsidios extraordinarios del Consejo para ampliaciones o aparatos: "estoy negociando y espero cobrar este año 17.500 para pagar obras ya hechas (y pagadas por mi) este año, por lo que quedarán de superávit". Además, dice

⁴ Escrito a mano junto la cantidad anterior

que había otros subsidios que estaban en negociación y podrían duplicar probablemente las 20.000 del presupuesto ordinario.

Los gastos que no quedan indicados arriba, no son muy elevados. Por tanto, queda un superávit anual, del que no se había obtenido provecho por quedarse en la procura de la casa. Esto, nos comenta, llevaba buen camino de arreglo para el futuro pues estaba negociando con los superiores que el superavit se empleara en el Observatorio. Se acompaña un plano de la cúpula y fachada del edificio para las obras a realizar.

Encontramos otro folio que dice: Observatorio de Cartuja. En él nos cuenta el P. Due que la Sección Meteorológica se reanudó tras ser devuelto el Observatorio a la Compañía, que el Hermano Hurtado continuó con sus observaciones diarias como había hecho desde la fundación, en 1902, con toda fidelidad. Recalca que se mandan notas diarias a la Radio y Prensa, que se elabora un resumen mensual de acontecimientos importantes, que se envían dos veces al día los registros al Aeródromo de Armilla y a la Jefatura del Aire por conferencia telefónica a las 3 de la madrugada. Durante la gloriosa campaña nacional se enviaban a la Aviación con previsión del tiempo a las 18 horas y a la Comandancia del Estado Mayor del Ejército del Sur, en Sevilla. Que se envía mensualmente a la Sección Agronómica de la Provincia de Granada y a la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, Ministerio del Aire -sección de Climatología-; y, trimestralmente, a la Dirección de Estadística de Granada. También nos relata que se estaban estudiando para publicarlos en el Boletín los fenómenos meteorológicos de fines de diciembre y principios de enero, utilizando las

gráficas obtenidas con el variógrafo "Brebeuf", construido por el H^o Martínez, bajo la dirección del P. Sánchez-Navarro Neumann.

En la sección Astronómica, se publica mensualmente un artículo en la Prensa y se pasa nota a la Radio sobre acontecimientos astronómicos y actividad solar. Nos informa que a finales de Febrero se presentó una situación favorable de casi todos los planetas agrupados en una misma región del cielo, lo que dio ocasión a que jefes militares y catedráticos de Universidad pudieran observar tal evento con la Ecuatorial. Se organizaron tres excursiones para estudiar aquellos fenómenos celestes. En esta sección no se puede hacer más por falta de personal; el P. Due, además de coordinar y dirigir las tres secciones, se dedicaba a sus clases de Hebreo y a las de Teodicea por enfermedad del P. Bejarano. La sección sismológica, en la que durante 30 años desarrolló su labor el P. Sánchez-Navarro, requiere una sólida labor de investigación y reclama mucho trabajo diario.

La sección Sismológica registra al año entre 300 y 400 terremotos la mayor parte lejanos y débiles gracias a la sensibilidad y potencia de los sismógrafos, en especial los magneto-fotográficos, fruto del ingenio y constancia del que fue su Director. El mismo día en que se registra un terremoto se transmite el resultado de un primer estudio, previa aplicación de fórmulas, tablas, correcciones horarias, etc. en telegrama cifrado al Instituto Geográfico y Observatorios geofísicos españoles. Se reciben telegramas semejantes, pero son más los datos enviados que los recibidos. Durante el mes se redacta un Boletín provisional del que se envían copias a los centros españoles y extranjeros de Francia y América desde don-

de se transmiten a las 350 Estaciones Sismológicas del mundo. Finalmente se publica un Boletín mensual en cuya elaboración se aprovechan los elementos suministrados por las otras estaciones y se añade información macrosísmica, investigaciones y trabajos sobre diversos problemas geofísicos de la Sismología. Gracias al Boletín se obtienen, por intercambio, muchas publicaciones con valiosas aportaciones para la biblioteca del Observatorio. Mensualmente se remite tanto a la Prensa como a la Radio una nota sismológica con lo más importante de la actividad; esta nota, a veces, se ha publicado en Madrid por intermedio de la Agencia CIFRA.

Los Datos generales sobre el Observatorio de Cartuja son:

SITUACIÓN GEOGRÁFICA: Latitud 37° 11' 24'' N. Longitud 14 m. 23,5 s. W de Greenwich. Altitud 774,37 m. Propiedad de la Compañía de Jesús y dependiente del Colegio Máximo y Facultad Teológica de Cartuja y Seminario Mayor diocesano de Granada, Jaén, Almería y Guadix.

Director: P. Antonio Due Rojo, S.I., licenciado en Ciencias Físicas y Profesor de Filosofía en el Seminario Mayor.

Auxiliar en la sección de Astronomía: P. Javier Criado, S.I., Profesor de Ciencias en el Seminario Mayor.

Ayudantes: en las secciones de Astronomía y Meteorología: H^o. Luis Hurtado García, S.I.; y en la sección de Sismología: H^o Juan Francisco Martínez Dornacu, S.I.

Instrumentos de la Sección Astronómica.

- Ecuatorial Mailhat; distancia focal 5,35 metros, abertura 35 cms. Dispositivo fotográfico, espectroscópico, etc.

- Ecuatorial Grubb, distancia focal 2,40 mts, abertura 15,2 cms.

- Foteheliógrafo con montura ecuatorial, bajo cúpula independiente.

Telescopio Foucault, 0,60 mts., distancia focal y 9,0 cms abertura.

-Espectrógrafo Littrow con celóstato Steward, tubos Plücker para espectros comparación, dispositivo fotográfico y accesorios.

- Anteojo meridiano Mailhat, objetivo de 5,8 cms. ocular nadiral y cenital, mira y lente acimutal de 72 mts de distancia focal.

- Péndulo sideral cronógrafo Richard.

- Cronógrafo Richard para contactos de observación.

- Cronómetro Rosquel.

-Teodolito, sextantes, horizonte artificial, octante, etc.

- Altacimut Salmoiraghi portátil para observaciones de campo.

- Aparato de Radio de 7 lámparas Ducretet y otro de 5 Philips, para señales horarias.

- Cronómetro eléctrico cronógrafo y de marina Reid.

- Macromicrómetro Hilger.

Instrumentos de la sección meteorológica.

- Barómetro normal con catetómetro Ducretet.

- Barómetro Fortin.
- Aneroide.
- Barógrafo Richard
- Variógrafo "Brebeuf" para variaciones rápidas de presión.
- Colección de aparatos registradores en el campo meteorológico para temperatura, humedad, lluvia, etc.
- Anemómetro y anemocinómetro Richard.
- Pananemómetro eléctrico "Hurtado".
- Faroanemómetro y sinmeteorómetro "Hurtado".
- Hormanemómetro "Hurtado" para el registro de ráfagas de viento.
- Pirheliómetro Angstrom.
- Electrómetro Geltel Elster.
- Galvanómetro y accesorios.
- Horquilla Besson.
- Nefoscopio Schlein.
- Cuadrante de nubes.

Instrumentos de Estación Sismológica.

- Péndulo Bifilar "Cartuja" de 240 kgs. N-S.; idem E-W; idem vertical de 380 kgs.
- Péndulo "Berchamans" de dos componentes, con 4260 kgs de masa; todos los registros mecánicos.
- Componente vertical "Belarmino"; horizontales "Canisio" N-S y E-W; todos de registro magneto-fotográfico.
- Cronógrafos Leroy eléctrico, Bosch y Mailhat mecánicos.

Todos los aparatos que van entrecomillados fueron contruidos en el Observatorio de Cartuja, según el padre Due.

Entre las publicaciones destaca: **Boletín del Observatorio de Cartuja**, publicación mensual desde 1903. Libro del P. Manuel María Sánchez-Navarro Neuman: *Terremotos, Sismógrafos y Edificios. Manual de Sismología* (1916). Además de unos 300 trabajos científicos de R. P. Manuel M^a Sánchez-Navarro hasta 1940 y 25 trabajos del actual Director hasta 1941.

El 6 de agosto de 1941, D. Víctor Navarro, del cuerpo de Ingenieros Geógrafos, escribe al padre Due y le dice que recibió su carta de 28 de julio, en la que solicita noticias del libramiento de la subvención. Consultado el libro de registro, se había dado orden de salida de fecha de 27 de junio y, añade, que la orden estaba dada para que la Delegación de Hacienda de Granada librase el dinero con fecha de 7 de julio, con mandamiento de pago núm. 203. Con esta información debe de hacer la reclamación correspondiente a dicha Delegación.

El 3 de septiembre del mismo año, D. Félix Campos, remite un ejemplar del segundo tomo del *Catálogo Sísmico*, de D. José Galbis Rodríguez, Inspector General del Cuerpo de Ingenieros Geógrafos y editado por los talleres de la Dirección General. Al día siguiente se envía la misma carta sobre el mismo asunto.

El 2 de octubre D. Manuel de Cifuentes escribe al padre Due dándole las gracias por el libro *Dios y la Ciencia*. El día 3, D. Félix Campos, reitera en otra carta las gracias por el envío del libro.

El 7 de octubre, D. Félix Campos, escribe de nuevo al padre Due comunicándole que en el periódico YA de 30 de septiembre aparecía una información que le acompaña. Le dice que supone que es ajeno a ella y que no refleja lo ocurrido en la Asamblea Sismológica de

Alicante organizada por el Instituto Geográfico por si estimaba oportuno hacer alguna rectificación. La comunicación del periódico dice así:

"Asamblea de los Directores de los Observatorios de toda España. Se discutieron las últimas investigaciones sobre sismología.

Alicante, 29.- Los directores de los Observatorios sismológicos de España se han reunido esta tarde y por primera vez, en asamblea en la estación sismológica de esta capital. Presidió el director del Observatorio de Granada Revdo. Padre Antonio Due, de la Compañía de Jesús. En la primera reunión se han expuesto brillantes trabajos relacionados con las últimas investigaciones en sismología y se han discutido interesantísimos temas científicos. También han sido examinados los aparatos que, bajo la dirección del ingeniero director de la estación de Alicante, han sido construidos recientemente. Mañana, en una segunda asamblea, quedará clausurado este breve cursillo de los directores de Observatorios de España. Cifra.

Es copia (Del periódico "Ya" de fecha 30 de Septiembre 1941)".

El 8 de Octubre escribe el padre Due al Director del diario YA donde la expone que ha tenido conocimiento de la publicación de una nota de fecha de 30 de septiembre sobre la Asamblea de Directores de Observatorios Geofísicos celebrada en Alicante "en que se afirma haberse celebrado dicha Asamblea bajo mi dirección". La iniciativa y dirección fue obra del Instituto Geográfico, Estadístico y Catastral y se dignaron invitarlo como a otros directores de la Red Sismológica Española y a los de carácter privado. Le pide que rectifique y se diga que

la dirección de la citada Asamblea estuvo a cargo del Excmo. Sr. D. Manuel Cifuentes, Inspector General jefe de la Sección 1ª del Instituto Geográfico. Asimismo, le pide también que sea informado de cuando iba a salir la nota y le envíe un ejemplar del número del periódico.

El 13 de octubre escribe D. Félix Campos al padre Due diciendo que recibió la carta de 8 de octubre donde le acompaña copia del escrito enviado al periódico *Ya* y que reflejan las suposiciones que tenían en el Instituto por lo que le agradecen el interés que ha puesto en que se haga la oportuna rectificación y se subsanen los errores de la información anterior.

El 22 de noviembre de 1941 D. José Mª Albareda y Herrera escribe al P. Due desde el Ministerio de Educación Nacional agradeciéndole el envío de su libro *Dios y la Ciencia* y le dice que se le ha concedido una subvención de 5.000 ptas.

El 31 de diciembre de 1941 D. Félix Campos escribe enviando al padre Due, Director del Observatorio Geofísico de Cartuja, un ejemplar del *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid* para 1942.

Las noticias de 1942, que conocemos, son las siguientes. El 10 de febrero de 1942 el padre Due envía una instancia para cobrar la subvención del año 1941. El 2 de junio envía otra al Jefe de Contabilidad de la sección 1ª del Instituto Geográfico para que le envíe las instrucciones e indicaciones necesarias para cobrar la subvención. El 11 de junio recibe contestación de D. Víctor Navarro donde le dice que desde el 13 de marzo se extendió el libramiento y mandamiento de pago nº 168 por valor de 1.812'50 pts correspondiente al primer trimestre y el 30 de mayo el segundo con igual cantidad y nº 342.

Le dice que se dirija a la Delegación de Hacienda con estos datos y pregunte las razones por las que no se hacen efectivas estas cantidades.

El 25 de Mayo de 1942 don Rafael de Balbín Lucas, Vicesecretario escribe al P. Due diciéndole que no reciben en el Consejo con regularidad los ejemplares del Boletín del Observatorio. Le ruega en nombre del Ministro de Educación Nacional que le envíen de 25 a 30 ejemplares de cada número no para la venta sino para intercambio con el extranjero y otros servicios culturales gratuitos. El 30 de Mayo contesta enviando carta y ejemplares del Boletín desde 1939 y explica que enviaba 50 ejemplares al Instituto Nacional de Geofísica por lo que creía que éste remitía algunos al Consejo y al Ministerio. Además le comunica que el numero de ejemplares se ha restringido notablemente por el problema del papel pues solo el año pasado le dieron 5 kilos mensuales y en la actualidad subieron a 20 que en realidad con los descuentos quedan en 12 por lo que sólo se pueden imprimir 200 ejemplares completos y otros 200 en tirada aparte con el Boletín Sísmico. Por todo ello los intercambios se habían visto mermados y sólo le puede enviar 24 ejemplares de cada tirada, es decir 12 del Boletín completo y otros 12 de tirada aparte.

El 29 de septiembre don Rafael de Balbín escribe diciendo que se iba a celebrar el III Pleno del Consejo, que en el mismo se elaborarían algunas normas para la confección de las Memorias de los Institutos, y que en su momento le enviaría dichas normas. Éstas fueron enviadas el 31 de octubre y constan de cuatro puntos: se expondrán las actividades realizadas, planes y proyectos futuros, relación de acuerdo a la importancia, memoria

con los miembros directivos, etc. y todo se remitirá a la Secretaría General del Consejo antes del 30 de octubre. El 3 de diciembre envía don Rafael Balbín dos ejemplares del suplemento SI dedicado al Consejo.

El 17 de noviembre de 1942 el P. Due escribe al Sr. Albareda enviándole una reseña a la vez que le comunica que ya entregó los datos de la Memoria que le habían solicitado.

El 17 de febrero de 1943 se envía instancia del padre Due para la subvención del año 1942 por valor de 7.250 pts., y se adjuntan los trabajos realizados en este año. Otra carta de 23 de febrero de 1943 de D. Félix Campos vuelve a poner de manifiesto que en Madrid habían dado órdenes de que la Delegación de Hacienda de Granada librara trimestralmente las correspondientes cantidades que corresponden por la subvención al Observatorio de Cartuja.

El 27 de marzo de 1943 don Rafael Balbín comunica al P. Due que en la sesión del Consejo Ejecutivo celebrada el 13 del mismo mes se había aprobado que en las revistas dependientes de aquel se pudieran insertar anuncios siempre que se sujetaran a las condiciones siguientes: congruencia con la materia tratada, decorosa presentación del reclamo y contenido, conformidad previa del Jefe de Publicaciones, entrega al Agente de Publicidad del 25% del importe, esto se puede hacer en los Institutos en los anuncios conseguidos directamente, los precios se atenderán a la tarifa adjunta, etc.

En el año 1943 se cita como personal subalterno a Luis Hurtado García, Juan Francisco Martínez Dornacu, Luis Fernández Rodríguez para observaciones solares y perihelio métricas, mecanografía e interpretación de sis-

mogramas y a Manuel Pertíñez Muñoz, cambio de bandas en todos los registros mecánicos, revelado de los fotográficos y mecanografía. En 1944-45 entre el personal se cita a D. Manuel Pertíñez Muñoz, auxiliar en diversos servicios, mecanógrafo, encargado de las observaciones solares y cambio de bandas.

Otra instancia semejante se envía el 24 de enero de 1944 a la que acompañan los trabajos de 1943.

El 17 de febrero de 1944 don Rafael Balbín envía dos ejemplares del Boletín Bibliográfico editado por el C.S.I.C. al Observatorio. El 10 de marzo envía de este mismo Boletín otros 5 ejemplares para que se le de divulgación. El 17 de marzo solicita que envíen las publicaciones de libros y revistas que estén en prensa para incluirlos en el Boletín del Consejo. El 22 de marzo escribe el P. Due diciendo que tienen varios artículos y libros en prensa.

El 14 de abril vuelve a enviar don Rafael Balbín otros 5 ejemplares del Boletín Bibliográfico del Consejo núm. 3. El 24 de abril el propio don Rafael Balbín escribe diciendo que se había decidido por la Superioridad la expedición de carteras de identidad para los miembros directivos de todos los Institutos del Consejo, y, que, por tanto, necesitaba que le remitieran relación duplicada de los miembros y cargos así como una fotografía de los interesados. Se refiere al Director, Vicedirector, Secretario y Vicesecretario. El 26 de abril el P. Due envía la documentación solicitada. Sólo compete al P. Due la normativa. El 3 de mayo escriben diciendo que habían recibido la documentación y que enviarían el carné de identidad desde el Consejo.

El 23 de mayo reciben el Boletín Bibliográfico núm. 4. El 14 de junio recibe el carné de identidad firmado por el Secretario general por lo que solo queda la firma del P. Due para que tuviera la validez expresada. El 23 de octubre recibe varios ejemplares del Boletín Bibliográfico recientemente aparecido. El 12 de diciembre de nuevo le envían otros ejemplares del Boletín Bibliográfico.

El 10 de junio de 1944 vuelve a escribir al Sr. Albareda dándole las gracias por comunicarle el nombramiento del P. Sarasola como Director del Observatorio de Belén pues no sabía nada de él desde 1935. En escrito de 3 de junio se da el nombramiento del P. Simón Sarasola y Areizaga que le envía para que lo conozca. El 1 de julio le agradece Albareda unas publicaciones enviadas.

El 23 de diciembre de 1944 D. Félix Campos remite para la biblioteca del Observatorio de Cartuja un ejemplar de la obra *Proyecto General de establecimiento de la Sección Geoeléctrica* publicada por el Instituto Geográfico.

El 29 de enero de 1945 el Sr. Albareda escribe al P. Due comunicándole que algunos Institutos han organizado actos sin dar conocimiento al Consejo por lo que le ruega que en adelante envíe a la Secretaría dos ejemplares de las invitaciones, programas y cualquier clase de impresos que se realicen. El 30 de octubre de nuevo le escribe comunicando que el Presidente de la Pontificia Academia de Ciencias se había dirigido al académico D. José García Siñeriz para que realizara un informe de la labor realizada en España desde 1939 a 1945. Le pide un informe completo de lo realizado por el Observatorio y

nombre de otros profesores extranjeros que hayan realizado aquella labor. Le envía escrito de la Pontificia Academia Scientiarum de 6 de Agosto. En el escrito se dice que es deseo del Santo Padre conocer las informaciones científicas internacionales de las que obtener una poderosa ayuda en la reanudación pacífica de las relaciones entre los pueblos, nuevas adquisiciones para el saber humano, etc. por lo que se solicitan trabajos desde 1939. Los informes sobre uno o varios países donde se recopilen los trabajos de las principales revistas y se dan normas para enviar y confeccionar el informe: desde 1 de enero de 1939 hasta la fecha del informe, resumen sintético de la rama de la ciencia estudiada, resultados obtenidos y bibliografía con el mayor número de trabajos convenientemente clasificados.

El 29 de enero de 1945 se envía instancia para la subvención de 1944 y se adjuntan los trabajos realizados hasta aquel momento. El 27 de febrero el padre Due, de 47 años, envía una instancia al Instituto Nacional de Geofísica donde le expone que en la Universidad de Madrid se encontraba el título de licenciado en Ciencias Físicas, solicitando que envíen el título a la Universidad de Granada para recogerlo.

El 3 de abril de 1945 don Rafael Balbín envía el último número del Boletín Bibliográfico al P. Due. El 18 de mayo le envía otra vez 5 ejemplares del núm. 12 del Boletín Bibliográfico. El 12 de junio don Rafael Balbín escribe comunicando que hay dificultad para adquirir cartulinas por lo que en adelante éstas sólo se utilizarán en los artículos largos, y, que, en adelante, la Vicesecretaría centralizará los grabados publicados en libros y revis-

tas y gestionará la ejecución de mapas de las publicaciones del Consejo.

El 8 de mayo D. Félix Campos envía un ejemplar de las *Memorias de este Instituto Geográfico y Catastral*, Tomo XVI, primera y segunda parte.

El 29 de mayo de 1945 D. Aureliano Hernández escribe al padre Due y le dice que, por encargo del Ingeniero Jefe de la sección 1ª, le comunica que con fecha de 4 de febrero se recibió la instancia de la subvención y que se informó favorablemente. A partir del 21 de febrero se dispuso por la Sección de Contabilidad el libramiento para que la Delegación de Hacienda de Granada pagara la 7.250 pts., que figuraban como subvención al Observatorio de Cartuja. De igual manera le dice que pase por la Delegación de Hacienda para cobrar dicha cantidad y que se había dispuesto que la subvención se cobrara de una sola vez y no por trimestres, como se había hecho hasta aquel momento.

El 10 de octubre D. Félix Campos, en una carta, agradece al padre Due el envío de dos publicaciones.

El 5 de diciembre de 1945 se escribe al P. Due comunicándole que el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, en su sesión del Consejo Ejecutivo de 24 de noviembre, acordó que el Instituto Nacional de Geofísica se pudiera dedicar a los problemas de la economía patria y, por ello, los Institutos dependientes del patronato Juan de la Cierva, entre ellos el de Cartuja, Ebro, Santiago y Villafranca de los Barros, pasen al Patronato Alfonso X el Sabio continuando con la labor que hasta entonces tenían.

El 22 de enero de 1946 se le comunica la creación en París de un servicio de erudición, *Le courrier des*

erudits, con un Boletín Oficial para eruditos e investigadores y le envían la dirección: Bulletin Officielle. Ministère de l'Éducation National, 110 rue de Grenelle. El 13 de junio se comunica a D. José Alonso Burgos que con fecha de 6 del actual se le nombra ayudante del Observatorio de Cartuja con el sueldo de 2.400 ptas anuales que recibirá desde el pasado mes de abril por lo que debe de comunicar su toma de posesión. El 12 de junio D. Manuel Pertíñez Muñoz comunica que al ser incorporado a filas el ayudante Alonso Burgos se daba por terminado el nombramiento de Ayudante del Observatorio con efectos de 31 de marzo. El 4 de octubre se constituye la Delegación del Consejo en Granada y se nombra al P. Due como vocal de la misma. La Delegación de Granada queda de la siguiente forma: Presidente: D. Antonio Marín Ocete, Vicepresidente: D. Carlos Rodríguez López-Neira, Secretario: D. Enrique Gutiérrez Ríos, Vocales: D. Antonio Gallego y Burín, D. Luis Seco de Lucena y Paredes, R. P. Antonio Due Rojo y D. Emilio Muñoz Fernández.

También el 4 de febrero de 1946 se envía la instancia solicitando la subvención del Observatorio y se acompañan los trabajos realizados. El 21 de octubre D. Félix Campos remite dos ejemplares de la obra *Fenómenos de Laroya. Estudio sobre la posibilidad de combustiones espontáneas en la atmósfera* editado por el Instituto Geográfico, y, siendo su autor el Ingeniero Geógrafo Ilmo. Sr. D. José Cubillo Fluiters. El 20 de diciembre le envía D. Félix el *Anuario del Observatorio Astronómico* del año 1947.

El 21 de octubre de 1946 don Rafael Balbín escribe comunicando la celebración del VII Pleno del Consejo y le pide que envíe los libros que tiene en prensa o

estén pendientes de publicación para preparar con tiempo las encuadernaciones correspondientes. Contesta el P. Due diciendo que no tenían ningún libro pendiente y los artículos ya habían sido entregados a las revistas pertinentes. El 11 de noviembre se comunica que en adelante los libros tendrán una tirada de 2.000 ejemplares y, cuando sea menor, se comunicará al Consejo para que lo vea la Junta de Publicaciones. El 18 de Noviembre le solicitan la Memoria del Instituto. El 22 de ese mismo mes se le comunica que para remediar el extravío de revistas y libros se había organizado un centro de reclamación oficial, en adelante las reclamaciones que reciban se enviarán a la Jefatura de Publicaciones. Con la misma fecha se le comunica que la tirada de 2.000 ejemplares se refiere sólo a libros pues las revistas deben de tener una edición de 1.200 ejemplares como máximo. El 28 del mismo mes de noviembre se le comunica que han recibido la memoria del Observatorio durante 1946.

El 7 de enero de 1947 envía la instancia de la subvención para el Observatorio así como de los trabajos realizados en 1946.

El 11 de febrero de 1947 se le solicita que envíe los libros para publicar para incluirlos en el catálogo. El 17 del mismo se envía lista de publicaciones del Observatorio que incluye el Boletín del año 1944 y los trabajos geofísicos Serie B, núm. 1. El 29 de marzo don Rafael Balbín escribe diciendo que dada la escasez de papel y cartulina habían acordado enviar sólo 25 separatas a cada autor y sólo tendrán cartulina los que excedan de 40 págs.

El 20 de febrero de 1947 se comunica que en acuerdo de 23 de enero, a propuesta del Patronato "Alfonso X el Sabio", se otorga un crédito de 20.000 ptas.

para los gastos del Observatorio durante el ejercicio económico de 1947. El 22 de octubre la Sesión del Consejo celebrada el día 20 acordó que constará en Acta el sentimiento del propio Consejo por el fallecimiento del H^o Luis Hurtado, Ayudante del Observatorio.

El 28 de abril de este año D. Guillermo Sans, Jefe de la sección 1^a del Instituto Geográfico y Catastral, escribe al padre Due diciéndole que la Embajada del Perú en España ha solicitado al Ministerio de Asuntos Exteriores que se le faciliten los datos y análisis de los sismogramas referentes al terremoto ocurrido a las 17 h. 42,8 m. de T.G.C. del 10 de Noviembre de 1946 en el Perú para enviarlos al Instituto Geológico de aquel país. El Ministerio de Asuntos Exteriores se ha dirigido a esta Dirección para que los observatorios españoles le faciliten los citados datos. Le pide que si de los sismogramas de Cartuja se pueden obtener noticias las envíe.

El 20 de octubre se le comunica que se celebrara la VIII Reunión Plenaria del Consejo por lo que se le piden las Memorias parciales que debe enviar antes del 1 de diciembre. El 1 de Noviembre le solicitan que comunique los libros que proyecta enviar pendientes de impresión. El 3 de noviembre le comunica que en adelante todos los intercambios deben de comunicarse al Jefe de la sección en la calle Serrano, 121. El 21 de Noviembre contesta el P. Due a don Rafael Balbín comunicando que los libros son los siguientes: 1 volumen de 35 × 24 del Boletín del Observatorio de Cartuja y 1 volumen de 24 × 17 de publicaciones del Observatorio. Además, le comunica que no se llama Observatorio Geofísico como escribe el Consejo pues excluiría la Sección Astronómica. El mismo día le comunica que habían recibido la Memoria

de los trabajos realizados en el Observatorio. El 11 de diciembre el P. Due escribe a don Rafael Balbín diciéndole que para la encuadernación en orden a la ofrenda del Jefe del Estado le ruega que le comunique la fecha para enviar las publicaciones con tiempo suficiente pues había intentado hablar por teléfono varias veces con él con un resultado negativo. El 16 de diciembre le contestan que puede enviar publicaciones hasta el 10 de enero pues a partir de ella no se podrían encuadernar debidamente. El 19 de diciembre se le comunica que la Superioridad había ordenado que los sellos del Consejo queden reducidos a los seis modelos que se envían por lo que cada Instituto debe de elegir uno de ellos para que sea diseñado por el dibujante para autentificar los documentos oficiales dimanados de los Centros. Le pide que comunique el sello a la Vicesecretaría.

El 4 de enero de 1948 envía la instancia pidiendo la subvención y acompaña relación de trabajos de 1947. El 21 de junio D. Félix Campos agradece el envío de los ejemplares del *Boletín Mensual del Observatorio de Cartuja* al Instituto Geográfico.

El 31 de enero de 1948 el Consejo Ejecutivo concede al Observatorio máquinas de sumar, calcular y escribir y se le dan instrucciones de cómo debe de presentar las facturas. El 14 de febrero se nombra al R. P. Antonio Gimeno Riutort, S. J. como Vicedirector del Observatorio, tomando posesión del cargo el 18 del mismo mes. El escrito está firmado por el P. Due y por el Presidente de la Delegación D. Antonio Marín Ocete.

El 3 de abril de 1948 le comunican que cuando se publique algo fuera del Consejo soliciten tres presupuestos de imprentas diferentes y lo den a conocer al Consejo.

El 21 de Junio le escribe don Rafael Balbín al Secretario del Observatorio de Cartuja enviándole recibo y factura por el dibujo y confección del sello de caucho del Observatorio para que lo autoricen con la firma y lo devuelva para su trámite. El 24 de junio se envía el sello y lo que cuesta, este por el dibujo, etc., 235 ptas y la confección 27,15 ptas. El 1 de septiembre don Rafael Balbín vuelve a escribir diciendo que se aprobaron las tarifas para el pago de traducciones de obras científicas y técnicas que queda así: de lenguas románicas a tres céntimos la palabra, del inglés a cuatro céntimos y de los idiomas clásicos y alemán a seis céntimos. El 27 de octubre de nuevo comunica que la carestía y escasez del papel para libros y revistas lleva a suspender muchas publicaciones y en adelante será la Oficina de Publicaciones quien estudiará cada caso concreto. El 1 de noviembre le solicitan que envíe los libros y publicaciones pues se iba a celebrar la IX Reunión Plenaria. El 16 de noviembre el P. Due contesta solicitando la dirección de la Oficina de Publicaciones. El 26 de noviembre se le piden las Memorias parciales que deben enviar antes del 26 de diciembre en donde se especificará el personal directivo y sus modificaciones, estructura del Instituto y sus modificaciones, actividades generales: labor investigadora general, publicaciones, libros, revistas, bibliotecas, ficheros y material de investigación, asambleas nacionales, reuniones, conferencias y seminarios, otras actividades y noticias, congresos en el extranjero, pensionados, intercambios de publicaciones y de material científico, visitas de profesores extranjeros, actividades especiales de cada sección.

El 18 de diciembre contesta el P. Due enviando la Memoria de la labor científica realizada durante 1948 y

le dice que las publicaciones son el Boletín de 1947 y otras publicaciones las tiene preparadas a la espera de algunas que tiene que enviarle el P. Romana. Le pide el favor de que le comunique cuando se celebrará el Pleno del Consejo pues debe de preparar el viaje. El 22 de diciembre le escribe don Rafael Balbín diciendo que había recibido la Memoria y que le comunicará con antelación suficiente cuando será el Pleno. El 28 de diciembre le vuelve a escribir al P. Due diciendo que se había acordado que en 1949 los Institutos recibieran el 50% de la recaudación líquida de los libros y revistas para que siguieran editando y le envía relación de publicaciones de la Junta para Ampliación de estudios.

El 18 de octubre de 1948 el padre Antonio Gimeno Riutort, vicedirector del Observatorio de Cartuja, escribe al Jefe de Contabilidad de la sección 1ª del Instituto Geográfico en la que le comunica que por orden del padre Due, que había marchado a Norte América, dejando un poder para cobrar la subvención no lo pudo hacer por no encontrarse el dinero en Granada. Consultado el asunto con el padre Due le dice que le escriba comunicando lo ocurrido.

El 3 de noviembre D. Guillermo Sans escribe al padre Antonio Gimeno Riutort, S.J., diciéndole que en ese mes se libra la subvención igual que a las del Tibidabo (Barcelona) y la Universidad de Valencia.

El 16 de noviembre escribe el padre Due a D. José Galbis contándole que ha estado en Estados Unidos durante siete meses enviado por la Junta de Relaciones Culturales del Ministerio de Asuntos Exteriores. Le dice que le seguirá enviando las publicaciones y que había saludado a D. Vicente Inglada con el que cambió impre-

siones sobre los trabajos científicos del Instituto Geográfico. Además le enviará los trabajos de sus ayudantes en los que tenía grandes esperanzas, especialmente en el padre Antonio Jimeno Riutort, que era ya Vice-Director, y José M. Gallego Vázquez, S. J., pues ambos tienen buena preparación y han acabado la carrera de Ciencias.

El 20 de diciembre D. Félix Campos envía al padre Due el *Anuario del Observatorio Astronómico* del Instituto Geográfico para el año 1949.

El 21 de enero de 1949 el padre Due envía la instancia para la subvención de 8.000 pts. Destinada al año y adjunta los trabajos realizados en 1948.

El 30 de enero de 1949 desde el Observatorio se solicitan algunos libros a la antigua Junta de Ampliación de Estudios que enumeramos: Dantín Cereceda, J.: *Evolución y concepto actual de la Geografía*. Obermaier, Hugo: *Los glaciares cuaternarios de Sierra Nevada*. Cabrera, B.: *La génesis de los elementos químicos*. Fernández Alcarza, V.: *Eclipse total de sol de 21 de Agosto de 1914*. Guzmán, J.: *Resistencias eléctricas graduadas y Resistencias eléctricas regulares y fijas hechas con grafito*. Nolke, Federico: *Hipótesis geotectónicas*.

El 12 de febrero de 1949 se concede una subvención de 28.000 ptas para el ejercicio económico de este año. El 4 de abril el P. Due escribe a D. José M. Albareda solicitando ampliación del crédito para poder hacer frente a otros gastos entre los que destacan las publicaciones de números atrasados. El 11 de este mismo mes recibe contestación diciendo que es imposible ampliar el crédito a no ser que se dedique a la adquisición de material científico. Le gustaría concederlo pero las cifras son inflexibles.

El 25 de abril el vice-cónsul de los EEUU Robert L. Yost escribe al padre Due dándole las gracias por un envío del día 24 en que le manda por telegrama los datos del terremoto registrado en el Observatorio de Cartuja y que este los mande a Washington al departamento de Estado.

El 5 de marzo don Rafael Balbín le envía escrito diciendo que se ha facilitado el suministro de papel y que le envíen relación de obras para publicar, a ser posible todo se deberá enviar antes del 15 de marzo. El 14 de junio le envían 3 ejemplares del Boletín Bibliográfico del Consejo. El 1 de Diciembre de este año envían relación de publicaciones desde el Observatorio diciendo que son el Boletín Mensual del año 1946 y publicaciones del Año III, 1949. Le contesta a la petición del 19 de noviembre. El 28 de diciembre envía el P. Due la *Memoria* de los trabajos de este año y una serie de publicaciones para que se encuadernen.

El Observatorio en los años 50.

El 2 de enero de 1950 se envía la instancia de la subvención de 1950 adjuntando los trabajos de 1949. El 10 de enero de 1950 le solicitan el envío de la *Memoria* del año 1949, que se incorporara a la de 1948, que ya estaba en prensa. El 14 de enero contesta diciendo que habían remitido la Memoria a D. Rafael Balbín en diciembre pasado pero que le envía otra copia. Le dice que el nombre del Observatorio a veces aparece como Observatorio Geofísico de la Cartuja cuando en realidad es Observatorio de Cartuja. En otro escrito de 14 de enero le solicitan que envíe una *Memoria* con el resultado de los

10 años del Consejo y que redacte lo correspondiente al Observatorio siguiendo las normas que se adjuntan. El 20 de este mes recibe acuse de recibo de la *Memoria* y que tratará de arreglar el nombre del Observatorio para que no aparezca cambiado en los documentos. El 31 de enero se envía escrito donde se ordena que en adelante aparezca con el nombre de Observatorio de Cartuja. El 26 de octubre se le comunica que la Academia de Ciencias de París remite lista de revistas entre las que se encuentran los Boletines del Observatorio de Cartuja, debe de enviar 5 ejemplares para intercambios. El 31 de octubre el P. Due escribe a Albareda preguntándole desde qué fecha enviaba los Boletines, a dónde y la sección de intercambio, etc.; el 28 de noviembre le escribe Albareda pidiéndole 12 ejemplares de la serie completa.

Volviendo al 10 de enero de 1950 recibe escrito de haber recibido la Memoria. El 2 de marzo se le comunica que se está preparando el X Pleno del Consejo y se están encuadernando las publicaciones para entregarlas en la clausura al Jefe del Estado. Le pide que le envíe las publicaciones para encuadernarlas. Al día siguiente le comunica que los presupuestos pedidos para la edición de libros tienen que contemplar lo siguiente: tamaño del libro, dimensiones del papel, cuerpo, caja, precio del pliego de 16 páginas para 1.000 ejemplares y sucesivos, encuadernación rústica, cubierta a dos colores, número de pliegos de la obra, importe total aproximado, pruebas de composición, con caja completa, de la página.

El 22 de marzo escribe el P. Due a don Rafael Balbín enviándole algunas publicaciones para que las añadan a las ya remitidas antes y le dice que meta otros tres artículos de revistas del Consejo que todavía no le

han llegado por las dificultades que ya conoce. El 18 de diciembre le comunican cuándo se reunirá la XI Reunión Plenaria y envíe relación detallada de las publicaciones realizadas durante aquel año. El P. Due contesta el 24 de diciembre a lo solicitado y le pregunta la fecha de la reunión. Entre las publicaciones del Observatorio le envía el *Boletín Mensual* de 1947, 1948 y 1949 y otras publicaciones de astronomía y geofísica.

El 20 de diciembre de 1950 D. Félix Campos remite el *Anuario Astronómico* del Instituto Geográfico para el año 1951.

El 8 de enero de 1951 se entrega la instancia para la subvención de las 8.000 pts para aquel año y se adjuntan trabajos del 1950.

El 9 de enero de 1951 don Rafael Balbín solicita le envíen las publicaciones para prepararlas y encuadernarlas con el fin de entregarlas al Jefe del Estado. El 11 de enero contesta el P. Due enviando tres volúmenes de publicaciones para su posterior encuadernación. El 18 de enero recibe contestación diciendo que se han recibido las publicaciones. El 29 de enero don Rafael Balbín dice que se ha fijado el XI Pleno para el 3 de febrero por lo que solicita que le comuniquen qué persona se encargará de la entrega de las publicaciones del Observatorio.

El 1 de mayo el padre Due escribe al jefe de contabilidad del Instituto comunicándole que en Hacienda de Granada no habían ingresado cantidad alguna de la subvención del Observatorio, le pide que le informe si existe algún problema para subsanarlo. El 12 de junio vuelve a reiterar el mismo asunto pues no había recibido contestación de su carta de primero de mayo. El 28 de junio D. Daniel Fernández Delgado escribe al padre Due comuni-

cándole que recibió su carta del 12 pues la de primero de mayo fue entregada al Ingeniero Jefe de la sección primera y que se hicieron las oportunas gestiones en el Ministerio de Hacienda sobre la subvención del Observatorio. El problema fue que se había perdido la orden y cuando todo se iba a hacer de nuevo le comunican que se había encontrado y se estaba tramitando aunque el excesivo trabajo por los nuevos sueldos de los funcionarios civiles había retrasado el pago. Con motivo de la nueva carta preguntó en Hacienda y le comunican que ya había salido el libramiento para el semestre con lo que en breve lo podía cobrar en Granada.

El 31 de octubre el P. Due envía originales a D. Rafael Balbín para publicación entre ellas el Boletín de 1948 y las publicaciones de 1951. El 27 se le comunica que se está preparando la XII Reunión Plenaria y que envíe los libros y revistas publicados.

El 6 de noviembre de 1951 se le escribe para ver si quiere participar en la campaña internacional de longitudes en los que están los Observatorios Astronómicos de Madrid y San Fernando. El 16 de este mes se le envía carta en la que se le dice lo que tiene que preparar para asistir a la reunión de la Pontificia Academia de Ciencias. El 24 de diciembre el Sr. Albareda le escribe diciendo que le agradece la impresión sobre las aportaciones presentadas por España en la Pontificia Academia y le agradece el esfuerzo realizado por el P. Due.

En Diciembre de 1951 el P. Due hace constar que recibe 2.000 pts de un trimestre como subvención al Observatorio, según el libramiento núm. 876 de la Delegación de Hacienda de Granada, y que había enviado una Memoria al Instituto Geográfico con los trabajos científi-

cos realizados hasta la fecha y que consistían en la colaboración heliofísica con el Observatorio Astronómico de Madrid; meteorológicos y climatológicos con el Servicio Meteorológico Nacional, y sismológicos con el Servicio Sismológico Nacional del Instituto. El escrito tiene un sello que pone: Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Observatorio de Cartuja.

El 9 de enero de 1952 don Rafael Balbín escribe pidiendo que envíen relación de resmas de papel que necesitará el Observatorio para sus publicaciones al objeto de preparar el material. El 11 acusa recibo de haber recibido las publicaciones del Observatorio. El 16 escribe el P. Due diciendo que se ha quedado perplejo con la noticia sobre el papel y que, por el momento, no sabe qué cantidad necesitará; lo preguntará en las imprentas y además para 1952 y 1953 había solicitado que se aumentaran las tiradas de los Boletines desde 1949 por la demanda que tienen y también solicita que le informen de qué cantidad, calidad y precio es el papel que pueden adquirir hasta completar el cupo que tienen asignado.

En la contestación de 24 de enero se le dice que cuando reciban el papel que se estaba fabricando le pueden aclarar las dudas y datos que solicita.

El 6 de febrero de 1952 se solicita la subvención y se adjuntan trabajos de 1951.

El 9 de febrero de 1952 D. Guillermo Sans Hue-lín desde el Instituto Geográfico escribe al padre Due diciéndole que había leído en el núm. 4 de la *Revista de Geofísica* un artículo suyo sobre "El problema de los microsismos", cuestión que había tenido entrada en la Comisión tras la Semana de Estudios de Microsismos de Roma. El trabajo es interesante y completo por lo que le

pide que de las separatas de la Revista, según le comunicó el vice-director de la publicación Lozano Calvo, le envíe 10 ejemplares para repartirlos a los vocales de la Comisión que integraban la Sección de Sismología y Física del interior de la Tierra. El 11 de febrero el padre Due escribe a D. Guillermo Sans diciéndole que con mucho gusto le enviaría los ejemplares pero que es más fácil que los recoja en el Instituto pues allí se editaba la revista. El 10 de marzo D. Guillermo Sans escribe remitiéndole la publicación del *Bulletin Geodesique* que le envían desde París según el acuerdo de la última Asamblea General de la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica (Bruselas 1951). El 22 de marzo vuelva a escribir D. Guillermo dándole las gracias por las separatas sobre microsismos que ha retirado de la imprenta.

El 5 de abril de 1952 D. Antonio Fernández Sola como Presidente del Consejo del Servicio Geográfico escribe un saluda al padre Due dándole las gracias por las publicaciones enviadas desde el Observatorio de La Cartuja.

El 29 de abril D. Juan Bonelli escribe al padre Due con motivo del terremoto ocurrido en Huesca el 5 de abril sobre las 0 h 6 m. y para su estudio le pide que envíe las bandas o copia de las mismas, que se hubieran registrado en Granada; le solicita además información sobre las constantes del aparato, corrección del tiempo, sentido del movimiento de la pluma con relación al movimiento real del suelo y coordenadas geográficas del Observatorio. El 6 de mayo contesta el padre Due a Juan Bonelli, Ingeniero Jefe del Servicio Sismológico del Instituto Geográfico. Le dice que había revisado las gráficas y que el terremoto se hubiera registrado en las gráficas fotogr-

ficas de gran aumento pero que una violenta tempestad microsísmica durante aquellos días hace imposible distinguirlo entre aquella maraña. Sabiendo que había un sismograma se puede decir que alguna onda dudosa corresponda al sismo pues en el Boletín provisional se alude y califica de incierto e inidentificable. Siente no poderlo complacer en lo que le solicita.

El 8 de mayo se le comunica que envíe relación de publicaciones que tienen intención de editar para preparar las ediciones de 1952 y 1953. Se enviaran libros e imprenta donde se editarán, coste de las obras, originales que excedan de lo económico y cantidad de fondos que se destinan a ediciones en los Institutos.

El 14 de mayo contesta el P. Due diciendo que no tienen ningún libro que editar aunque si el Boletín que se encuentra en la Imprenta de N^a S^a de las Angustias en la C/ Málaga, núm. 2 de Granada. Los Boletines definitivos de 1950 y 1951 tienen un coste de 12.000 pesetas y el Boletín meteorológico excede por el momento el coste presupuestario asignado al Observatorio. La subvención de publicaciones es de 50.000 ptas y se destinan al Boletín unas 20.000 ptas por lo que se recobrarán los de 1952 y 1953.

El 14 de mayo de 1952 el Dr. D. Gonzalo Gallas escribe al P. Due invitándole a la reunión de Física y Química que se celebraría el día 16 del mes en curso. El 25 de mayo escribe el P. Due a Gonzalo Gallas diciendo que había preparado un trabajo sobre "Estados físicos en las capas internas de la Tierra", también le dice que si la ponen después del 6 de junio debía de ser después de las 6 de la tarde pues estaba en plenos exámenes. Le contesta

el día 26 diciendo que la habían puesto el 28 a las 6 de la tarde y le espera para oír siempre su sabia disertación.

El 15 de julio de 1952 escribe el padre Due a D. Juan Bonelli que se encuentra en Toledo. Le dice que ha recibido del Patronato Alfonso el Sabio respuesta favorable a una petición sobre una bolsa de viaje para asistir a la semana de estudio de Sismología en Stuttgart a fines de septiembre. Aunque solo le informan favorablemente al Consejo Ejecutivo Superior del II CC., le parece oportuno dar a conocer lo que presentará en él mismo pues espera que Bonelli asista. Resume trabajos anteriores que ofrezcan resultados. Le envía el resumen que había enviado a Hiller y le pide su opinión acerca del texto y si este debe de presentarse en alemán. Le adjunta el título y resumen:

"Sismicidad del Sudeste de España.

Al Sur de la Falla del Guadalquivir está concentrada en España casi toda la actividad sísmica, y desde luego la máxima frecuencia de terremotos; así lo demuestran estudios históricos que comprenden muchos siglos: de los últimos 12 años se aducen datos especialmente completos. Se indican en este trabajo la distribución regional de los focos sísmicos, su mutua relación cronológica (emigración de epicentros) y la disposición que afectan en el tiempo los preliminares y réplicas de las sacudidas violentas".

El 26 de julio D. Juan Bonelli envía en paquete certificado con 4 bandas que corresponden tres a los días 21-22 y una al 20 de junio. Con esta fecha escribe una carta donde le dice que se alegra mucho de que asista a la reunión de Stuttgart pues se temía ser el único español que lo hiciera y así pueden hablar sobre muchas cuestio-

nes. Le dice que pensaba presentar dos comunicaciones pero una de ellas le estaba dando mucho trabajo, la otra es sobre la sismicidad de la Península y se la había encargado a Rey Pastor que la tenía muy adelantada. El trabajo suyo era sobre anomalías en la propagación de ondas en los terremotos cuyo epicentro se encuentra en cierta zona de la falla del Guadalquivir.

El 5 de agosto D. Juan Bonelli escribe al padre Due, que está en Burgos. Le dice que había recibido una tarjeta suya del 28 de julio donde le informa del adelanto del Observatorio de Cartuja en el registro del sismo del 10 de marzo del 1951. La explicación del padre Due no es satisfactoria para Bonelli pues el asunto le está costando quebraderos de cabeza. Le dice que tiene todas las copias de los observatorios ibéricos y algunos italianos y franceses. Leídos todos había tomado la hora de llegada de la primera P en los Observatorios de Granada y Málaga y resultaban incompatibles con las horas de principio de todos los demás observatorios. Le dice además que si hubiera sido sólo en ese sismo podía tener la explicación del adelanto del reloj, pero en las réplicas ocurre lo mismo y Cartuja y Málaga registran el principio antes de lo que teóricamente lo debían registrar ¿Qué explicación tiene esta anomalía? No lo sabe y lo está tratando de averiguar. Le dice que la estancia en Oña sea de su agrado y provechosa.

El 13 de septiembre escribe el padre Due a Juan Bonelli y le comunica que había realizado gestiones en Madrid, Sevilla y Granada para arreglar su viaje en cuanto a billete y documentación. La combinación es Valencia y Barcelona y Cerbere, a donde llegará el 18 viernes por la tarde, luego Lyon y Estrasburgo a Stuttgart para llegar

el sábado 19. Se hospedará en la residencia de los jesuitas (Hohenzollernstrasse, 11) donde le tiene a su disposición. Procurará asistir a la reunión previa del domingo por la tarde según le comunican en la segunda circular.

Otras noticias del año son que el 2 de agosto de 1952 es designado el P. Due como representante del Consejo para que asista a la Reunión sobre la estructura sísmica del Continente Europeo que se celebrará en Stuttgart (Alemania) del 22 al 27 de septiembre, se le asignan 150 marcos para la estancia y 3.100 ptas para el viaje. El 13 de noviembre el Presidente del C.S.I.C., D. José Ibáñez Martín, escribe al P. Due aconsejándole que se atenga a los gastos consignados pues la situación hace casi imposible salirse de los presupuestos, si necesita algo debe de pedirlo por escrito para su estudio.

El 7 de octubre de 1952 se especifican en un folio los fines y medios del Observatorio. Nos dice que los fines son realizar observaciones astronómicas, principalmente solares, prestar ayuda al Servicio Meteorológico Nacional y dedicar un estudio preferente a las investigaciones sismológicas.

Las secciones que lo componen son:

- *Astronómica*, dotada de potentes instrumentos, se hacen observaciones diarias de actividad solar, y los resultados se remiten a la Central Heliofísica de Zürich, para 1951 el coeficiente K fue de 0,69 para este Observatorio.

- *Meteorológica*, numerosos aparatos registradores, varios fabricados en el Observatorio y perfeccionados, se han publicado 150 trabajos de Meteorología.

- *Sismología*, declarada de utilidad pública por R. O. de 13 de Octubre de 1920, con tres componentes de

registro magneto-fotográfico, dos bifilares de 340 kgs y un horizontal E-W cuya masa es de 4.500 kgs. Todos construidos en el Observatorio, se han publicado 250 trabajos sobre materias sismológicas.

Además las publicaciones del *Boletín Mensual del Observatorio de Cartuja*, en dos ediciones diferentes, una para observaciones meteorológicas y otra para astronómicas y sísmicas. Y dos series de trabajos científicos del Observatorio: astronómica y Geofísica en los que se publican unos 12 o 15 trabajos anuales.

El 5 de noviembre D. Rafael Balbín comunica que las revistas deben de aparecer en fascículos para facilitar la venta y el importe de los mismos. El 18 de diciembre escribe al P. Due para que calcule el cupo de papel y para ver las publicaciones del Observatorio en 1953. El 25 de noviembre de 1952 le invitan a que envíe un trabajo para el Homenaje al Prof. Dr. D. Eduardo Hernández Pacheco.

El 17 de diciembre escribe Juan Bonelli al padre Due preguntándole por una carta circular del profesor J. P. Rothé referente a la creación de un servicio de determinación rápida de epicentros. En caso de que no la hubiera recibido le enviaba una copia y traducción pues puede ser valiosa para el servicio del Observatorio y para iniciar una eficaz colaboración. El 20 de diciembre D. Félix Campos Guereta y Martínez envía el *Anuario del Observatorio Astronómico* del Instituto al Observatorio para el año 1953. El 22 de diciembre contesta Due a Juan Bonelli diciendo que si había recibido la carta y estaba dispuesto a colaborar de acuerdo a lo que se le comunicaba. El problema era el de los telegramas cifrados y las franquicias o los gastos del correo aéreo que suponía un

gasto considerable y nada despreciable si el número de terremotos europeos era elevado y pasaba de ciertos límites. Le solicita que le conteste a estas cuestiones.

El 2 de enero de 1953 el padre Due escribe al Director General del Instituto Geográfico y Catastral enviándole la Memoria de los trabajos realizados en el Observatorio durante el año 1952 para la subvención de 8.000 pts.

El 10 de febrero de 1953 el Decano de la Facultad de Ciencias Dr. D. Gonzalo Gallas Nova invita al P. Due a la reunión que tendrán en la Sección de Física y Química.

El 16 de Febrero de 1953 le solicitan las publicaciones realizadas y le comunica la celebración de la XIII Reunión Plenaria del Consejo. El 13 de noviembre le remite el nuevo reglamento aprobado para las publicaciones del Consejo.

El 19 de febrero de 1953 vuelve a escribir D. José Ibáñez diciendo que los presupuestos eran bianuales y se atenderán a los mismos pues la situación era rigurosa y todo debía de ser aprobado por la Comisión Permanente.

El 7 de marzo escribe Juan Bonelli al padre Due pidiéndole perdón por tardar tanto en contestarle a la pregunta de las franquicias para los telegramas que se enviarán a Estrasburgo. Le dice que la misma pregunta se la había hecho el Dr. Fontseré. Para ello emprendió gestiones que como siempre, en plan sarcástico comenta, son *"lentas como todas las burocráticas-estatales, que ha terminado con un éxito rotundo... multiplicado por -1. A la administración le importa mucho más allegar fondos que sentirse Mecenas"*.

El 22 de marzo E. Fontseré escribe al padre Due en contestación a una postal de este de día 10. Le dice que 1952 había sido pobre en terremotos en la región catalana pero que se registraron varios y otros peninsulares. Le comunica los terremotos catalanes, como quería Due, uno de 5 de abril se sintió aunque el epicentro estuvo fuera de España. Los datos de toda la actividad sísmica fueron enviados a J. Bonelli porque tenía interés en el estudio. Los locales o regionales fueron débiles y los datos son los siguientes: 28 de febrero en Capdella (Pallars), 4 de octubre en Lloret de Mar, 7 de noviembre en Lloret de Mar y Tossa, 29 de noviembre en el Observatorio de Fabra y sentido en Villafranca del Penedés y el 15 de diciembre dos sentidos en Capellades. Las intensidades según la escala de Mercalli que era la que usaban los colaboradores del Observatorio Fabra.

El 6 de marzo de 1952 se le solicita que envíe al Consejo Superior de Investigaciones Científicas una relación de entidades del exterior con las que se tienen intercambios científicos. Entre la documentación se conserva una relación de entidades científicas con las que el Observatorio mantiene relación científica que creemos de suma importancia por la proyección internacional que alcanzó en los años 50 del siglo XX. El 30 de octubre el C.S.I.C. remite una nota diciendo que han enviado a aquellas instituciones propaganda de las publicaciones y reseñas de las revistas especializadas.

Además el P. Due da relación de revistas que son interesantes para realizar reseñas bibliográficas en 3 de noviembre de 1952. El C.S.I.C. escribe el 26 de enero de 1953 se hace cargo del tema. El 26 de enero le comunican que han sido designados Presidente y Secretario del

comité Nacional de la Unión Radio Científica Internacional y representantes en España D. José Baltá Elías y José M^a Torroja Menéndez, y que, por tanto, debe de ponerse en contacto con ellos para los trabajos y estudios que se desarrollen en estas materias. El 20 de septiembre de 1953 le solicitan datos personales y una fotografía para incluirla en el Consejo Superior pues es considerado como uno de los grandes científicos nacionales y extranjeros. En diciembre de este año se aporta relación de revistas recibidas en el Consejo para ver si necesitan alguna en el Observatorio de Cartuja.

El 10 de abril escribe el padre Due al Ingeniero Jefe del Observatorio Sismológico de Alicante exponiéndole que le ha llamado la atención el hecho que a partir de octubre de 1952 hay una gran ausencia de sacudidas sísmicas cercanas "que de ordinario son tan frecuentes en esa región". El mes de octubre fue abundante en terremotos mundiales por lo que la confección del Boletín era algo trabajoso y creía que los cercanos se publicarían a máquina para el intercambio dentro de España. Como solía publicar el padre Due en el *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural* una reseña sísmica desde 1941 y la fuente de información eran los boletines españoles le pregunta en qué fecha aparecerían los de Alicante pues ya había comenzado a preparar la reseña de 1952.

El 4 de mayo D. Juan Martín escribe desde Alicante al padre Due comunicándole que por orden del Ingeniero D. Alfonso Rey Pastor, que había tenido que ausentarse a Logroño por trabajos del Instituto Geográfico, le enviaba la documentación solicitada. Le dice que desde Septiembre-Octubre pasados había disminuido

mucho la actividad en la zona del Bajo Segura y provincias inmediatas, era una época de calma. Habían realizado una revisión cuidadosa de las bandas y le envía los datos. El 8 de mayo escribe Due dándole las gracias por todo lo enviado y le dice "lo que parecía excepción no hace más que confirmar lo excepcional de la sismicidad de esa región de España".

El 23 de octubre de 1953 Julio Rey Pastor escribe al P. Due para ver si está dispuesto a colaborar en las tareas del Instituto de Cálculo del C.S.I.C. con la correspondiente remuneración y envíe curriculum completo de publicaciones. Otra similar se dirige al P. Antonio Gimeno Riutor. Contesta el 26 diciendo que sus numerosas tareas le impiden aceptar otros compromisos como el que le proponen. El 2 de noviembre contesta el P. Gimeno en parecidos términos.

El 18 de noviembre de 1953 el ingeniero jefe de la estación de Almería, D. José Rodríguez Navarro de Fuentes, escribe al padre Due comunicándole y dándole las gracias por las publicaciones que le había enviado, le dice que había cambiado su residencia a Madrid como Inspector General del Cuerpo pero que seguía siendo el Jefe de la estación de Almería. Le ruega que le envíe a Madrid las publicaciones que regaló a Liria. También le dice que en la correspondencia que mantuvieron se echaba en falta otras palabras semejantes a terremoto que estuviera de acuerdo con Sismología, sismógrafo, sismólogo, etc. El padre Due abogaba por seísmo y él por sismo. Consultado el problema con Menéndez Pidal, Presidente de la Academia de la Lengua, le había contestado que en la próxima edición del Diccionario aparecerían "seísmo" y "sismo". En Madrid además se entrevistaba

con el padre Romaña y estuvieron juntos en el Congreso del Progreso de las Ciencias que se había celebrado en Oviedo.

El 21 de noviembre Due escribe a D. José Rodríguez diciéndole que le enviará sus publicaciones. Además le escribirá a Liria, a quien felicita todos los años por Santo Domingo, para que envíe a los Observatorios Geofísicos del Instituto Geográfico los folletos que tanto le gustaron y que llegaron como propaganda. Si le interesa un trabajo llamado "Cartografía: fundamento y guía" no tiene nada más que decírselo. Le dice que dentro de unos meses se trasladaría a Madrid a la Facultad de Filosofía de la S.J. de Chamartín para explicar cuestiones científicas relacionadas con la Filosofía y trataría de hablar con él y saludar al Director General.

El 9 de diciembre D. José Rodríguez escribe al padre Due agradeciéndole las publicaciones enviadas, le solicita los folletos y un nuevo ejemplar del trabajo "Cartografía: fundamento y guía" para la biblioteca del Instituto. El 18 de este mes le vuelve a escribir dándole las gracias por los tres ejemplares de este trabajo y le felicita las Pascuas al padre Due y a sus colaboradores del Observatorio.

El 22 de diciembre el Secretario de la Comisión Nacional de Astronomía D. Rafael Carraur le comunica al padre Due que, por acuerdo del Pleno de la Comisión Nacional, le felicitan por las observaciones del paso de Mercurio y le agradecen el envío de los datos con lo que ha contribuido al éxito de la colaboración astronómica que iniciaron con aquel motivo.

El 9 de enero de 1954 envía instancia solicitando la subvención de 8.000 pts al Director General del Insti-

tuto Geográfico y Catastral adjuntándole la *Memoria* de los trabajos realizados durante 1953.

El 15 de enero de 1954 se le pide al P. Due informe de las publicaciones que tiene en curso para este año. El 18 de enero contesta a estas cuestiones diciendo que no hay libros aunque si las revistas o Boletines meteorológicos y astronómico-sísmico con una tirada de 200 y 300 ejemplares, respectivamente; que cuestan unas 20.000 y 12.000 pts y cuentan con una subvención de 50.000 pts., aunque hay que tener en cuenta que se están editando los años anteriores. El 22 de enero se le solicitan las publicaciones realizadas durante el año anterior. El 27 de enero remite el *Boletín meteorológico* completo de 1951, el *Boletín astronómico-sísmico* de 1952 y relación bibliográfica o *Suplemento del Boletín* con los trabajos publicados desde 1939 hasta la fecha, es decir hasta 1953-1954.

El 9 de febrero Juan Bonelli, Secretario de la Sección de Sismología y Física del Interior de la Tierra de la Comisión Nacional de Geodesia y Geofísica, escribe al padre Due solicitándole una serie de datos para realizar la Memoria Nacional con las actividades desarrolladas por España en el terreno de la Sismología durante el período de 1951 a 1953. Le ruega que le envíe un informe con los siguientes puntos:

- 1.- Relación de los aparatos que componen el equipo instrumental del Observatorio, con sus características, constantes, etc.

- 2.- Investigaciones macrosísmicas realizadas y estudio de sismos sentidos.

3.- Trabajos de investigación concernientes a la Sismología teórica o aplicada. Estudios de Geografía sismológica.

4.- Bibliografía, la más completa posible, de los artículos y memorias publicadas de 1951 a 1953.

5.- Información, si la hay, de los estudios y trabajos que se hayan realizado en el terreno de la Física del Interior de la Tierra: Geotermia, elasticidad, plasticidad, constitución de la Tierra, radioactividad, tectonofísica, interpretaciones gravimétricas en cuanto aportan una contribución al estudio del interior de la Tierra.

Recibida la carta se comenzó el Informe del Observatorio de Cartuja para la Memoria Nacional de Sismología y Física del Interior de la Tierra. Se envía de acuerdo a los puntos especificados:

1.- Aparatos. Sismógrafos.

Belarmino, 2 Canisio, Cartuja Máximo, 2 Cartuja Bifilar, Cartuja Vertical (especifica en cada uno de ellos la Componente, Masa, Período y registro magnetofotográfico) y una nota que dice que todos ellos habían sido construidos en los talleres de la estación Sismológica. En una nota aparte se dice que el Sismógrafo de componente vertical Belarmino había sido construido en Cartuja y no tenía tipo igual en los de su clase, pero que fundamentalmente era un Galizin con algunas características secundarias diferentes, le indica la equivalencia en micrones.

2.- Estudios macrosísmicos. Ver el Suplemento bibliográfico números 102, 107, 116 y 121.

3.- Geografía sismológica. Suplemento, números 118 y 125.

4.- Bibliografía de 1951 a 1953. Suplemento, de los últimos (en prensa) saldrán con fecha de 1953 los

siguientes: 133 en Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero; 133, 134 y 135 en el Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (el 133 en el Tomo Homenaje al Sr. Hernández Pacheco).

5.- Física del Interior de la Tierra: Suplemento números 123 y 124 (apartado 5), 133 (apartado 4). Geotermia: 130 (apartado 2).

Nota: Lista de los trabajos reseñados en el Suplemento que tienen alguna relación con la Sismología y Física del Interior de la Tierra: 102, 107, 111, 113, 114, 116, 118, 121, 123, 125, 127, 128, 130, 132, 133, 134, 135 y 140.

El 10 de abril de 1954 se devuelven algunas facturas al P. Due y este escribe a Contabilidad dando relación detallada de los gastos. Se le contesta el 28 diciendo que algún dinero había sido gastado por el P. Romaña con lo que adaptarían las cuentas evitando nuevas equivocaciones en el futuro.

El 10 de mayo el padre Due escribe a Juan Bonelli diciéndole que al hacer impresos para los telegramas del Servicio Sismológico se le planteó la duda que le agradecería le resolviera. La norma era enviar telegramas ordinarios a los observatorios geofísicos españoles, y uno especial al Instituto Geográfico, no cifrado, sino extenso y solo en los terremotos violentos y españoles más importantes. Le pregunta si continúan igual que hasta aquellos momentos o el Instituto Geográfico solo necesitaría el cifrado como los demás. Le informa de los datos enviados a Estrasburgo, en cuanto a los datos enviados a Washington se hace mediante tarjeta postal a través del Consulado General (Sevilla).

El 16 de mayo el padre Due escribe a D. Wenceslao Benítez de San Fernando (Cádiz) pidiéndole un con-

sejo práctico. El problema era que en el Observatorio había un cronómetro de Marina REID + SOHN (Makers to the Admiralty.- Newcastle on Tone) que había funcionado perfectamente durante más de 50 años pero de repente había dejado de hacerlo. Le dice que en Granada no había relojero de confianza para una cosa de tanta precisión y un oficial de San Fernando le comentó que tenían un taller de relojería de Marina destinado a proveer a la Armada. Le pregunta si es posible que le hicieran el arreglo y le diga cómo se lo envía. En caso negativo que le indique un taller de confianza donde puedan arreglarlo.

El 19 de mayo recibió contestación de D. Wenceslao Benítez y le comunica que se lo envíe bien trincado en su caja y con el volante inmovilizado con unas cuñas de papel y bien embalado si es que no lo pueden llevar a mano, que es el transporte más seguro para aquellos aparatos. Le dice que con todo gusto le arreglarán el Cronómetro.

El 20 de mayo Juan Bonelli vuelve a escribir diciéndole que si no es molestia envíe al Instituto Geográfico un telegrama cifrado pero si supone gastos y molestias no hay inconveniente en enviar una nota por correo como se hace con el Consulado general americano. Lo que interesa son los datos no la forma en como se envíen.

Al día siguiente, 21 de mayo de 1954, el padre Due escribe a D. Wenceslao Benítez del Observatorio de San Fernando agradeciéndole su ofrecimiento de arreglar el Cronómetro, le dice que comienza a organizar el complicado transporte del aparato siguiendo las instrucciones que le había enviado. Aprovechando el envío le manda también un Roskell que le faltaba una pequeña pieza y le

comunica que solo quedaba en Granada para todo el servicio un pendulette Leroy. El 31 el envío de estos aparatos se hace realidad pues el padre Due envía una carta a D. Wenceslao dándole noticia del envío con el Cosario Valladares y el talón de resguardo del envío. La recogida se hará mediante el mismo señor a porte debido.

El 3 de junio D. Wenceslao escribe al P. Due diciéndole que ha recibido los cronómetros. Le dice que el Robt-Riskell no admite reparación pues tenía rotos el eje del volante, la rueda de escape y la báscula pues fue reparado por manos poco expertas. El Reid se conserva bien y tras una limpieza y puesta a punto funcionará.

El 24 de julio D. Juan Bonelli escribe al padre Due comunicándole que el profesor Kiyoo Wadati del Observatorio de Tokyo solicita gráficas y datos del sismo de 25 de noviembre de 1953 y entre los Observatorios que quiere consultar está el de Granada. Le dice Bonelli que los datos los envíe a Japón o a Madrid para remitirlos todos juntos.

El 3 de septiembre se envían los cronómetros desde San Fernando a Granada y la reparación ha sido un éxito en el Reid como ya le informaron por carta. En ausencia del Director de San Fernando firma la carta el Subdirector D. Francisco Fernández de la Puente. El 26 de septiembre escribe el padre Due a D. Wenceslao Benítez dándole las gracias por el trabajo realizado e interesándose por su salud.

El 31 de agosto D. Juan Bonelli, Ingeniero Jefe del Servicio de Sismología, remite al padre Due diez bandas de registro magnetográfico que este le había enviado. El 18 de octubre Juan Bonelli le solicita una serie de Boletines que faltan en Madrid, al dorso de la carta se

especifican estas publicaciones: 1936 y 1937 faltan todos, 1939 segundo y cuarto trimestre, 1940 a 1942 faltan todos, 1943 segundo y cuarto trimestre, 1944 todos, 1945 el segundo y cuarto trimestre y desde 1946 a 1949 todos.

El 22 de octubre el padre Due abona una factura por separatas de la *Revista de Geofísica* y le dice que en adelante envíe la factura al Observatorio para agilizar los trámites.

El 3 de enero de 1955 el propio P. Due solicita al Director General del Instituto Geográfico y Catastral de Madrid que se libere la cantidad de 8.000 pts de la subvención concedida y le adjunta la *Memoria* de los trabajos realizados en 1954. El 7 de enero recibe carta de haber pagado las separatas y se le adjunta factura de otras. El Director General le invita a una serie de Conferencias del Padre Romana Pujó, S.J., Director del Observatorio Astronómico del Ebro, de D. José Rodríguez Navarro, de D. Rafael Carrasco Garrorena, Director del Observatorio Astronómico de Madrid, de D. Luis Cadarso González, de D. Juan Bonelli Rubio y de D. Luis de Miguel González Miranda, del Observatorio Geofísico de Toledo.

El 7 de enero de 1955 D. José M. Albareda solicita fotografías del Observatorio y los negativos con el fin de hacer copias que pueden hacer falta en el futuro. El 30 de noviembre D. José Ibáñez escribe diciendo que las Memorias de los años 1952-1954 no se ajustaban a las normas acordadas para su publicación, le adjunta cuestionario para que las modifique y envíe a la mayor brevedad posible.

El 1 de febrero de 1955 se le envían las tarifas generales para las traducciones. El 8 de este mes se le

piden dos ejemplares de las publicaciones para encuadernarlas y presentarlas a la XIII Reunión Plenaria. El 16 se le remite escrito de haber recibido las publicaciones.

El 25 de abril recibe 6 bandas de D. Juan Bonelli que corresponden al Cartuja y al Canisio. El 20 de mayo se le comunica el acuerdo para que mediante impresos enviados solicite lo que cuestan las publicaciones y se enviarán las publicaciones al Consejo antes de salir para una revisión de la obra. Se le envía carta en donde se dice que las publicaciones del Consejo se han remitido a librerías especializadas de Barcelona, Valencia, Sevilla, Zaragoza y Santiago de Compostela. En adelante se enviarán 30 ejemplares al menos para hacer frente a las peticiones de las obras. El 6 de junio le devuelven otra serie de bandas. El 12 de junio le felicitan por su fiesta. El 28 de julio el Padre Due escribe al Jefe de Contabilidad del Instituto Geográfico y Catastral comunicándole que no se había recibido subvención alguna en Hacienda de Granada, que se interesara por ello pues pudo haber algún extravío como en otras ocasiones. El 3 de Agosto desde el Observatorio de Almería, Domingo Liria, le escribe dándole las gracias por unos trabajos enviados por el padre Due.

El 6 de septiembre el padre Due escribe a D. Félix Ortiz, Ingeniero Jefe de Publicaciones del Instituto Geográfico, solicitando que le envíen justificantes y facturas de las publicaciones de la *Revista Geofísica* "El pronóstico del tiempo a largo plazo", del núm. 53 y del que está en prensa "Notas sísmicas de 1954". El 16 de septiembre recibe esta información desde Madrid. El 20 de este mes contesta el padre Due.

El 22 de septiembre recibe carta de D. Carlos Valentí Dorda en que le comunica que se ha interesado

por la subvención tras la vuelta de vacaciones, tras realizar la oportunas gestiones en el Ministerio de Hacienda se le informa que se le abonarán los tres trimestres a finales de Septiembre, pues ya se habían expedido los correspondientes documentos para cobrar 6.000 pts en la Delegación de Hacienda de Granada.

El 15 de diciembre se pide un ejemplar del *Boletín del Observatorio* para el Consejo para realizar la correspondiente reseña de la obra. El 19 de diciembre el P. Due envía relación de precios de los Boletines con suscripción anual y números sueltos.

El 13 de enero de 1956 se le remite escrito de haber recibido las publicaciones y el precio de las mismas. Sobre esta cuestión conocemos como el 27 de abril se le dice que debe figurar el precio en la cubierta del libro y el 15 de noviembre se le acusa recibo de haber enviado dos ejemplares para la XIV Reunión Plenaria.

El 20 de enero de 1956 Juan Bonelli escribe al Padre Due comunicándole que el Director del Servicio Meteorológico Nacional Portugués, H. Amorim Ferreira, le solicita las bandas del sismo de 6 de enero de aquel año. Además solicita que se le envíen los datos de los terremotos ocurridos en la Península con lo que iniciaban una colaboración y enviar a cambio los datos portugueses a los Observatorios españoles.

El 3 de febrero el padre Due solicita la subvención de 8.000 pesetas al Instituto Geográfico y envía *Memoria* de los trabajos realizados en 1955. El 30 de junio recibe el Padre Due una carta del Director del Instituto Geográfico por el que le solicita colaboración pedida por el embajador de España en Lima pues estaban preparando para agosto el X aniversario de la Sociedad Perua-

na de Astronomía, se realizarían unas Jornadas y Exposición por lo que pide ayuda a España para este evento en fotografías, libros, mapas, folletos, etc., "*para destacar de una manera especial el trabajo de nuestro país en esta materia*".

El 20 de agosto el Padre Due solicita que se le envíe una nota con lo que cuesta la tirada de su trabajo "Notas sísmicas de 1955" a la *Revista de Geofísica*, le envía una nota que aparecerá en la cubierta del trabajo. El 27 de agosto recibe una carta diciendo que todo se había cursado sin problemas. El 28 de septiembre escribe don José Rodríguez-Navarro de Fuentes al Padre Due dándole las gracias por el envío de varias publicaciones y le comunica que se las envíe también a don Juan Martín Romero, Jefe del Observatorio Sismológico de Alicante.

El 13 de noviembre escribe el Padre Due al Jefe de Contabilidad del Instituto Geográfico preguntando por el libramiento del dinero de la Subvención pues en Hacienda, en Granada, no sabían nada.

El 11 de enero de 1957 recibe contestación sobre la subvención comunicándole que en diciembre se hizo un libramiento de 8.000 pesetas y en adelante se pagaría por trimestres de 2.000 pesetas. El Jefe de Contabilidad es Alfredo Cabañés. El 14 de enero el Padre Due comunica al sr. Cabañés que habían cobrado el libramiento a finales de Diciembre y le adjunta la petición de la subvención junto con la *Memoria* de los trabajos realizados en 1956.

El 29 de enero Juan Bonelli remite tres bandas correspondientes al 27 y 28 de noviembre de 1955. El 11 de febrero escribe el padre Due a D. Juan Bonelli contestando a otra del día 3 y adjuntando datos que le solicita-

ba, entre ellos una reseña de los trabajos realizados durante el año. El 16 de abril de 1957 Juan María Bonelli solicita al Padre Due relación de publicaciones para elaborar un Informe Nacional de Sismología para la Asamblea de Toronto además de pedirle lo publicado sobre Física del interior de la Tierra. Acompaña una nota a esta carta con las publicaciones y los aparatos del Observatorio de Cartuja. El 20 de mayo don Luis Chacón recuerda al Padre Due que le envíe la relación de publicaciones que le encargó Juan Bonelli pues se encuentra en Francia en aquellos momentos.

El 11 de junio de 1957 el Ingeniero Jefe del Servicio don Luis Esteban Carrasco escribe comunicando que se habían recibido los Boletines sísmicos de marzo y abril pero que faltaba el de febrero. El 16 de julio don Luis Chacón envía el *Manual de Instrucciones de Sismología*.

El 18 de noviembre de 1957 Eduard Fontseré escribe al padre Due dándole datos sobre terremotos de 1955 registrados en el Observatorio Fabra. El 25 de noviembre Juan Bonelli escribe al Padre Due enviándole una carta del prof. A. R. Ritsema del M.G.I. de Djakarta (Indonesia) y del director Prof. R. Goenarso. Le envía relación de sismos y le solicita datos sobre las ondas para realizar un estudio sobre el mecanismo en el foco. El 13 de diciembre de nuevo escribe J. Bonelli al Padre Due informándole que el secretario de la Comisión Sismológica Europea, Dr. Keilis-Borok iba a celebrar una reunión en Utrech del 8 al 12 de abril sobre el tema "Interpretación dinámica de los sismos". Si desea participar puede escribir al Sr. Peterschmitt en Strasbourg o al Sr. Keilis-Borok en Moscú.

El 13 de diciembre de 1957 se le comunica que en adelante cada obra tiene que tener el visto bueno del Consejo así como las facturas originadas en la confección de los mismos sobre todo en grabados y gastos tipográficos.

El 14 de enero de 1958 se le comunica que se celebrará la XIV Reunión Plenaria y que se designe la persona que presentará las publicaciones del Observatorio. El 18 de este mes contesta diciendo que espera ir personalmente a entregarlas. El 29 de este mes se le comunica que puede hacer las modificaciones propuestas en el Boletín para atenuar los gastos del mismo.

El 27 de enero de 1958 D. Miguel de la Colina escribe al Padre Due comunicándole que las publicaciones enviadas a D. Manuel García Martínez por ser interesantes quedaban para el Instituto Geográfico pues este señor había fallecido en septiembre de 1956. Encontramos una reseña de los trabajos realizados en el Observatorio durante el año de 1957 en las distintas secciones y en publicaciones. El 18 de febrero solicita la subvención y acompaña *Memoria* de trabajos realizados en 1957. El 3 de febrero de 1958 Juan Bonelli escribe al Padre Due comunicándole que se había realizado un trabajo sobre la dirección de las ondas de J. H. Hodgson y J. Irma Cock en el Observatorio del Dominio en Ottawa que cambiaba bastante el tema; le ruega que mire la dirección de las ondas y le escriba al respecto; en otra carta de 5 de marzo le dice que le envíe las bandas de los terremotos de 5 de enero y 5 de febrero de 1958.

El 17 de febrero se le comunica el Depósito Legal del *Boletín Mensual del Observatorio de Cartuja* que es M.- 722.- 1958. Se le adjunta escrito que debe de en-

tregar a la Imprenta donde se especifica todo lo relacionado con el D.L. de las obras impresas por el Consejo. El 25 de marzo el Director de la Hemeroteca Nacional reclama los números de los Boletines del Observatorio y en caso de no enviarse se le aplicará una multa como se especifica en las disposiciones legales vigentes. D. Rafael Balbín comunica al P. Due el escrito y le dice que de las ordenes oportunas para enviar las publicaciones a la Hemeroteca.

El 17 de marzo el Padre Due eleva una petición solicitando una vivienda para el obrero José Alonso Burgos pues ha servido al Observatorio durante 20 años, la vivienda para él, su esposa y sus cuatro hijos donde poner un modesto taller de electricidad en el barrio de Nuestra Señora de las Angustias, que se estaba edificando. El 19 de abril el Ingeniero Jefe del Observatorio de Alicante don Juan Martín Romero le agradece al Padre Due el envió de las bandas sobre algunos terremotos que le han sido de gran utilidad. El 27 de mayo E. Fontseré escribe mandando datos sobre terremotos registrados en el Observatorio Fabra relativos al año 1956. El 23 de agosto Juan Bonelli remite bandas enviadas de los días 7, 8 y 9 de agosto de 1958.

El 5 de septiembre de 1958 don Domingo Liria Valls solicita algunas publicaciones y Boletines Sismológicos para completar la colección para el Observatorio Geofísico de Almería. El 23 de septiembre escribe el P. Due comentando todo lo relacionado con la publicación de los Boletines y envía las direcciones donde le pueden localizar pues estará fuera de Granada desde el 1 de octubre al 20 de noviembre.

El 9 de enero de 1959 William Stauder de la Universidad de California recuerda la reunión que van a tener el 10 de julio de 1959.

El 22 de enero de 1959 don Luis Esteban Carrasco solicita los datos sísmicos registrados por el Observatorio del 1 al 10 de enero. El 26 de enero el Padre Due solicita subvención para el Observatorio y acompaña *Memoria* de lo realizado en 1958. Otra carta de 4 de marzo es enviada al Director del Observatorio Fabra para que le envíen los datos sobre terremotos para confeccionar la reseña sobre terremotos españoles del año 1957. El 20 de marzo responde E. Fontseré con los datos solicitados de los que reseña los sismos de 28 y 29 de junio y 15 de julio de 1959.

El 20 de marzo de 1959 comunica el Sr. Albareda que el P. Due ha sido nombrado, a propuesta del Pleno del Patronato "Alfonso X el Sabio", Consejero Adjunto del Patronato. El 18 de diciembre contesta el P. Due dándole las gracias y se dirige al R. P. José M^a Albareda pues había escogido una nueva dignidad "que el señor le ha concedido", le desea un fecundo apostolado y la bendición en futuras empresas.

El 28 de abril de 1959 Juan Bonelli escribe al Padre Due enviándole un cuestionario mandado por el Servicio Sismológico Portugués para estudiar conjuntamente los sismos del Atlántico situados entre la Península y las Azores. El 28 de agosto otra carta de Bonelli le informa que se celebrará en Alicante la Asamblea anual de la Comisión Sismológica Europea durante los días 26 al 31 de octubre. Le solicita información para el Informe que presentará en esta ocasión.

Nos encontramos una justificación de 10 de octubre de 1957 por la que recibe 2.000 pesetas de subvención correspondientes a un trimestre de trabajos realizados en concepto de colaboración científica con el Instituto Geográfico y Catastral. El 29 de octubre de 1957 justifica otras 2.000 pesetas del libramiento de 21 de diciembre de 1954. El 22 de mayo de 1958 justificación de otra subvención del trimestre de este año. El 26 de junio de 1958 otra justificación del segundo trimestre del año en curso.

El 22 de octubre de 1959 se le comunican las actividades de la Agrupación Nacional de Prensa no diaria dentro de Sindicato Nacional de Papel, Prensa y Artes Gráficas. Le dicen que espere a que solvente el Consejo la cuestión antes de enviar las publicaciones y la cuota de 50 ptas. El 25 de noviembre se le dice que envíe 3 ejemplares de las publicaciones y el resto de los papeles y trámites se resolverán en Madrid.

Encontramos un avance del Programa de la Asociación Internacional de Sismología y Física del interior de la Tierra, XII Asamblea General que se celebrará en Helsinki (Finlandia) del 25 de julio sábado al 6 de agosto de 1960.

El Observatorio en la década de los años sesenta.

El 20 de enero de 1960 solicita la subvención anual para el Observatorio y acompaña *Memoria* de lo realizado en 1959. El 19 de febrero Juan Bonelli le acompaña el Programa sobre la reunión de Helsinki. Le escribe desde Estrasburgo la Comisión y él lo comunica a su vez a los estudiosos de España. Acompaña una nota en

la que Bonelli comunica al Padre Due que el profesor Keilis-Borok le adjunta que en Helsinki tratarían sobre los planos de falla, mecanismo de foco, etc. y le adelanta un pequeño programa. El 10 de febrero el Ingeniero Jefe del Observatorio Central Geofísico "Alfonso Rey Pastor" de Toledo, don Luis de Miguel González-Miranda, saluda al Padre Due y le comunica que esta a su disposición tras su nombramiento en este Observatorio.

El 27 de enero de 1960 se le comunica que se están revisando las publicaciones y costos por lo que debe de enviar los datos sobre los Boletines y una vez estudiados se le remitirán los resultados. El 3 de febrero contesta el P. Due diciendo que no hay gasto alguno de colaboración. El gasto total es de 9.424 para el *Boletín Meteorológico* y para el *Astronómico-Sísmico* de 5.500 a 6.000 ptas según lo remitido ya en 1958. El gasto medio es de 50 ptas el tomo. El 23 de febrero se le solicitan una serie de datos para elaborar la *Memoria* de actividades del C.S.I.C., se le envía un Cuestionario para confeccionar la Memoria. El 29 de febrero se le acusa recibo de haber recibido la información solicitada.

El 5 de marzo de 1960 don Luis Esteban Carrasco solicita al Padre Due le envíe la banda correspondiente al sismo de Agadir para realizar un estudio. El 17 de marzo E. Fontseré escribe enviando los datos sobre terremotos de 1958. El 11 de abril desde Toledo solicitan al Padre Due que envíe los datos del Observatorio de Cartuja para poder estudiar los sismos argelinos. El 22 de abril otra carta desde Toledo da las gracias por el paquete de bandas enviadas, le solicita datos de otros terremotos con especificación de las tres componentes. El 11 de mayo

envían desde Toledo el paquete de bandas y le da las gracias por todo.

El 16 de marzo de 1960 le envía José María Torroja Menéndez las pruebas de imprenta de su libro *La Presión Atmosférica en Granada*. Le ruega que tras las correcciones las envíe rápidamente.

El 24 de noviembre de 1960 D. Félix G. Guillamón le envía un resumen del trabajo que presentará en el Congreso de Sevilla titulado: "*Normas para el cálculo de construcciones antisísmicas en la Península Ibérica*". Este lo realizará junto a D. Fermín Casado Cepeda.

El 21 de enero de 1961 solicita la subvención anual al Instituto Geográfico y acompaña *Memoria* de los trabajos realizados en 1960. El 21 de octubre de 1961 E. Fontseré envía datos sobre terremotos registrados en el Observatorio Fabra en 1960. El 9 de diciembre de 1961 el Director General del Instituto Geográfico y Catastral don Vicente Puyal Gil le da las gracias por el libro *El mundo de los mares* del Padre Due.

El 3 de febrero de 1962 el Padre Due escribe al Jefe de Contabilidad interesándose por el libramiento de los tres trimestres últimos del año anterior. El 12 de febrero recibe contestación sobre las subvenciones de don Alejandro Llamas. El 15 de febrero el Padre Due escribe dándole las gracias por las gestiones realizadas.

El 15 de febrero de 1962 solicita la subvención al Instituto y envía *Memoria* de los trabajos realizados en 1961. Entre ellos figuran dos libros *Deus a luz da ciencia*, Edições Asa, Oporto, 174 págs. y *El mundo de los Mares*, Editorial Razón y Fe, Madrid, 190 págs.

El 16 de febrero de 1962 J.M. Munuera escribe al padre Due comunicándole que habían establecido un

Laboratorio Central Sismológico y un nuevo sistema para localizar diariamente los sismos peninsulares registrados en las distintas estaciones. Le agradece la colaboración del Observatorio de Cartuja y le ruega que continúe enviando los datos de los sismos por telegrama, tanto peninsulares como extranjeros, de cierta importancia. Le dice que está deseando de saludarle personalmente.

El 13 de marzo de 1962 Luis Lozano Calvo comunica al P. Due que han sido nombrados representantes del Consejo Superior para una representación que llegaría a Madrid de la Comisión Sismológica de la UNESCO, entre los Observatorios que se iban a visitar estaba el de Málaga y el de Cartuja de Granada. Contesta el P. Due diciendo que los recibirá en Granada porque su estado de salud es pésimo y no puede trasladarse hasta Madrid.

Encontramos una nota del padre Due en la que dice que una Comisión de la UNESCO había visitado los principales observatorios sismológicos españoles entre ellos el de Toledo, Málaga y Cartuja de Granada. La comisión estaba compuesta por J. M. Rohté de Estrasburgo, J. M. Bonelli del Instituto Geográfico de Madrid, Marcus Bath de Uppsala en Suecia y J. Linehan, S.I. del Weston College de USA, además les acompañaba el Ingeniero Jefe del Servicio Sismológico español J.M. Munuera, el director de la estación sismológica de Málaga y tres sismólogos norteamericanos cuyo nombre nos facilita. Tras visitar el Observatorio en sus distintas secciones: Astronomía, Meteorología y Sismología y examinar los distintos aparatos, gráficas, etc., tomaron nota para informar a la UNESCO de las características instrumentales.

Otro de los capítulos lo encontramos en la correspondencia con otros sismólogos sobre todo extranjeros que

solicitan noticias sobre los terremotos ocurridos en sus países y demandan información al Observatorio de Cartuja. También Congresos, Publicaciones, reuniones, conferencias, etc.

Así el 10 de febrero de 1962 el Dr. Brankp Maksic de la Universidad de Zagreb (Yugoslavia) pide información sobre varios terremotos ocurridos el 7, 11 y 21 de enero de aquel año y que le envíen los sismogramas para estudiarlos y devolverlos lo más rápido posible.

El 11 de abril Harold Jeffreys del St. John's College de Cambridge pide información sobre los terremotos de 1950 en especial el del 5 de septiembre, 15 de mayo de 1951 y los de enero de 1962.

El 16 de abril de 1962 Thomas F. Malone solicita también información sobre la sismicidad en 1960 para utilizar los datos en la American Geophysical Union y otros lugares de investigación.

El prof. J. P. Rothé, secretario de la Sección de Sismología del Comité Nacional francés de Geodesia y Geofísica solicita el sismograma de 1 de mayo de 1962 sobre un terremoto ocurrido a las 10 horas. El 22 de septiembre le pide información sobre el terremoto de 1 de mayo de 1962 ocurrido a las 10 h. para comprobar algunas cosas. El 25 de octubre vuelve a solicitar desde Strasbourg nueva información sobre el mismo terremoto. Al año siguiente le vuelven a pedir la información y contesta diciendo que no habían recibido las cartas de 1962 sino que llegaron todas juntas. Le envía la información y le dan las gracias porque se estaba editando un trabajo gracias a los datos aportados por el P. Due y sus colaboradores. El Prof. J. J. Levallois pide que manden la bibliografía del Observatorio para incluirla en las publicaciones francesas que

edita la Asociación Internacional de Geodesia. Se le solicita información sobre esta cuestión al año siguiente.

En este orden de cosas el Prof. S. B. Ücer del Seismological Institute of Technical University of Istanbul Taskisla solicita una explicación sobre ciertos aspectos del terremoto ocurrido el 23 de mayo de 1961 a las 2 h. 45 m. y 8 s.

El 16 de abril de 1962 pide Joseph Marks desde New York que se envíe relación bibliográfica para incluirla en las ediciones de la Universidad para que los estudiantes conozcan los trabajos desarrollados sobre sismicidad.

El prof. W.G. Milne desde el Department of Mines and Technical Surveys de Canadá solicita información sobre el terremoto ocurrido el 16 de mayo de 1909 a las 4 h y 18 m.

El 25 de julio de 1962 Leonard M. Murphy pide el sismograma del 29 de febrero de 1960 para que se envíe a Washington. El 30 de julio Jill M. Christine solicita información para estudiar algunos terremotos de Nueva Zelanda.

EL 16 de mayo de 1962 se le concede una subvención de 60.000 pesetas para ese año del C.S.I.C. para los trabajos de investigación que vienen realizando. El 1 de julio de 1962 el P. Due dice que ha sido director del centro desde el año 1925 y en la actualidad sigue el cargo actuando de secretario Juan Francisco Martínez Dornacu. Nombrados por la Compañía pero sin nombramiento propiamente dicho. La subvención de 1963 es de la misma cantidad aunque se envía relación de gastos por importe de 66.000 pts. El P. Due solicita más dinero pues no puede hacer frente a los gastos con aquella subvención.

El 25 de abril J.M. Munuera escribe al Padre Due con los datos recibidos de un telegrama sobre un sismo para ver si existía alguna equivocación pues no concordaba con los enviados por otros observatorios. El padre Due apunta en la carta que los datos eran correctos aunque si en algo difería era por causas ajenas a los aparatos de Cartuja. El 20 de septiembre Munuera vuelve a escribir pidiendo algunos Boletines que faltaban de 1960, 1961 y 1962. Le pide los envíe o una copia de los mismos.

El 1 de febrero de 1963 se solicita la subvención anual para este año y se acompaña *Memoria* y reseña de los trabajos realizados durante 1962. Entre ellos figura el trabajo "El Cosmos en la actualidad científica y otros 17 trabajos en revistas científicas de actualidad.

El 5 de marzo de 1963 J. M. Munuera escribe pidiendo datos pues debe presentar un Informe sobre el trienio de 1960-1963 a la Asociación Internacional de Sismología y de Física del Interior de la Tierra en Berkeley por lo que pide le envíen lo realizado y publicaciones y un promedio de los sismos de 1962 para publicarlo en el Informe. Aparece una nota de los trabajos científicos publicados en 1962 en los campos de Geofísica general, Meteorología y Sismología.

El 3 de abril de 1963 P.L. Willmore desde Edinburgo pide información sobre los terremotos de 6 de julio y 26 de diciembre de 1962 y el del 14 de febrero de 1963.

El 8 de abril de 1963 D. Gonzalo Payo escribe al Padre Due para que le aclare algunas anotaciones pues está realizando un trabajo sobre sismos locales y los datos los ha sacado de los Boletines de las Estaciones españolas. El 16 de marzo de 1964 D. J. L. Flores-Calderón envía a Granada la información provisional del sismo de 15 de

marzo de 1964 acaecido a las 22,30 con los datos de Alicante, Málaga y Toledo por lo que ruega que envíe la información posible para conseguir una localización más aproximada. El 9 de abril escribe Gonzalo Payo diciéndole que ha sido designado desde primero de mes Director del Observatorio "Alfonso Rey Pastor" de Toledo por lo que está a su entera disposición.

El 30 de octubre de 1963 se envía circular sobre becas de la Comisaría de Protección Escolar para Licenciados y Doctores cuya petición acaba el 5 de noviembre según el Boletín Oficial. Se le pide que envíe la propuesta de los candidatos por orden de prelación en las convocatorias citadas. El 12 de noviembre contesta el P. Due diciendo que el P. Romaña había solicitado aumento de la subvención del Observatorio de Cartuja por los efectos de las abundantes lluvias y los daños sufridos, en total puede justificar 30.000 ptas en publicaciones y otros gastos como ha ido dando a conocer en los adjuntos oficios remitidos. El 15 de noviembre Albareda escribe diciendo que está enterado por el P. Romaña de las pérdidas y daños ocasionados en el Observatorio. El 3 de diciembre le recuerdan que deben de justificar los gastos para el cierre del ejercicio económico de aquel año.

El 19 de febrero de 1964 se le pide mande un resumen sobre el Centro, nombre, dirección, estructura, personal, labor realizada, etc. El 5 de marzo de 1964 J.A. Maravall escribe al P. Due diciéndole que la UNESCO había convocado una Conferencia Intergubernamental sobre Sismología e Ingeniería Antisísmica en París para los días 21 al 30 de abril. Le escribe de parte de Álvarez-Ossorio preguntándole si puede aceptar ser el representante de España en la citada reunión.

El 21 de abril se le remite carta de D. Segismundo Sanz Aranguez y otra del Prof. Auger para ver los aparatos y los trabajos que pueden realizarse para la GTST de COPERS. El 8 de septiembre es nombrado Consejero de Número del C.S.I.C. en el Patronato "Alfonso X el Sabio" de acuerdo a la decisión adoptada el 27 de julio. El 30 de octubre D. Gonzalo Bilbao solicita para el Consejo los Boletines de 1963. El 24 de junio J. A. Maravall dice al P. Due que ha dado su nombre como experto en Sismología y Astronomía para la UNESCO y le solicita que le ayude a confeccionar una lista de buenos traductores para enviarla a París. El 20 de junio se le envía la convocatoria de becas para realizar trabajos en el extranjero.

El 17 de septiembre de 1964 D. Vicente Puyal Gil invita al Padre Due para que asista a la reunión de la Comisión de Normas Sismo-resistentes que se celebrará el día 23 en Madrid. El 19 de octubre J.M. Munuera le escribe comunicándole que se reunieron el 23 de septiembre pues el Padre Due es Vocal representante del Ministerio de Educación Nacional y lamenta que no pudiera asistir a ella.

El 6 de noviembre J. M. Munuera vuelve a escribir diciendo que en la obra de Galbis tomo II aparecen obras de españoles y obras de extranjeros pero que la lista acaba en 1936 por lo que el Servicio de Sismología trata de ponerla al día. Le solicita el envío de sus publicaciones y las del Padre Manuel Sánchez-Navarro y toda la información que pueda acompañar sobre autores españoles y extranjeros para rellenar el espacio de tiempo desde 1936 a 1964. El 26 de noviembre otra carta en contestación de la del día 23 y dándole las gracias por la información del sismo del 9 de septiembre sentido en Granada. Le solicita nombre de pueblos y otros datos para estudiarlo en profundidad.

El 14 de diciembre Munuera vuelve a escribir y pide información del sismo de 21 de octubre.

Existe una abundante correspondencia entre el P. Due y D. Amadeo Tortajada sobre libros, revistas, intercambios, etc.



9 FEB. 1966



LA TIERRA AGITADA

OBSERVATORIO
DE CARTUJA
BIBLIOTECA

BIBLIOTECA «RAZON Y FE»
DE CUESTIONES ACTUALES

R.090

-58-

IAGPDS

Signatura

Estante SIS

Tabla SSO

Número DUE

tie

LA TIERRA AGITADA

CONQUISTAS DE LA GEOFISICA
MODERNA

POR

ANTONIO DUE ROJO, SJ.

Director del Observatorio de Cartuja (Granada)

OBSERVATORIO
DE CARTUJA

BIBLIOTECA

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
GRANADA

Documento 886353

VOLVIO 933240

EDITORIAL «RAZON Y FE», S. A.

Exclusiva de venta: Ediciones FAX

Zurbano, 80

MADRID

INSTITUTO ANDALUZ DE GEOFISICA
Y PREVENCIÓN DE DESASTRES SISMICOS

BIBLIOTECA



Imprimi potest: Josephus A. de Sobrino, SJ. Praepositus Provinciae
Baeticae. Hispali, die 2 martii 1964.

Granatae, die 6 martii 1964. Imprimatur: † Rafael, Arz. de Granada.—
De Exc.mi ac Rev.mi D.ni mei Archiepiscopi mandato, Dr. Tarsi-
tius Herrero, Canc. S.rius.

Es propiedad
Impreso en España. 1965
N.º Rgr.º 263-65
Depósito legal: M. 3416.—1965
© Antonio Due Rojo. 1964
Editorial Razón y Fe, S. A. Madrid. España

Gráficas HALAR, S. L.—Andrés de la Cuerda, 4.—Madrid-15

INTRODUCCION

Todos los que han tenido que hacer un largo viaje por mar o por aire, sobre todo si se han visto obligados a pagar involuntariamente tributo a Neptuno o Eolo con detrimento del propio estómago, experimentan un satisfactorio alivio cuando al término de la travesía vuelven a pisar tierra firme, tierra quieta, sin las molestas oscilaciones y falta de horizontalidad producidas por el oleaje de las aguas o los baches del aire. Y, sin embargo, pretendemos demostrar en este libro que esa agradable firmeza y horizontalidad del suelo no es absoluta ni completa; más aún, uno de los capítulos se titulará nada menos que "Olas y tempestades de la corteza terrestre", en el que vendremos a decir que la aparente tranquilidad del suelo que pisamos no es más que eso: aparente; porque, en realidad, jamás está quieto.

La ciencia que estudia en sus diversas formas el dinamismo terrestre es propiamente la Geofísica; y en el decreto por el que el 24 de febrero de 1941 se creaba en España el Instituto Nacional de Geofísica, uno de los que integran hoy el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, se decía tex-

tualmente: "En el fecundo campo de la investigación ocupa un lugar preeminente una ciencia novísima, que trata de descubrir el secreto de la constitución interna de la Tierra y aspira a fijar la situación de la riqueza subterránea. Esta ciencia es la Geofísica, que en su aspecto teórico estudia las propiedades de nuestro Globo convertido en un inmenso laboratorio de Física, y en su aspecto práctico escruta las capas del subsuelo para hallar las preciadas sustancias minerales que son la fuente natural de la riqueza que ha de salvar a nuestra Patria de la aguda crisis por que actualmente pasan las naciones."

Algo parecido a esta ciencia, que con razón es llamada novísima, lo hallamos en los escritos de hace bastantes siglos, cuando se reducía todo a los famosos cuatro elementos: tierra, agua, aire y fuego, de los cuales el primero se consideraba inerte y sin vida, puesto que sus actividades conocidas (terremotos, volcanes...) eran debidas a los otros tres; pero hoy ya se sabe que el elemento mineral encierra en sí el verdadero origen de una vida activa en el más genuino sentido de la palabra. Todo un mundo nuevo ha sido descubierto por la geofísica moderna, fruto casi todo ello de las investigaciones recientes dentro del siglo xx, con que ha auxiliado valiosamente y revalorizado mucho de lo que la más venerable y antigua geología había logrado conquistar.

Los trabajos geofísicos, gracias a métodos e instrumentos inventados ayer, han participado, naturalmente, de esa revolución que alcanza hoy a todas las ciencias fisiconaturales. Y un claro índice de la trascendencia a que aluden las palabras del decreto citado lo tenemos en el número e importancia de entidades, generalmente nacionales o internacionales consagradas a esta clase de in-

vestigaciones; la enorme extensión de las materias estudiadas la sintetiza bien aquella frase del decreto al hablar de nuestro planeta como de un gigantesco laboratorio de Física. Aquí prescindiremos de no pocos de tales campos de trabajo y ajustándonos al título del libro, trataremos únicamente de los movimientos del suelo terrestre propiamente dichos, entre los cuales, como veremos, los hay sensibles e insensibles, buenos y malos, útiles y dañosos, naturales y artificiales.

Hay un aspecto particular de esta ciencia digno de notarse desde el principio: y es el económico, al que también se alude en nuestro decreto español. Empresas privadas y estatales se dieron cuenta muy pronto de que les interesaba grandemente fomentar y cultivar estas novísimas actividades, cuya aplicación práctica más conocida es la prospección minera con sus evidentes consecuencias útiles; pero también las hay de otro género diferente y de no menor trascendencia. Tales son el estudio de muchos procesos naturales y fenómenos cuyos efectos redundan en grave daño del hombre y de sus realizaciones materiales: son muchos los miles de millones de pérdidas que todos los años hay que apuntar en el Debe de empresas de todas clases; y se ha comprobado que frecuentemente son debidas a la ignorancia o imprevisión ante esos factores destructivos de orden natural. Descubrir y analizar semejantes procesos supone muchas veces el único remedio eficaz, si no para evitarlos, al menos para reducirlos considerablemente en cuanto a sus perniciosos efectos; y se comprende entonces perfectamente, no sólo la dedicación de los hombres de ciencia a un trabajo de utilidad tan manifiesta, sino también la amplia colaboración internacional de una ayuda mutua fraternal y desinteresada.

Con tales estímulos no es de extrañar que los progresos y perfeccionamientos de los métodos geofísicos hayan sido y sean en nuestros días brillantes y al mismo tiempo rápidos; todos los años se manifiesta este avance y las revistas especializadas de que nos hemos servido para escribir estas líneas aportan constantemente innovaciones de gran interés, así teórico como práctico: de las observaciones directas en el laboratorio natural, registradas en los observatorios geofísicos con diligencia y exactitud cada vez mayores, se pasa a su reproducción artificial en los laboratorios humanos, donde se "fabrican" e imitan los mismos fenómenos a escala reducida, pero con fidelidad en cuanto a sus caracteres esenciales, de donde se sacan útiles consecuencias de orden práctico, y ello justifica sobradamente la inversión de capitales que nunca dejan de producir cuantiosos dividendos.



CAPÍTULO I

EL IMPULSO INICIAL

El mismo nombre de Geofísica o física terrestre parecería deber excluir de su campo de investigación lo que está fuera de la Tierra, de modo que entre esta ciencia y la Astronomía hubiera una línea divisoria suficientemente marcada; y sin embargo no es así: desde hace muy pocos años, así en congresos nacionales o internacionales como en publicaciones que siguen llamándose geofísicas se han empezado a incluir y a veces hasta con cierta preferencia, secciones tales como las dedicadas al estudio de la Luna, de los planetas y de la cosmogonía en general.

Es evidente que el origen y proceso inicial de otros astros puede contribuir al estudio del planeta en que habitamos, en virtud de una analogía perfectamente lógica y así ilustrar los comienzos de la historia terrestre, clave y explicación razonable de lo que aquí sucede y sucederá. Si a esto se añade el novísimo método de exploración espacial por medio de satélites artificiales, es natural que se haya despertado el interés de los geofísicos

por conocer estas valiosas aportaciones manifiestamente aplicables a su propia esfera de actividad.

Por falta de estos y otros muchos elementos de juicio de que ahora se dispone, las teorías antiguas acerca de nuestra Tierra han tenido que ser drásticamente reformadas; ya sabemos que la clásica apreciación geogónica de un pedazo ardiente del Sol, despedido por su rotación e independizado luego para irse enfriando de fuera a adentro, con la consiguiente contracción y arrugamiento de la corteza, ha sido sustituida por una hipótesis diametralmente opuesta: formación de nuestro planeta independiente de la solar propiamente dicha, evolución posterior a partir de un conglomerado frío de planetésimos o partículas libres que más tarde empezó a calentarse *por sus propios medios* y que en la actualidad se está dilatando en vez de contraerse, como lo demuestran hechos indiscutibles y bien comprobados, etc...

La teoría de Berlage sobre el origen de planetas y satélites admite inicialmente discos de materia nebular que giran alrededor de su sol o astro primario respectivo, del que no serían ya hijos, sino hermanos menores, sujetos solamente a una tutela de carácter meramente gravitacional, en cuanto que su masa preponderante rige los movimientos de unos como anillos concéntricos, que nunca pertenecieron al globo central, y que pasaron sucesivamente por las fases de discos de materia nebular, más tarde anillos mejor definidos y por último, en virtud de pérdida de energía debida a su propia viscosidad, masas planetarias concentradas como lo están ahora.

Soluciones llovidas del cielo

“Nos estamos gastando miles de millones de dólares en exploraciones espaciales para averiguar lo que hay en la Luna, siendo así que para ello bastarían medios tan vulgares como la escoba o el plumero con que recoger el polvo de esos mismos laboratorios en que trabajamos.” Esto, a primera vista, parece dicho en broma; pero esta audaz afirmación procede de fuente tan autorizada como la National Geographic Society de los Estados Unidos y lo que se afirma es rigurosamente exacto: nos consta con certeza que los meteoritos que caen en la Luna, con velocidad no frenada por atmósfera alguna, levantan o “salpican” grandes cantidades de polvo lunar, cuya velocidad así adquirida es muy superior a la llamada velocidad de escape, con que se sustraen a la atracción gravítica de nuestro satélite, que es relativamente pequeña; y ese polvo viene a engrosar el que continuamente está cayendo en la Tierra. Desgraciadamente no existe todavía un criterio analítico que permita distinguirlo del resto de la aportación micrometeorítica.

Algo parecido ocurre, pero en circunstancias mucho más favorables, con otros meteoritos recientemente estudiados y que han revelado importantes datos relativos al origen del planeta Tierra y a la explicación de su estructura y dinamismo, que aquí estamos exponiendo. La historia comienza hace más de siglo y medio, cuando la Academia francesa tuvo que reconocer su error al declarar solemnemente en 1790, a pesar del testimonio fehaciente del alcalde de Juillac y de trescientos vecinos de la localidad, unánimes en declarar la caída de una gran piedra del cielo, que semejante leyenda era

algo "evidentemente falso y físicamente imposible". Porque en 1803 otra población francesa, L'Aigle, fue materialmente lapidada por una lluvia de proyectiles de este género (unas dos mil piedras fueron recogidas) y ya se vio forzada la Academia a nombrar una comisión científica a las órdenes del célebre físico Juan Bautista Biot, cuyo informe, perfectamente documentado, eliminó toda duda. Por las mismas fechas el químico inglés Eduardo C. Howard había publicado un trabajo acerca de "ciertas sustancias pétreas y metálicas que en diferentes tiempos se dice haber caído en la Tierra"; éste parece haber sido el primer hombre de ciencia que examinó cuidadosamente en 1802 la estructura interna de los meteoritos litófilos (semejantes en su composición a las piedras, por oposición a los siderófilos, constituidos predominantemente por mineral de hierro); en cuatro ejemplares procedentes de Inglaterra, Italia, Bohemia y la India, encontró abundantes corpúsculos, algunos perfectamente globulares y otros alargados o elípticos, cuyo tamaño oscilaba entre una cabeza de alfiler y un guisante pequeño, de color gris o moreno. Tal fue el comienzo de una investigación que en estos últimos años ha revolucionado el estudio y análisis meteórico, no solamente por la renovada atención prestada a recientes descubrimientos, sino porque muchos ejemplares que durante largos años habían reposado en las vitrinas de los museos, han sido sacados de allí para someterlos a técnicas entonces desconocidas, obteniéndose así éxitos insospechados en el terreno de la historia terrestre y remontándose a tiempos tan remotos, que no se contentan con alcanzar las primeras fases de lo que podríamos llamar nuestra propia independencia, sino que las preceden y se

adentran audazmente en los albores de la cosmogonía general.

Nuestra materia prima

No todo lo que nos cae del cielo sirve para dilucidar el problema geogónico. Los novísimos recursos de exploración, cohetes y satélites, provistos de registradores para esta clase de pobladores del espacio y que incluso miden su masa y tamaño, han revelado cifras a primera vista increíbles, pero perfectamente comprobadas: diariamente nos llegan 750.000 billones (dieciocho cifras) con diámetros comprendidos entre trece milímetros los mayores y media milésima de milímetro los más pequeños; en cuanto a la masa total, se admite como cuantía prudentemente evaluada la de diez mil toneladas diarias, aunque en esta última cifra se incluyen todos, hasta los gigantescos, raras veces ocurrentes.

Lo más interesante a nuestro propósito son los que contienen aquellos corpúsculos globulares de Howard, que el alemán Gustavo Rose denominó hace exactamente un siglo "condritas" refiriéndose a la masa total y que hoy todavía conservan el nombre, reservándose el de "cóndrulos" para los glóbulos mismos, derivados uno y otro del griego *chondros* = grano de semilla. No todo fueron facilidades en este estudio: las condritas carbonosas, que son las más interesantes, suelen ser de consistencia terrosa, negras y fácilmente desmenuzables; por lo tanto, más expuestas a la acción destructiva por erosión del agua y aire, y solamente identificables cuando las circunstancias de su caída eran favorables o la recolección estaba a cargo de un experto. También planteaban la cuestión de

cómo podían haber sobrevivido a la caída a través de la atmósfera; parece ser que lo que llega a la superficie terrestre es el núcleo, después de haber perdido la corteza, incendiada al caer, y lo que sobrevive ha permanecido a temperatura relativamente baja.

Porque si hemos de adelantar ya la noticia, se trata nada menos que de identificar estas condritas con los hipotéticos planetésimos que por agregación formaron la Tierra. La primera idea de que ellas representaban un material primitivo o materia prima en el orden planetario, nació espontáneamente de su procedencia extraterrestre; pero ya en 1929 se dieron razones sólidas en apoyo de tal teoría, cuando Henry Norris Russell, en Monte Wilson, pudo comparar espectrogramas solares y condriticos y halló una sorprendente coincidencia en cuanto a la proporción del contenido de elementos en uno y otro, especialmente de los metales: diríase que ambas gráficas son copia una de otra, con la sola excepción del hierro, cosa perfectamente explicable por lo demás, lo que sugería naturalmente que tanto el Sol como estos meteoritos procedían del mismo material primigenio, y lo que es más notable, han permanecido invariables desde entonces.

En general, los meteoritos son capaces de contarnos al menos gran parte de su propia historia, porque de la estructura interna, con signos de fusión, cristalización, etc..., no es difícil deducir las vicisitudes por que han pasado: los hay que revelan haber formado parte del núcleo de un planeta o planetolde destrozado luego por colisiones y rupturas, principalmente cuando se trata de fragmentos del planeta perdido, situado antes en una órbita intermedia entre las de Marte y Júpiter, al modo que ya se explicó en el volumen 42 de esta

misma colección; otros son efecto de ulteriores fraccionamientos por choques entre esos mismos fragmentos mayores, hasta llegarse a una completa pulverización debida a causas diferentes, como es la acción continuada de agentes cósmicos, tales como rayos cósmicos, emisiones solares, etc..., y por último, quedan los que nunca estuvieron incorporados a planeta alguno y vienen a ser como materiales de construcción sobrantes de aquella génesis planetaria. Los satélites artificiales han descubierto además una especie hasta ahora ignorada de meteoritos impropriamente dichos, ya que por girar alrededor de nosotros en órbitas estables, jamás caerán en la Tierra.

Uno de los aspectos más importantes revelados por la técnica analítica moderna es la datación por métodos radiactivos, que, como veremos más adelante, equivale a llevar consigo cada meteorito, como en un carnet de identidad, la edad de su formación; más aún: a semejanza de lo que a veces ocurre en edificios antiguos posteriormente ampliados, llevan escrita la fecha de edificación de la porción antigua y la de la acreción o añadidura más reciente, cosa que puede suceder en el espacio al incorporar a su propia masa primitiva otros elementos exteriores.

Los planetésimos en actividad

Apresurémonos a advertir que al esbozar hoy los autores las fases probables de la evolución planetaria inicial, cuentan con dos clases de recursos o factores a quienes se debe el estado a que han llegado los planetas actuales: externos, que son las fuerzas cósmicas imperantes en el medio ambiente en que se verificó la transformación, e internos,

residentes en los mismos corpúsculos que sufrieron semejantes cambios. De ellos los hay ciertos e indudables, porque son los mismos esencialmente en cualquier época de la historia cósmica, y otros son hipotéticos aunque siempre verosímiles, puesto que las razones en que se apoya su influjo han sido muy depuradas y discutidas a la luz de los últimos descubrimientos y de las controversias entre hombres de ciencia muy autorizados y notablemente numerosos.

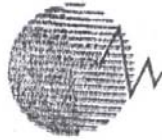
La forma de actividad desarrollada al principio por esos materiales primarios consiste en la famosa discontinuidad de proceso, mutación crítica o colapso gravitatorio; en sustancia se reduce a interrumpir y modificar la marcha de sus actividades para tomar un rumbo nuevo: es lo más difícil de explicar en cualquier cosmogonía; porque bien sabido es que la inercia esencial a la materia corpórea le priva de iniciativas propias para tales cambios, y ello vale lo mismo para la formación de un grupo de galaxias, que para la de una nebulosa individual, una estrella o un planeta. Ahora bien: lo que cada individuo no puede realizar por sus propios medios, pueden dárselo hecho los factores ambientes, y tal es el caso de la condensación primitiva a que todas las nuevas formaciones deben necesariamente su origen; el antiguo recurso de atribuirlo, como se hacía fácilmente por los astrónomos del siglo pasado, a una irregularidad casual, no se admite hoy y con razón: es un recurso demasiado fácil, y mejor diríamos, infantil e ingenuo.

Para explicar este hecho tratándose de planetas, tenemos una ventaja no despreciable: podemos contar con el auxilio del sol o protosol, cuya acción dentro del dominio familiar de sus planetas nacientes tuvo que ser a los comienzos mucho más

activa y violenta que en el estado actual definitivo de estrella estable; y esta acción es de dos clases: la emisión de partículas energéticas tal como la conocemos hoy, pero mucho más intensa y desde luego irregular (también lo es ahora el llamado viento solar, en que consiste aquella emisión), y las denominadas olas de choque productoras de considerables cambios de temperatura, caprichosos si se quiere y además muy localizados, al modo de lo que en la actualidad hacen las fulguraciones solares, pero en grado superior.

Pero hay más: las discontinuidades requeridas para las crisis o colapsos parciales no son meras hipótesis; la radioastronomía está comprobando constantemente que la población corpuscular del espacio interplanetario e intergaláctico dista mucho de ser uniforme. Las nubes de hidrógeno, helio y neón analizadas por este medio en el ambiente que nos rodea, lo mismo cerca que lejos de nosotros, tiene una densidad media de una partícula por centímetro cúbico; pero hay regiones mucho más pobladas que otras y en ellas puede fácilmente producirse el deseado colapso gravitatorio, por el que la mutua atracción venza a otras fuerzas antagonistas, que tienden a disipar la materia cósmica; añádase a ello la acción termodinámica, electromagnética y de radiación procedente del sol, y no habrá ya dificultad en explicar las alteraciones necesarias en el planeta naciente.

En cuanto a las energías internas de cada partícula o planetésimo individual, nos son suficientemente conocidas: son las que residen en el átomo, esa fuente de actividad inexhausta cuya enorme potencialidad es demasiado patente y que en aquellas fases iniciales hubieron de estar sometidas a una excitación más violenta en virtud del influjo mencionado de un ambiente más *agresivo*.



INSTITUTO ANDALUZ DE GEOFÍSICA
Y PREVENCIÓN DE DESASTRES SÍSMICOS

BIBLIOTECA

Con esto queremos indicar que no solamente la radiactividad natural de los elementos inestables tuvo gran parte en la acción global resultante, sino que también se produjo abundantemente el desequilibrio nuclear en los átomos normales, al modo que artificialmente se hace ahora en la fabricación de isótopos, es decir, por medio del bombardeo con partículas de elevada energía, que entonces abundaban mucho más.

El planeta definitivo

Verificada la concentración por todos estos factores combinados, por un proceso cuyos pormenores nos son naturalmente desconocidos, aunque ya verosíblemente imaginables, comienza ya la vida propia de la Tierra, que empieza a valerse por sí sola, aunque siempre bajo el influjo y protección del astro central y potente que rige todo el sistema. Los elementos químicos, sustancialmente los mismos de hoy, comienzan a desarrollar sus actividades propias, y sin duda la Tierra que hemos llamado inquieta lo sería entonces mucho más.

Y ante todo, consta que la proporción y cuantía total de tales elementos hubo de variar al principio a un ritmo mucho más drástico que lo hace al presente: en primer lugar, por efecto obvio de las fuerzas físicas, cual es la pérdida de los de menor peso atómico, ya que la energía cinética de los gases en la incipiente atmósfera hubo de superar frecuentemente la velocidad de escape y comenzaría la dispersión hacia el espacio interplanetario; igualmente la radiactividad verificaría la consabida selección por la que algunos elementos (calcio, estroncio, plomo, etc...) comenzarían ya a abundar en detrimento de los que iban (y van) siempre des-

apareciendo (hidrógeno, helio, neón...); empezó, pues, el régimen de alteración en la composición química de la corteza terrestre principalmente, ya que en las capas interiores los factores internos, cada vez menos libres, están frenados por la presión, temperatura, etc..., y sobre todo por la dificultad de expansión debida a las masas que gravitan sobre ellas.

Van pasando los millones de años y el dinamismo terrestre sigue su curso en un despliegue constante de energías físico-químicas en lucha contra los agentes positivos (radiaciones solares) y negativos (frío espacial) que le rodean, y también en lucha interna de unos elementos con otros: son las fases sucesivas de evolución de que nos hablan los textos de geología. Así, por ejemplo, la condensación de los vapores, enfriados fácilmente por ese frío exterior, produce las primeras lluvias, y unos mares todavía someros y apenas separados entre sí por desniveles precariamente marcados, cubren la superficie; al mismo tiempo la actividad procedente de capas más profundas se va abriendo paso, primero con facilidad y abundancia, luego cada vez menos por los obstáculos crecientes que hallan a su paso; el vulcanismo al principio es de un volumen apenas creíble si no se hubiera comprobado y medido sin lugar a dudas: gases, vapores y rocas ígneas son emitidos por doquier y se van extendiendo por orden de densidades, dando por resultado la disposición actual del sustratum basáltico, más pesado, que casi aflora en el fondo actual de los océanos, y del granito continental más liviano, roca fundamental más joven y abundante, que sirve de zócalo a las masas continentales.

Entre tanto, la erosión, ese poderoso agente, a un tiempo destructor y constructivo, inicia su labor, primeramente niveladora al arrastrar los ma-

teriales de las alturas hacia los valles y luego hacia los mismos océanos; pero precisamente la presión ejercida así por los sedimentos acumulados es origen de plegamientos y demás irregularidades, en virtud de las cuales podemos ver en los montes y mesetas elevados, restos petrificados de lo que fueron entonces mares profundos. En escala más lenta y moderada, este proceso no ha terminado y sólo acabará con la fase final del mundo en que vivimos.

El misterio meteórico

La febril actividad a que ha dado lugar en los laboratorios el nuevo giro que han tomado las investigaciones cosmogónicas a base de análisis meteórico, ha llegado últimamente hasta a modificar la misma nomenclatura: se habla de meteorografía o meteoritografía, así como de mineralogía cósmica o cosmoquímica e incluso de paleontología extraterrestre, ya que se discuten cuestiones como la formación de compuestos orgánicos fuera de los seres vivos y por supuesto fuera del planeta Tierra.

No es posible entrar aquí en pormenores técnicos, algunos de los cuales quedan brevemente indicados más arriba; pero sí interesa advertir que en la reconstrucción de la larga historia de estos extraños pobladores del espacio y probables representantes de las semillas de donde nació nuestro planeta, hay que distinguir diferentes fases de su vida, o si queremos, vidas parciales: primera, en libertad antes de incorporarse a masas mayores por eventual acreción; segunda, durante su permanencia en planetoides o planetas (para los que formaron parte, por ejemplo, del famoso planeta perdido); tercera, nuevamente libres a partir de

la ruptura o rupturas sucesivas, y cuarta, desde su caída en la Tierra hasta su colocación en la vitrina del museo o en la mesa del laboratorio. En cada una de estas vidas parciales hay dos factores o agentes modificadores: la propia degeneración radiactiva y el impacto de la radiación cósmica, factores que a menudo son de signo contrario.

Se comprende la dificultad de deslindar y medir exactamente cada uno de estos periodos; pero unos cuantos golpes recientes de suerte y una aplicación inteligente ha permitido llegar a soluciones satisfactorias de semejantes problemas. En primer lugar, se ha logrado evaluar con bastante precisión el ritmo de un factor externo tan importante como son los rayos cósmicos primarios, así por comparación entre numerosos casos examinados, como por la valiosa aportación de los satélites artificiales. Uno de los resultados más curiosos e interesantes ha sido la determinación del tiempo transcurrido entre la constitución primigenia de los elementos químicos en el alborar mismo de nuestro sistema solar y la formación estructural de sus miembros: ese intervalo fue relativamente breve, no mayor de cien millones de años, en lugar de los miles de millones que postulaban las antiguas teorías, hoy definitivamente descartadas; en cuanto a la duración total desde "el principio", se confirma la cifra más reciente y probable de 4,7 miles de millones.

Al dar cuenta de sus trabajos en esta materia, hacía notar Reynolds a fines de 1963 que este problema, tenido antes por arduo y encomendado quizá a enormes y potentes telescopios y espectroscopios con que sondear los últimos límites del espacio, se ha comenzado a resolver y se espera resolverlo con medios relativamente sencillos y modestos, gracias a la circunstancia favorable de que

la clave del misterio meteórico, del que hemos visto depende nuestra propia historia cósmica, se encuentra en la medida y análisis de los llamados gases raros, o más propiamente, gases nobles (porque se mantienen incontaminados y no se combinan con los demás elementos) de suerte que del contenido de tales gases en las condritas, principalmente, y de su estado radiactivo actual, después de las vicisitudes anteriores, sale con frecuencia la solución deseada.

Porque en la "química especial" de estos gases se reduce considerablemente el error por contaminación: se comienza por fundir el ejemplar meteórico en el vacío; se expone el gas resultante al óxido de cobre caliente, luego va a un filtro enfriado con aire líquido y a continuación pasa a otro caliente donde hay algunos miligramos de calcio o titanio; todos los elementos que no sean gases nobles se van quedando por el camino de estos sucesivos tratamientos, porque unos se hielan y otros se combinan; la proporción en que pueden quedar impurezas respecto del neón, kriptó y xeno queda reducida, respectivamente, a uno por cada quinientos millones, treinta millones y dos millones, respectivamente; la pureza a que se llega respecto de cuerpos químicos normales suele ser en el mejor de los casos muchos miles de veces menor.

Así se ha podido averiguar que las condritas no solamente tienen una enorme antigüedad, sino que han permanecido en estado de cuerpos fríos e inertes durante ese larguísimo tiempo; la razón es sencilla: en caso contrario, el calor hubiera disipado o alterado el contenido de gases nobles. Otro valioso auxiliar ha resultado ser la novísima técnica microscópica que permite examinar fácilmente la estructura interna de los minerales mediante delgadísimas secciones cementadas al por-

taobjetos, que las hace perfectamente transparentes; este examen óptico ha conducido a importantes conclusiones acerca de la historia de los cóndrulos, que es también la del dinamismo inicial terrestre.

También a título de curiosidad citaremos el caso de un ejemplar típico de condrita, localizado en la península de Bondoc, en la región meridional de la isla filipina de Luzón; una de sus porciones mayores, de 310 kilos, fue encontrada en 1958; posteriormente se organizó una expedición en busca del resto, totalmente recuperado en agosto de 1962 con una masa global de 882 kilos. Un corte practicado en uno de los bordes de la masa principal y de forma casi oval, puso de manifiesto en el interior quince grandes nódulos de aspecto condritico.

Antes de hacer un análisis más detenido, se pudo apreciar una circunstancia notable: la múltiple polaridad magnética; más de noventa polos positivos y negativos aparecen mezclados en la superficie exterior, y por cierto, cada uno de ellos mucho más acusado que los dos ordinariamente presentes en otros ejemplares. Aquí apareció también la evidencia de haber estado protegido del influjo exterior; lo más verosímil es que el trozo recuperado perteneciese al centro del meteorito, de suerte que la masa total preatmosférica tendría que haber sido del orden de unas seis toneladas por lo menos.

CAPÍTULO II

CONTINENTES MOVILES

Forma parte de la inquietud terrestre, objeto de estas páginas, un episodio actualmente sujeto a vivas discusiones y que se encuadra en las etapas relativamente recientes de la formación de nuestro planeta, en concreto hace un par de centenares de millones de años *nada más*. Podría titularse este capítulo "resurrección de una teoría muerta" o dada por muerta entre los hombres de ciencia, ya que no son inusitados en la historia y curso de las ideas científicas los cambios de rumbo en las corrientes de opinión: unas veces se abandonan antiguas apreciaciones, no pocas veces respetables, ante nuevos hechos convincentes que obligan a abandonarlas, y al revés, pueden cobrar de nuevo la perdida autoridad ciertos puntos de vista tenidos antes como inaceptables. Esto último es quizá lo que está ocurriendo con la vieja teoría (parece que ya en 1600 pensó en ella Sir Francis Bacon) de la deriva de los continentes, reelaborada en 1912 por Wegener y rechazada pocos años después casi unánimemente.

La primitiva sugestión, obvia y elemental, nació del aparente ajuste de Sudamérica con el Africa occidental; basta una ojeada al mapa para hacerse cargo de ello, y posteriormente se acumularon argumentos de indole geológica y se hicieron notar coincidencias en cuanto a la fauna y flora de ambas regiones; hoy los argumentos más diversos y eficaces se han ido sumando a un ritmo muy vivo y alarmante para los adversarios de semejante hipótesis revolucionaria y va cobrando solidez creciente bajo el *slogan* de que, al menos en parte, "Wegener tenía razón".

Hundimientos y elevaciones

Comenzando por lo cierto e indiscutible, todos admiten el hecho manifiesto de que la corteza rígida de la Tierra no lo es tanto, puesto que cede al peso de los hielos durante las glaciaciones, presión de la que se rehace ahora lentamente en Escandinavia y el Canadá, entre otros casos, y de la que, por el contrario, se resiente hoy Groenlandia y la Antártida, aplastadas ambas hasta sepultar literalmente vastas extensiones de tierra de suyo firme y situarlas bajo el nivel del mar. Semejantes hechos (no teorías) han conducido al cálculo de la viscosidad cortical y nos muestran un globo terrestre cuya capa más externa, relativamente fría y frágil, se asienta sobre otras más calientes y plásticas. Así pues, hay unanimidad acerca de los movimientos verticales, con flujos inevitables en regiones más profundas y cambios de estructura, al menos en las comarcas inmediatas a tales alteraciones de nivel; la discrepancia comienza cuando se trata de movimientos horizontales.

Ante el hecho sistemático de que grandes cordi-



lleras o profundas fosas submarinas se alinean precisamente en los bordes del océano Pacífico, se han buscado explicaciones verosímiles, tales como la presión continental que ha plegado su borde y dado lugar a los Andes o una recesión en el otro extremo que abrió las enormes grietas junto a la costa del Japón o de las Filipinas. Hasta se han hecho experiencias de laboratorio con intento de reproducir artificialmente el proceso y se ha tenido en cuenta la estadística de terremotos de diversa índole a lo largo de esos accidentes: por ambos procedimientos se han obtenido resultados aceptables, especialmente en la distribución de focos sísmicos profundos y superficiales, respectivamente, en parajes donde coincidían las estructuras correspondientes a los postulados teóricos.

Otras comprobaciones en menor escala se han obtenido con ocasión de fenómenos más recientes, como ocurrió hace un par de años en un violento terremoto de Hebgen, estado de Montana, en los EE. UU. Gracias a los medios recientes, así de registro de sismos como de nivelaciones geodésicas, se recogieron y estudiaron copiosos e interesantes datos que han contribuido notablemente a la interpretación de los desplazamientos del suelo a consecuencia del trastorno tectónico allí producido. Parece haber habido una desigual subsidencia o hundimiento de dos cuencas independientes a ambos lados del núcleo de la cordillera de Madison: la de Yellowstone al Este y los llanos del Missouri al Oeste se hundieron a consecuencia del terremoto, mientras que la cordillera misma quedó en medio en situación bastante estable. Los ejes de esas cuencas paralelas no parecen tener conexión mutua y también se han apreciado inclinaciones

del suelo, que terminan bruscamente al llegar a tres declives escarpados de una falla geológica al NE. del lago Hebgen.

El subsuelo en ebullición

Los que a principios de este siglo rechazaron hasta la posibilidad de un deslizamiento continental a manera de témpanos flotantes sobre las capas plásticas situadas inmediatamente bajo la corteza, desconocían los resultados de las recientes investigaciones oceanográficas y son por lo mismo fácilmente disculpados; pero los datos obtenidos por este medio obligan a ajustarlos, como las piezas de un rompecabezas, de modo que concuerden los hechos entre sí. Tales son el descubrimiento de la cresta central que divide casi todos los grandes mares y las medidas térmicas realizadas en esas regiones.

Lo primero ofrece el extraño espectáculo de un globo terrestre que va aumentando de volumen y consiguientemente se resquebraja por los sitios donde la corteza es más frágil y débil, que son esas regiones centrales oceánicas, y lo segundo manifiesta que por esas grietas sale en proporción notablemente mayor que en el resto de la superficie sin distinción de tierra o agua, el calor de las capas inferiores; y al revés, a distancias determinadas de la cresta, la emisión térmica disminuye considerablemente. Todo ello coincide bien y se explica satisfactoriamente admitiendo en el seno del subsuelo o manto (región intermedia entre la corteza y el núcleo del planeta) las hoy propuestas corrientes de convección.

La plasticidad, que no hay que confundir con el estado propiamente líquido, de esas masas profun-

das, las equiparan bajo este aspecto a una caldera cuyo contenido se calienta, en este caso generalmente por agentes radiactivos, y originan el mismo proceso de un líquido en ebullición: las porciones más calientes suben y las enfriadas bajan, en una circulación perfectamente comprensible. Los efectos sobre la delgada corteza exterior son sencillamente explicables: rupturas y separaciones, relleno ulterior con materiales procedentes del manto, y en regiones donde se cierra el circuito de convección, los materiales corticales más ligeros, en vez de ser absorbidos hacia adentro, se apilan y dan origen a sistemas montañosos (orogenia) en los bordes continentales; en cambio, cuando sucede esto en pleno océano, como los materiales basálticos están hechos de la misma sustancia del manto, se incorporan fácilmente a él y arrastran inevitablemente los sedimentos, que en parte podrían acumularse, pero en parte descienden, y por ser quebradizos engendran terremotos profundos, hasta que recobran la plasticidad al llegar a regiones suficientemente profundas.

Una comprobación de este hipotético mecanismo es la diferente edad de las rocas que forman las islas atlánticas, según que estén más o menos alejadas de la grieta central; hasta se ha calculado la velocidad de recesión, que viene a ser de dos a seis centímetros por año, correspondiente aproximadamente a la de la corriente inferior del manto que las arrastra. La coincidencia observada es bastante buena y sus volcanes son también indicadores del mismo proceso: el máximo de actividad correspondería naturalmente a las islas situadas sobre la misma grieta, como es el caso de Tristán de Acuña; irá disminuyendo en las menos próximas y estarán apagados en las lejanas; así es, en efecto, y nótese bien que en archipiélagos indepen-

dientes de dicha cresta, como el de las Hawai, no se observa esa diferencia sistemática, porque allí el aflujo de lava no procede de una línea de fractura, sino sencillamente sube por vía natural del manto, abriéndose camino a través de la corteza.

La naturaleza y caracteres de las ramas laterales de las crestas oceánicas, que nacen de ellas perpendicularmente a su eje, coincide también con esta hipótesis: faltan en ellas los sismos propios de tal formación y tienen una estructura diversa, como si se tratase de una especie de huella dejada en el fondo marino por las masas continentales en su desplazamiento, que en realidad no es sino una consecuencia natural del aumento de volumen global, que separa unos de otros los continentes al modo que ocurre en las figuras pintadas sobre un globo de goma que se hincha.

La clave antártica

En este territorio helado, donde sólo ha habido habitantes en época recentísima, se están hallando y se espera hallar nuevos y valiosos argumentos relativos al problema de los movimientos continentales, así de acreción como de traslación o deriva, de cualquier modo que queramos entender esta palabra. Las primeras expediciones que a principios de este siglo desembarcaron en ella, quedaron admiradas al encontrar allí huellas fósiles de plantas y animales que en un tiempo abundaban en este país de desolación inhóspito y desierto, hasta el punto de que Charles Hedley escribía en 1912 y con estilo algo lírico sobre "murmuradores arroyos, aves canoras y florecimiento vegetal con frondosas selvas en el mismo corazón de la Antártida"; porque, en efecto, ya desde entonces

aparecieron indicios manifiestos de un clima templado en el que hubo extraordinario vigor y pujanza vitales: en otras palabras, que ese continente polar estuvo un tiempo en una zona templada y tropical.

Los datos hasta ahora recogidos y que se espera recoger acerca del "continente blanco" proceden, en primer lugar, del examen directo en las escasas zonas que afloran entre la mole helada, y mucho más del análisis de los sedimentos marinos que en amplia extensión de 300 a 1.100 kilómetros alrededor de sus costas han depositado durante milenios los grandes témpanos nacidos en sus glaciares. Las primeras recolecciones, laboriosas por la violencia y agitación de esos mares, han proporcionado fósiles altamente significativos, y la conexión, hoy bien establecida entre la antigua flora y fauna antárticas y las de otros continentes del mismo hemisferio resultan de capital importancia para la reconstrucción paleogeográfica y paleoclimatológica mundiales.

Imaginemos una primitiva conjunción de continentes (Pangea = Tierra total) en la que América estuviera unida, al modo antes indicado, a las costas occidentales de Europa y África, y los dos bloques de Australia y Antártida se hallasen acoplados al sur de Asia en el océano Indico; su separación ulterior dejaría su huella en forma de crestas oceánicas, así en el Atlántico como en el Indico: y así parece haberse comprobado hoy; según proponía Suess a fines del siglo pasado, el protocontinente del sur de Asia, al que denominó Gondwanaland (Tierra de Gondwana, región geológica clave de la India centro-oriental) se desmembró, según él, por fuerzas asociadas a la rotación terrestre y se independizaron, dirigiéndose hacia la

posición meridional que ahora ocupan, Australia con Nueva Zelanda y el continente antártico.

La confirmación más espectacular de lo que a primera vista parece fantástico, ha venido de los descubrimientos paleomagnéticos. Se parte de la base geográfica y astronómica, según la cual con diferencias secundarias coinciden aproximadamente los polos geográfico y magnético terrestres, como resultado de la rotación planetaria; las líneas de fuerza del campo magnético que hoy vemos dibujadas sobre el planisferio ejercieron siempre, como lo hacen en la actualidad, su conocida acción sobre los minerales de la corteza, imanándolos permanentemente en el sitio y postura propios de cada yacimiento (*in situ* = en lugar y posición primitivos); por ejemplo, si se trata de emisiones volcánicas, su movimiento y flujo podrán hacerles variar, pero una vez solidificadas se incorporan sólidamente al terreno y no varían.

En innumerables regiones se han hecho estas determinaciones y medidas angulares, y el resultado es en cierto modo desconcertante: esas brújulas naturales, correspondientes a edades remotas, asimismo bien conocidas, apuntan a *Nortes* distintos y nos dicen que hace varios centenares de millones de años el polo Norte se hallaba, por ejemplo, en el centro del Pacífico y el polo Sur en África occidental; por eso resulta tan interesante completar esta clase de datos con las observaciones antárticas, que hasta hace poco faltaban para completar el cuadro.

Las lavas de Islandia permiten asegurar bajo este punto de vista, que en el periodo mioceno (hace unos veinte millones de años) no había desviación apreciable respecto de la dirección actual del magnetismo; pero para otras épocas más remotas las divergencias se hacen cada vez más notables; en

Inglaterra, las rocas de hace 200 millones indican una proximidad de esta región al ecuador y una rotación respecto del eje polar realmente extraordinarias; y así se va complicando el mapa antiguo respecto del moderno hasta unos 600 millones de años (período precámbrico) adonde alcanzan las investigaciones.

Testimonios vivientes

Si como hemos visto, los minerales de todas clases, de dentro y fuera de la Tierra, son capaces de contarnos gran parte de su propia historia, mucho más elocuentes son los seres vivos, cuyos restos se descubren y en los que hallamos descripciones mucho más completas del ambiente en que vivieron. Constituyen sin duda alguna la serie más impresionante de argumentos a favor de la deriva continental y su conjunto, lejos de ser, como pareció antes, piezas inconexas difíciles de acomodar a un plan razonable, se han convertido en piezas, sí, pero de un rompecabezas armónico y soluble, cada vez más claro y convincente.

Parece obvio admitir, como lo hacen los geólogos, que la distribución climatológica terrestre en zonas de diversos caracteres es función del lugar que ocupa en el planeta el eje polar o de rotación, que a su vez rige, no solamente el régimen térmico, sino también el dinámico de las corrientes aéreas y marinas, todo ello íntimamente relacionado con el desarrollo de los seres vivientes. Así en los últimos diez años las muestras de rocas y organismos fósiles han contribuido valiosamente a reconstruir la historia del continente antártico, cuyo suelo viene a ser tan antiguo como la mayor parte de los demás: dataciones radiactivas realizadas en las coli-

nas de Bunger y en la estación de Wilkes por geólogos norteamericanos han dado cifras de más de mil millones de años y algunas rocas cercanas a la de Mirny, estación rusa, unos 1450 millones.

Allí apareció la vida al mismo tiempo que en otras partes del Globo, con la misma sucesión de la fase vegetal, desde las formas acuáticas hasta los grandes árboles; en cuanto a la fauna, aunque más escasa y dispersa, muestra claramente que la región les fue igualmente hospitalaria. En rocas del precámbrico, hacia los 700 millones de años, encontró el geólogo ruso Timofiev esporas microfósiles, y los fósiles grandes más antiguos fueron hallados allí por miembros de la expedición de Shackleton en 1909. De la frondosa vegetación posterior a la glaciación ocurrida entre los períodos devónico y pérmico, el testimonio más elocuente son los ricos yacimientos carboníferos en numerosas capas hasta de cuatro metros de espesor, y en la superficie de estas láminas de carbón mineral aparecen profusamente las hojas del *Glosopteris*, en forma de lengua, especie propia ya del pérmico, que juntamente con otros ejemplares de aquella copiosa flora sugieren un ambiente húmedo y pantanoso: grandes troncos petrificados de más de siete metros de longitud y 60 centímetros de diámetro, con prominentes anillos alternados, que evocan selvas de lluvia abundante en zonas templadas, se encuentran en el seno de masas areniscas; los óxidos de hierro han reemplazado el leño de estos anillos (34 se han contado en un tronco descubierto en terrenos de aluvión).

El carbón de piedra antártico es en su mayor parte de alto grado de carbonización, es decir, antracítico; y nótese que este testimonio vegetal también lo hallamos en el Norte, donde las actuales minas de carbón mineral se extienden hasta el

mismo Spitzberg y arguyen la preexistencia de selvas tropicales; la misma antigua flora de Groenlandia, con sus cipreses propios de tales climas subtropicales, hacen dudar de que el Artico haya sido siempre tan frío como al presente.

Y con esto llegamos al punto álgido de la controversia principal en esta materia: las comunicaciones intercontinentales o puentes biológicos en direcciones muy varias, sin los cuales son inexplicables e inverosímiles ciertas aclimataciones, si no hubo una verdadera emigración geográfica. Con diferentes nombres se hallan avestruces en Africa, Australia y Sudamérica, y en todos ellos, nótese bien, hay los mismos animales parásitos, de los que una larga lista igual para todos, acompaña a esta especie de aves corredoras. ¿Cómo explicar este hecho? ¿Hubo una evolución paralela en el mismo sentido entre ejemplares separados entre sí varios millares de kilómetros? ¿Tenían todos ellos en un tiempo alas que les permitieran atravesar los mares a tan larga distancia, y luego, también de común acuerdo, perdieron semejante facultad de locomoción? Algún biólogo atrevido podría decir que sí, pero los parásitos han dicho que no; para ellos no se encuentra otra solución que la emigración normal y terrestre.

Porque, evidentemente, hay muchos organismos capaces de desplazarse por sí mismos, y otros absolutamente incapaces; la coincidencia de especies entre esos cinco continentes meridionales: India, Africa, Antártida y Sudamérica, es un hecho; y, desde luego, el transporte de semillas por las aves, el viento o el mar, podrían dar razón de la semejanza de plantas; pero nada de esto basta para especies zoológicas endémicas o tan sedentarias, que ni saben nadar, ni siquiera flotar, como son los braquilópodos, en los que la fase de libertad de sus

larvas, nadando o derivando, es cosa de horas o, a lo más, de días, y las profundidades oceánicas que median entre la Antártida y las demás regiones australes constituyen una barrera infranqueable a la dispersión geográfica de tales organismos. De los puentes postulados por algunos autores no aparecen vestigios, a pesar de las modernas y completas exploraciones de fondos submarinos; y en cuanto a su afloración temporal, seguida de hundimiento sin dejar rastro, es algo mucho más difícil de realizar y admitir que la misma deriva continental.

Un caso crítico a este propósito es el de los corales, anclados, naturalmente, a un lugar fijo y de una sensibilidad extraordinaria a las condiciones climatológicas del medio ambiente; su lugar propio es la zona tropical comprendida entre Cáncer y Capricornio, y crecen uniformemente a un ritmo anual bien conocido; en las márgenes de esa zona su proliferación es ininterrumpida y marcan ese proceso mediante bandas apreciables en sus esqueletos, cada una de las cuales corresponde a un año, al modo de los anillos de los árboles. Su distribución geográfica ha sido determinada para cada uno de los períodos geológicos, y si los resultados se llevan a un globo terrestre, nos dicen que el ecuador, en el período silúrico, pasaba por los polos de hoy, y el polo Norte de entonces estaba, como queda dicho, en medio del Pacífico, en buen acuerdo con la distribución de la flora en el carbonífero superior: todo ello implica un giro relativo de 70 a 80 grados en el eje de rotación. Como se ve, los argumentos son abrumadores.

Hechos y teorías

Es evidente que cuando un hecho se comprueba con toda certeza, las teorías opuestas a él caen automáticamente por su base, ya que las hipótesis o teorías se edifican precisamente para dar explicaciones de lo observado; hay veces en que la mutua conexión entre ambas cosas no es tan clara en algún caso particular, y entonces puede ocurrir que si no las comprobaciones aisladas, la abundancia de ellas llega a suplir la evidencia ausente, porque constituye una especie de certeza moral aceptable.

Hay a lo largo del Glen Major, en las montañas de Caledonia, una gran falla muy antigua, que bisecta a Escocia; y al otro lado del Atlántico está la falla de Cabot, más propiamente una serie de ellas, que van desde Boston hasta el norte de Terranova, de una antigüedad igual a la escocesa y, sobre todo, ambas muy anteriores a la cresta central atlántica, que se halla en medio de ellas: todo ello perfectamente comprobado, aun antes que los novísimos métodos de exploración submarina aportasen datos a este propósito, ya que esa cresta aflora y divide por medio a Islandia, donde se ha podido determinar y medir todo cómodamente. La deducción obvia es que hubo un tiempo en que ambas fallas eran una sola y fueron divididas al separarse los continentes; el mismo Wegener creía que Groenlandia, donde precisamente murió él en 1930, había sido arrancada de la isla de Ellesmere, situada en el Artico canadiense, en virtud de un desplazamiento lateral a lo largo del canal de Robeson; investigaciones posteriores realizadas en el Canadá han comprobado que, en efecto, en esa costa hay fallas que corroboran la hipótesis.

Dos son las teorías más frecuentemente admiti-

das acerca del origen y evolución de los continentes: en una de ellas se postula una delgada capa granítica formada muy a los principios de la historia terrestre durante una diferenciación rápida de las tres capas fundamentales, núcleo, manto y corteza, seguida de una disgregación en diversas masas continentales, migraciones de las mismas, deformaciones por abultamientos centrales (pandeos), ciclos de erosión, sedimentación y vulcanismo, etc..., es decir, adiciones y sustracciones en cuanto a la proporción entre tierra y mar, así como elevaciones y depresiones que significan prácticamente lo mismo, con la diferencia de que en este caso no hay traslación, sino solamente emersión o hundimiento sin variar la posición geográfica.

La otra defiende una diferenciación primordial menos completa en protonúcleo, protomanto y corteza oceánica basáltica, de modo que los continentes se habrían formado secundariamente, a lo largo de las eras geológicas, por continuas diferenciaciones terrestres, y las fuentes de energía para éstos y los siguientes procesos serían de orden gravitacional y térmico, este último debido a desintegraciones radiactivas, especialmente en los núcleos atómicos de vida corta.

En la actualidad nos encontramos con un hecho, no teoría, de ciertas diferencias de tipos corticales: el oceánico, denso y delgado, y el continental, más liviano y grueso, con un término medio representado por los llamados arcos insulares, que, frecuentemente, aunque no siempre, marcan la frontera de transición entre ambas formaciones. Es obvio que el análisis cronométrico será un valioso auxiliar en la determinación de las sucesivas fases de evolución; y es de notar que aunque los más antiguos sectores continentales se remontan por lo menos a 2.500 a 3.000 millones de años, apenas

sabemos nada de la historia de la corteza situada bajo los mares en fechas anteriores al cretácico (cien millones); de suerte que ésa no es, en manera alguna, la edad de la corteza misma, sino de los sedimentos obtenidos en montañas submarinas que se elevan sobre el fondo; el basalto más antiguo conocido hoy es de unos 50 millones, y esta ignorancia es la razón de ser del grave problema logístico de la investigación oceanográfica, base evidente del estudio de la evolución cortical; en términos vulgares, es cosa útil, pero cara.

Podemos decir de cada región del Globo lo que antes se dijo de los meteoritos y minerales en general: que llevan escrita la fecha de fabricación, y si, por ejemplo, se trata de un terreno volcánico, nos da la época de una erupción de la que acaso no han quedado huellas visibles, ahogadas por una erosión posterior. Recientemente se ha hecho un benemérito e interesante estudio sobre el proceso de formación del continente norteamericano que comprende las sucesivas fases de acreción y diferenciación, desde una corteza y un manto basálticos y máficos (es decir, con predominio de magnesio y de hierro); tres clases de datos se ofrecen al geólogo bajo este punto de vista: la impresionante analogía entre los complejos rocosos de la región central, que podríamos llamar tierra firme por antonomasia, y las rocas de los arcos de islas, que parecen esencialmente marítimas; la diferenciación progresiva y secular de rocas ígneas y sedimentarias con caracteres escalonados, desde los marcadamente oceánicos hasta los propiamente continentales, y, por último, la estructura crudamente zonal de las formaciones continentales en cuanto a las etapas sucesivas de la evolución granítica.

Semejantes vicisitudes de la movilidad cortical,

que demuestran haber sido mar lo que hoy es tierra, y viceversa, ocurre, desde luego, en todas partes, pero aquí la investigación realizada lo pone especialmente de manifiesto en cuanto a múltiples pormenores; este trabajo hecho por el geólogo Engel va acompañado de varios mapas donde con facilidad se aprecian semejantes resultados. Ante todo hay una evidente disminución de edad a partir del centro de Norteamérica hacia la periferia, de suerte que aquél viene a ser unas seis veces más antiguo que ésta, donde además se incluye Groenlandia, con la particularidad de que precisamente las regiones centrales más antiguas presentan los caracteres propios de los arcos de islas y márgenes continentales tales como los vemos en otras partes de la Tierra, y las porciones más jóvenes coinciden en esto con las de tipo oceánico y continental; como si esta acreción continua en épocas cada vez más recientes hubiera estado dominada por contribuciones del continente granítico en expansión: fenómeno que en cierto modo prosigue en la actualidad, como se aprecia en el golfo de Méjico, Baja California y otras áreas.

Es inevitable relacionar esta desconcertante comprobación con la deriva continental; si Norteamérica se desgajó de Europa y Africa hace unos doscientos millones de años, cabría esperar un crecimiento por acreción predominantemente unidireccional de Este a Oeste, porque, de otro modo, los cinturones montañosos de Grenville y de los Apalaches tendrían que haber evolucionado en el seno del continente antes de la separación. Hay, desde luego, ejemplos de tal acreción unidireccional en el complejo Australia-Antártida-Sudamérica, hasta el punto de que los geólogos se atreven a postular una emigración de tales plegamientos gigantescos con todas sus dificultades lógicas; como



INSTITUTO ANDALUZ DE GEOFISICA
Y PREVENCION DE DESASTRES SISMICOS

BIBLIOTECA

se ve, el problema es arduo y fuera del hecho fundamental indudable, los pormenores quedan oscuros.

Sin salir de los factores estrictamente locales y norteamericanos, es oportuno citar en este lugar un trabajo de Cook acerca de las tensiones debidas al crecimiento y flujo sucesivos de un pesado casquete de hielos sobre la corteza subyacente; ha calculado que una masa de 300.000 billones (18 cifras) de toneladas con un diámetro de 3.000 kilómetros es capaz de disgregar y romper en fragmentos un supercontinente primitivo como la hipotética Pangea, donde se daban cita todas las partes sólidas del planeta; ahora bien, ha habido casquetes de esas características, por ejemplo, en el Wisconsin, y según varios autores, la presunta ruptura de la Pangea pasaba a través del área central de un gran casquete polar, zona que podría haberse deslizado pendiente abajo hacia el Artico y el Atlántico, al menos en el sector del Canadá hacia el Noroeste, lo que sugiere la no existencia de esos océanos durante la permanencia estable de la gran masa helada; igualmente, las zonas de depresión canadiense y escandinava manifiestan un notable relieve cortical, característico de una repentina denudación, mucho más rápida que si se debiera simplemente a la liquefacción del hielo después de la glaciación, pero, en cambio, bien armonizable con una repentina desaparición de orden mecánico.

Aunque se admite comúnmente que la cuenca polar ártica no existía en la era paleozóica, sino que es de evolución mucho más reciente, sus orígenes permanecen también oscuros; un estudio "sobre el terreno" llevado a cabo por Ned Ostenso bajo los auspicios de la Universidad de Wisconsin, le ha llevado a la conclusión de que aquella gran masa helada de aguas no es propiamente un océa-

no, sino cuatro diferentes; porque, en efecto, hay en ella cuatro secciones distintas y separadas, cada una con la estructura cortical propia de los océanos, rodeadas de márgenes en que aparecen bien diferenciadas las estructuras características continentales. Se halla el Artico precisamente en el centro del hemisferio en que predomina la tierra firme, por oposición al hemisferio marítimo opuesto, y semejante situación ha dado lugar a especulaciones que consideran a la cuenca total cuádruple, como una porción del primitivo continente global, hundido a principios del paleozoico, como el Wisconsin, que también estuvo un tiempo anegado por mares poco profundos.

CAPÍTULO III

CIMIENTOS INSEGUROS

Entre todos los movimientos de la corteza terrestre, el más conocido es, sin duda, el terremoto, cuyo nombre podría en rigor aplicarse a los demás si el uso no lo hubiera reservado para esa agitación del suelo por antonomasia; desde la más remota antigüedad se ha hablado y escrito acerca de él, como de las restantes plagas de origen cósmico que azotan a la Humanidad. Es relativamente reciente su estudio científico, y lo es mucho más su investigación por métodos de depurada técnica y con recursos de que no se disponía sino hace pocos años; y todavía podemos añadir que las técnicas novísimas son cosa de ayer y aun de hoy. No es, pues, de extrañar, que las ideas del vulgo en esta materia hayan tardado en evolucionar y todavía se resientan de apreciaciones erróneas de tiempos pasados.

Uno de los procedimientos de auscultación usado por los médicos consiste en aplicar el oído, generalmente con ayuda del estetoscopio, a un lado del pecho del enfermo, mientras en el lado opues-

to se dan golpecitos secos con los dedos; para un oído experimentado, el modo diferente de transmitirse el sonido a través de la caja torácica es indicio valioso del estado normal o anormal de su interior. Sustancialmente a esto se reduce el fundamento de la sismología en sus múltiples aplicaciones; son ya tantas el día de hoy, que para clasificarlas se ha llegado a la redundancia de llamar sismología de terremotos a lo que hasta hace poco era la única razón de ser de esta ciencia; pero ya existen otras muchas sismologías que justifican la variedad de nomenclaturas.

Trenes de ondas

En la auscultación del globo terrestre o parte de él, tal como la practica la sismología, los golpecitos (frecuentemente, por desgracia, sin diminutivo alguno) están a cargo del terremoto, natural o artificial, y el estetoscopio es el sismógrafo en sus diversas formas y tamaños, desde aquellos cuya masa se mide por toneladas hasta los más delicados, en que se mide por gramos; a todos se exige la máxima sensibilidad, capaz de registrar movimientos del suelo de una fracción de milésima de milímetro de amplitud; en cuanto a la potencia amplificadora, en unos conviene moderarla y en otros forzarla, según los fines a que se destinan, y en este punto los modernos sistemas electrónicos permiten forzar el aumento hasta escribirlos con seis o más cifras, de modo que, prácticamente, el límite no existe.

Una sacudida (que eso significa literalmente la palabra griega *seismós*) provocada por causas muy diversas, como veremos más adelante, en el seno de materiales elásticos o, al menos, físicamente con-

ductores de impulsos ritmicos, da lugar a ondas de varias clases, que se propagan a través de medios conductores de caracteres diferentes, desde las mayores profundidades del núcleo hasta la superficie exterior, al modo de las engendradas en un estanque cuando en él se arroja una piedra. Por esa diversidad de condiciones físicas, la velocidad de transmisión es también diferente: unas viajan más aprisa y otras más despacio, y también se reflejan o refractan de muchas maneras.

Vienen a ser como trenes que salieran al mismo tiempo de una hipotética estación: talgos, expresos, correos, mercancías, que además siguieran rutas distintas para luego confluír en una misma estación de llegada. De aquí que a menudo una sacudida violenta del subsuelo, que acaso fue instantánea, se registre en un observatorio geofísico lejano a lo largo de varias horas, a medida que van llegando esos trenes, en forma de ondulaciones de periodos rápidos y lentos, de amplitud mayor o menor, que constituyen el sismograma.

Un caso especial y casi excepcional ocurrió con el violentísimo terremoto que en 1960 asoló la región meridional de Chile; para entonces funcionaban ya unos sismógrafos especialmente acomodados al registro de periodos lentísimos, destinados a captar las ondas superficiales, que en casos como éste no sólo aportan datos interesantes sobre el modo de comportarse la corteza vibrante a lo largo del recorrido desde el foco sísmico a la estación registradora, sino que después de llegar a ésta, continúan su propagación y se vuelven a registrar después de dar una o varias vueltas a la Tierra. Las gráficas a que nos vamos a referir se obtuvieron al norte de los Estados Unidos.

A juzgar por el análisis de tales ondas desmesuradamente largas, hasta cuatrocientos segundos

de período (más de seis minutos y medio entre onda y onda), se pudo comprobar que, en realidad, había entrado en vibración todo el globo terrestre, al modo de una campana, y había experimentado tres clases de oscilación: la denominada esferoidal, en que la Tierra se comporta como si hubiera sido sucesivamente estrujada y aflojada por un gigante, cuyas manos se apoyaran en los polos; la torsional, en que el gigante hiciese girar sus manos en direcciones opuestas, y la radial, que consistiría en dilataciones y contracciones uniformes de todo el conjunto. El registro de semejantes vibraciones duró largas horas (cosa que, por lo demás, no es rara en terremotos violentos), al cabo de las cuales seguían llegando nuevos trenes de ondas con un retraso considerable, aunque, desde luego, plenamente justificado.

Se comprende que el estudio de las características de las ondas sísmicas registradas constituyen un material científico de gran valor para deducir, como se han deducido en estos últimos años, importantes conclusiones acerca de la estructura interna de la corteza, manto y núcleo terrestres; son una especie de Rayos X capaces de penetrar en las capas profundas directamente inaccesibles, e incluso revelar algo del misterio, que todavía lo es parcialmente, de cómo se producen y a qué leyes están sujetos los movimientos internos de la Tierra.

Desde los principios de la sismología ya era relativamente fácil determinar sobre el mapa la situación geográfica del foco original; bastaba comparar los registros de varios observatorios distantes entre sí en la debida proporción, y como el tiempo que separa la llegada de cada clase de ondas está matemáticamente relacionado con la distancia respectiva foco-estación, un sencillo cálculo de

trigonometría esférica permitía resolver el problema; más aún, y esto ya es algo más reciente, en virtud de otros cálculos semejantes, cuya explicación completa no es de este lugar, las reflexiones experimentadas por el rayo sísmico en planos de discontinuidad internos y su expresión gráfica en el registro, permiten también determinar a qué profundidad bajo el nivel de la superficie se ha producido el movimiento.

Un ejemplo declara bien la importancia de este dato: hace un par de años se registró en todas las estaciones dotadas de aparatos modernos un terremoto de los que por esta razón se denominan mundiales, puesto que prácticamente se hacen sentir en todo el globo terrestre, a causa de la enorme energía desarrollada, capaz de propagarse hasta sus antípodas. El foco se hallaba bajo el suelo de Granada y bajo el macizo montañoso de la Sierra Nevada. Sin embargo, los habitantes de esta ciudad, incluido el que esto escribe, no se dieron apenas cuenta de nada, con la natural excepción de los sismógrafos del observatorio. La razón es muy sencilla: aunque el epicentro (proyección vertical a partir del foco) fuese Granada, la profundidad a que actuaron aquellas grandes energías era de 650 kilómetros y el espesor intermedio absorbió, evidentemente, y amortiguó hasta casi anularlas las ondas que venían de abajo. Geográficamente venía a ser como si sólo hubiesen llegado hasta nosotros las ondas procedentes de un terremoto de Navarra.

En cambio, con poca diferencia de años, ha habido a pocos kilómetros de esta capital sacudidas sísmicas destructoras en algún pueblo inmediato, de las que únicamente registraron ondas los aparatos relativamente cercanos. Tal es la distinción entre la *magnitud* o desarrollo efectivo de ener-

gia y la *intensidad* de sus efectos superficiales; en el primer caso fue grande la magnitud y pequeña la intensidad, y al revés en el segundo. Por cierto que, como circunstancia curiosa, es de notar que el gran terremoto profundo se sintió un poco más en el norte de Marruecos que en el epicentro geográfico: caprichos de transmisión desigual a lo largo de un recorrido de varios centenares de kilómetros a través del manto y corteza terrestres.

Anormalidades

Usamos aquí este término en sentido amplio; para que haya anomalía es preciso que antes se establezca una norma o ley a que no obedezca lo anormal. En el común sentir se considera terremoto ordinario el que se limita a agitar el suelo con mayor o menor violencia y bajo el aspecto práctico, a comprometer la solidez de los edificios, cuyos cimientos participan forzosamente de ese movimiento; todo lo que no sea esto se considera, y no sin motivo, como algo extraordinario, y si a ello se añade lo que la imaginación perturbada añade por su cuenta, la anomalía puede exceder todo límite.

El estudio serio de esta clase de fenómenos exige una depurada crítica al recoger testimonios y datos concretos de los testigos presenciales, lo que unido a comprobaciones posteriores sobre el terreno, completan el cuadro, frecuentemente extraño y misterioso de los efectos producidos, no solamente en los edificios y demás obras humanas, sino también en la topografía natural. Afortunadamente, muchos de los terremotos violentos o tienen su origen a grandes e inofensivas profundidades, o si son superficiales, no coinciden precisamente con

LA TIERRA AGITADA.—4

INSTITUTO ANDALUZ DE GEOFIS
BIBLIOTECA

regiones densamente pobladas; pero sabemos muy bien que hay excepciones de esta norma, dictada solamente por nuestro buen deseo.

El 15 de agosto de 1950 ocurrió uno de estos casos en el límite SE. del Tibet, junto a las fronteras de la India y la China, que alcanzó, como el de Chile, el máximo de magnitud y también de intensidad; se trata de la región más poblada y productiva del país, lo que no es decir mucho, atendidas las precarias condiciones de vida en lo que se suele llamar "el techo del mundo", a causa de su gran altitud. Aviones militares hicieron reconocimientos a raíz de la catástrofe y se habló de emersión o hundimiento de enormes montañas inmediatas; las pérdidas materiales se evaluaron en diez millones de rupias, y en dos mil los edificios destruidos en la provincia de Assam, que fue la más afectada. Según informes posteriores de Calcuta, dos pueblos enteros fueron sepultados por corrimientos de tierras, y dos localidades situadas en islas del río Brahmaputra desaparecieron por completo; las aguas de este gran río y de algunos de sus afluentes, que se le unen en las cercanías del epicentro, acrecentaron los daños al ser represadas, primero, y desbordadas, después, dando lugar a grandes inundaciones de agua oscura y pestilente; en varios lugares de la cuenca carbonífera de Assam se produjeron abundantes eyecciones de petróleo, y desde Kohima, a 50 kilómetros del foco, se oyeron fuertes detonaciones dos minutos después de la sacudida principal. A ella siguieron numerosas réplicas, de las que en el observatorio de Cartuja, a 9.050 kilómetros de distancia, se registraron, hasta principios del mes siguiente, no menos de 42.

En el informe oficial procedente de Poona, India, se hablaba de extensos corrimientos de tierras con desprendimientos de grandes masas de rocas, sel-

vas enteras arrancadas de raíz y modificaciones notables en el relieve del terreno; 70 pueblos destruidos y 156 muertos. El dique formado en el valle de Sabansari tardó ocho días en romperse, dando de nuevo curso a las aguas del río con una ola inicial de seis metros de altura que inundó centenares de pueblos: perecieron 532 personas, cuyos cadáveres, juntamente con los de innumerables animales, fueron arrastrados por las aguas.

A estas circunstancias especiales de orden mecánico se unen a veces otras anomalías de carácter acústico y óptico. Entre las primeras se cuentan frecuentemente ruidos sordos parecidos al rodar de carruajes numerosos y lejanos, cuya explicación es relativamente fácil: las ondulaciones que se propagan superficialmente dan lugar a roturas de las rocas situadas en las capas superiores del terreno, y como ello sucede de un modo sucesivo y continuo, se asemejan al producido por vagones o camiones que hicieran sonar el camino por donde pasan. En uno de los sismos granadinos ocurrido durante la noche se pudo apreciar este fenómeno, con la particularidad de que el confuso rumor creciente se oyó poco antes de temblar el suelo: la propagación del sonido era un poco más rápida que la transmisión del movimiento mismo.

El 5 de junio de 1955 tuvo lugar en Sierra Elvira, a unos diez kilómetros al NO. de Granada, un fuerte terremoto de grado 7° en la escala internacional de intensidades en los pueblos cercanos al foco; fue breve y con caracteres de muy superficial. Pero lo más notable es la observación por numerosos testigos situados en parajes bastante apartados entre sí, con entera independencia y garantías de no haber sido víctimas de una alucinación, de un resplandor como de globo de fuego rojo-amarillento, a alguna altura sobre el suelo, y vi-

sible, por tanto, desde lejos; uno de los testigos, persona culta, afirmó haberse iluminado su habitación, cuya ventana estaba abierta, y cuando se asomó a ella sólo quedaba un resplandor débil; otro de ellos vio claramente la luz en el cielo, de la que se desprendían a manera de chispas.

Estos son los hechos; excluido el error personal y otras posibles causas, como cables de alta tensión, inexistentes en aquel lugar, resplandor de incendios, que tampoco hubo, nos hallamos ante un caso parecido al que cita en su tratado de sismología Augusto Sieberg, a propósito de un terremoto centroeuropeo de 1911, del que reproduce un grabado con señales muy semejantes a las enumeradas; la explicación que allí se daba era la emisión de gases, hidrocarburos o hidrosulfuros a causa de la conmoción de las rocas superficiales, y su ulterior incandescencia por efecto de elevadas diferencias de potencial eléctrico, debidas al brusco cambio de nivel en la atmósfera. Es de notar, en confirmación de esta hipótesis, que precisamente en Sierra Elvira existe una fuente de aguas termales sulfatadas que brota a 30° C y surte al balneario situado en el pueblo que toma su nombre de dicha sierra. El autor citado termina advirtiendo con cierto humorismo que en toda la sismología, la parte que trata de esta clase de fenómenos luminosos es, desde luego, la más oscura...

Calumnias sísmicas

Acabamos de citar entre los efectos de la agitación interna del subsuelo, los corrimientos de tierras, y tales hechos han ocurrido recientemente en varios sitios de Europa, con consecuencias desastrosas, sobre todo cuando semejante desplaza-

miento de enormes masas tiene lugar a un embalse, de donde se siguen inundaciones catastróficas; pero no siempre se le puede echar de ello la culpa a un movimiento sísmico. La actual sucesión de montañas y valles suele ser el resultado de una labor ultramilenaria de erosión que con el arrastre de las aguas ha ido royendo la tierra y ha abierto esas fosas que precisamente se suelen aprovechar para represar las aguas y utilizarlas así para el riego y la producción de energía eléctrica.

Lo que primitivamente fue una meseta o llanura con escaso desnivel y ahora está surcada por profundas depresiones, estaba formada por capas de sedimentos de diferente composición; todo estaba quieto y equilibrado, asentado sobre tales estratos horizontales. Al perder la continuidad y al producirse plegamiento, algunas de esas capas pierden la horizontalidad, como vemos frecuentemente desde la ventanilla del tren al pasar por sitios donde se ha alterado en tiempos pasados el primitivo equilibrio; y si una porción de montaña así perturbada tiene por cimientos terrenos donde se acumula el agua de lluvia, como ocurre especialmente con los arcillosos, tendremos una gran mole descansando sobre cimientos móviles y resbaladizos: no se necesita terremoto alguno para que llegue el día en que el peso que gravita sobre ellos haga deslizarse la montaña hacia abajo.

Así ha ocurrido con lamentable frecuencia en todos los tiempos; hace unos cuarenta años se comentó en Granada uno de estos corrimientos, afortunadamente sin daños personales, aunque sí con pérdidas materiales, en las estribaciones de Sierra Nevada y pueblo de Monachil, donde con admiración de las gentes "un monte echó a andar" trastornando los límites de propiedades rurales y arrasando campos cultivados. En uno de los reciente-

mente ocurridos en Italia se hizo constar que varios días antes habían comenzado los desplazamientos, indicio evidente de que la base de sustentación de la porción desgajada más tarde empezaba ya a ceder.

Ha habido catástrofes, como el gran terremoto de Tokio del 1 de septiembre de 1923, en que las 300.000 víctimas humanas no se debieron apuntar en la cuenta sísmica; hubo otros factores mucho más culpables: los innumerables incendios provocados por lámparas y hornillos de petróleo hallaron fácil presa en edificios contruidos con madera y provistos de tabiques de papel, a lo que se añadió la fatalidad de un violento huracán que avivó naturalmente las llamas; sin él la liviandad de aquellos materiales de construcción hubiera sido la mejor defensa contra los efectos ordinarios de un sismo que destruye una ciudad. A este propósito se recordó lo sucedido antes en el terremoto de San Francisco de 1906, donde un edificio de varias plantas, en cuyo piso inferior había nada menos que un depósito de gasolina, resistió perfectamente al movimiento del suelo y al incendio, por haber funcionado satisfactoriamente las compuertas divisorias destinadas a lograr un aislamiento adecuado para tales casos.

Otro aliado del movimiento sísmico han sido y siguen siendo los arquitectos, maestros de obras y albañiles de pasadas generaciones, cuya culpabilidad han hecho patente los desastres actuales: en el de Messina de 1908 se mantuvieron en pie, en un equilibrio inverosímil, los muros de casas de muchos pisos, señal evidente de que la agitación del suelo no fue relativamente grande; pero los techos se desplomaron como los tubos de un antejo, por estar las vigas, como pudo comprobarse, deficiientemente ajustadas en las paredes maestras.

Fotografías publicadas en la Prensa con ocasión de otros casos parecidos mostraban enormes montones de ladrillos intactos, que se había separado fácilmente unos de otros, por haber estado precariamente unidos con mortero de mala calidad. Hace pocos años en el sur del Irán y localidad de Lar hubo que lamentar por esta causa la destrucción de doscientas casas y quinientos muertos con varios millares de heridos, a pesar de que la población era sólo de unos catorce mil agricultores; allí los muros eran gruesos, de ladrillos sin cocer y unidos con un mortero terroso, coronados por pesados techos, que al hundirse sepultaron materialmente a tantas víctimas bajo grandes montones de escombros, que además obstruyeron las calles, demasiado estrechas. A ello hay que añadir todavía lo movedizo del terreno en que estaba edificado el barrio más dañado, pues otros edificios resistieron bien las sacudidas por asentarse sobre suelo rocoso. Cuando a fines del siglo pasado fue destruida la ciudad de Alhama de Granada, situada en región de alta sismicidad, el nuevo emplazamiento se escogió convenientemente, y a pesar de que no han faltado desde entonces movimientos sísmicos, no ha sufrido ya sus efectos.

Huyendo del peligro

Lo que espontáneamente hace la gente al sentir un temblor de tierra, que es salir de sus casas para evitar que se desplomen sobre sus habitantes, viene a ser el remedio obvio, a falta de un pronóstico seguro de lo que va a pasar, cosa imposible hoy, como veremos más adelante; esto se puede hacer a escala diferente, mayor o menor, y siempre el fundamento es el mismo: conocer que un terreno

es peligroso, propenso a esta clase de riesgos para los edificios que en él se levantan. El modelo más acabado de esta ciencia lo tenemos en no pocas ciudades del Japón, donde el precio de los solares para edificar se cotiza con arreglo a esa propensión, perfectamente estudiada geológicamente y confirmada por la estadística y experiencia de muchos años.

A escala mundial es fácil esta apreciación: todos los años se suelen publicar mapas generales donde se marcan las posiciones geográficas de los focos sísmicos activos; apenas hay diferencia de un año a otro: las series de sacudidas, sus magnitudes y caracteres se repiten infaliblemente, lo que denota un proceso constante a través del tiempo. Se dibujan así sobre el planisferio unas cuantas zonas, de ordinario extensas, de sismicidad definitivamente elevada, a pesar de lo cual a nadie se le ocurre huir de ellas, entre otras razones por la imposibilidad de hallar sitio donde refugiarse cuando se trata de todo un país; además hay otros recursos suficientes para vivir tranquilos, al menos dentro de ciertos límites razonables. Un ejemplo varias veces repetido hasta nuestros mismos días lo tenemos en las islas volcánicas que a veces obligan a una emigración masiva, pero que casi siempre termina en un regreso más o menos diferido; porque a los motivos afectivos de volver al lugar donde se ha nacido se une con frecuencia otro muy poderoso: muchas tierras de formación volcánica son prodigiosamente feraces y ricas para la agricultura...

Cosa diferente es la elección particular del sitio donde con más seguridad se deba edificar un pueblo, como acabamos de ver respecto de Alhama, o en concreto la casa, como en el Japón. Para este fin se hacen hoy en diversos países, incluida Es-

pañía, estudios de los terrenos, teniendo en cuenta la actividad sísmica normal y probable, según se deduce de su estructura e historia; es lo que se llama hoy regionalización sísmica, que si se refiere a localidades muy restringidas constituye la microrregionalización: la aplicación práctica y utilidad de tales estudios son evidentes, así en el campo teórico de la geología como en el práctico de la ingeniería, arquitectura y hasta primas de seguros contra daños materiales y personales.

Varios son los criterios usados en la confección de esos mapas. El histórico y estadístico se funda en el conocimiento de las informaciones escritas u orales de los habitantes pasados y presentes; tal fuente de información es útil y completamente necesaria, pero no es aplicable fructuosamente sin el complemento de los demás criterios que se mencionan a continuación. Porque, en primer lugar, está forzosamente restringida a los sitios entonces poblados y se corre el riesgo de dar por comarcas firmes y seguras aquellas de las que no hay datos catastróficos: semejante argumento negativo puede ser falso o nulo, y al extenderse más tarde los núcleos de población a esas regiones antes des pobladas, aparecerá el peligro antes ignorado o insospechado; en este sentido la regionalización hecha en la URSS en 1947 sobre tal base y criterio fue severamente impugnada por los mismos geólogos rusos algunos años más tarde; por razones parecidas, el llamado mapa de probabilidad sísmica de los Estados Unidos preparado en 1948 hubo de ser oficialmente retirado como "sujeto a malas interpretaciones y demasiado general para satisfacer las exigencias de muchos de los usuarios", a pesar de lo cual, para ciertos fines sigue prestando útiles servicios.

Leyendo hoy los informes antiguos es fácil apre-

ciar la imperfección natural, debida unas veces a la ignorancia geofísica de aquellos tiempos o a diversos factores de índole personal, psicológica, etcétera..., al ser enjuiciados los hechos en cuanto al proceso del fenómeno sísmico, sus efectos y relación con otras causas: por ejemplo, con ocasión del megasismo de Lisboa de 1775, sentido fuertemente en toda la Península Ibérica, se deducirían fácilmente consecuencias falsas acerca de la sísmicidad de regiones españolas donde consta ser prácticamente nula la actividad tectónica, pero que entonces participaron por mera transmisión del movimiento cuyo origen se encontraba muy alejado.

La estadística propiamente dicha, antigua o moderna, es desde luego muy valiosa, aunque también debe someterse a una sana crítica; en sismología son bastante frecuentes los casos en que el ritmo es caprichoso en cuanto a las grandes secudidas, y sólo ofrece garantías en las de menor intensidad, precisamente las que tienen menor interés práctico; más aún: el ser tan frecuentes estos terremotos pequeños puede falsear la impresión de que la comarca es altamente sísmica, no siéndolo en realidad tanto como otras de menor coeficiente de frecuencia, sobre todo si esta última se debe a una causa extrínseca, como suele ocurrir cuando muy cerca de ella hay una estación sismológica que "no deja pasar ni uno" de los pequeños sismos ocurientes; el sentido común nos dice que en esta materia no es aplicable el criterio de la mayoría...

El criterio geológico es sin duda el más importante de todos, pues no se limita al estudio de las estructuras superficiales, sino también a las internas y profundas, reveladas unas veces directamente por los plegamientos y fallas aparentes, y otras indirectamente, deduciendo la existencia de líneas sismotectónicas de fractura por la alineación

ción sistemática de focos sísmicos. A igualdad de otras causas se ha establecido en algunas regiones una especie de equivalencia entre grados de intensidad y formaciones geológicas: se asignan los grados máximos a los aluviones cuaternarios y y dunas arenosas; a continuación vienen, con diferencia no muy acentuada, las terrazas cuaternarias; con un grado menos figuran los terrenos terciarios y otro grado más abajo los sedimentos mesozoicos y las rocas ígneas.

La experiencia confirma esta gradación general, fundada en el hecho de que los terrenos sueltos amplifican en cierto modo el movimiento de las capas subyacentes, al modo que en el conocido experimento de física acústica, cuando una placa vibrante lo hace con amplitud moderada, los granos de arena esparcidos sobre ella saltan a gran altura. Y nótese la anomalía de que si esto ocurre en la propagación vertical del movimiento que viene de abajo, sucede lo contrario respecto del horizontal cuando el foco es muy superficial: un ejemplo claro ofrece la vega de Granada, formada en sus capas someras por los aluviones del Genil. Al trazar las líneas isosistas (que encierran las áreas de igual intensidad) en terremotos violentos ocurridos en pueblos cercanos, se comprobó que esas líneas quedaban muy cerca unas de otras, indicio manifestó de que a pequeñas distancias se amortiguaba el movimiento, absorbido por esos terrenos flojos.

Se ha de tener en cuenta que las condiciones estrictamente geológicas están en función de las geográficas: un terreno geológicamente firme, conforme al criterio arriba expuesto, puede estar sujeto a fuertes sacudidas a causa de su proximidad a regiones menos favorecidas y de sismicidad más acusada. Por razones obvias el emplazamiento de

grandes núcleos de población, antiguos y modernos, suele estar a orillas del mar o de los ríos, en valles fértiles donde se han acumulado las aportaciones de montañas vecinas, etc...; entre tales suelos movedizos y los inmediatos, pertenecientes a macizos firmes, hay una discontinuidad o transición brusca de intensidades, como ocurre precisamente en la citada vega granadina respecto del borde donde comienza el mioceno situado a partir del límite oriental (sobre cuyas calizas tortonienenses está edificado el observatorio de Cartuja) y donde se sienten las sacudidas un grado menos intensas que en la ciudad misma, construida en el borde oriental de la vega.

Cuando faltan los testimonios directos hay que contentarse con los instrumentales, procedentes de los sismógrafos, y a pesar de la fidelidad de semejantes testigos, en quienes no cabe exageración, por carecer de imaginación, hay, sin embargo, una circunstancia importante que tener en cuenta: la duración de la sacudida principal, dato no siempre fácil de deducir en la gráfica. Porque entre una sacudida violenta, pero muy breve, y otra menor más prolongada, la diferencia es notable en cuanto a los efectos sobre los edificios: éstos son capaces de resistir un fuerte golpe, pero no una serie de ellos, cada uno de los cuales halla, por así decirlo, preparado el terreno por los anteriores, como es evidente.

El mejor remedio

Hay otros criterios para calificar y graduar el peligro sísmico y son los que se fundan en los daños materiales y número de víctimas humanas; semejante norma ofrece graves inconvenientes, y lejos

de ser objetiva, puede inducir a errores, porque hay múltiples factores completamente ajenos a la verdadera sismicidad del suelo, que hacen variar mucho tales datos. Las costumbres de los habitantes, la hora del día o de la noche en que se produce un terremoto, la disposición misma de las casas, prescindiendo de su solidez, como queda expuesto en ejemplos anteriores. Exactamente al mismo tiempo de escribirse este capítulo ocurrió en Granada una breve sacudida sísmica a las diez y cuarto de la noche, de intensidad más bien moderada, pero que en *una sola casa* de la ciudad produjo algún daño, que alarmó a sus habitantes; llamados los bomberos y reconocido el desperfecto, apreciaron tales signos de peligro que urgieron a los inquilinos a abandonar el inmueble a toda prisa: y en efecto, *una hora después* se hundió todo el edificio, afortunadamente un momento después de desalojado.

Nuevamente se plantea el problema de la responsabilidad, que en el presente caso es difícil achacar totalmente al terremoto, teniendo en cuenta que solamente lo sintieron algunas personas en los pisos altos y sin daño serio en todo el resto de los edificios de Granada. De aquí se deduce cuál ha de ser el verdadero y acaso único remedio eficaz en esta materia: la arquitectura llamada antisísmica, en la que se han hecho progresos alentadores y que promete dar excelentes resultados.

Consiste sustancialmente en adoptar, incluso urgiendo los gobiernos su aplicación, normas dictadas por dos clases de estudios complementarios: uno consiste en el análisis mecánico del movimiento del suelo en sus varias formas posibles, y en concreto, las más frecuentes, propias de cada localidad; otro, la adaptación oportuna de las estructuras a esa clase de pruebas a que pueden estar

sometidas, de modo que resistan sin daño de personas y bienes materiales.

Hay, desde luego, soluciones sencillas, aunque impracticables, cuales son los edificios ligeros y de escasa altura: más bien que resolver el problema, lo que así se hace es suprimirlo, y necesariamente ha de haber siempre núcleos densos de población que exigen lo contrario, máxime teniendo en cuenta que más de una vez una casa de muchos pisos ha salido triunfante de las más duras pruebas de este género. La solución verdadera consiste en disponer de tal modo el complejo arquitectónico que sea capaz de moverse sin romperse, y además, que se prevengan con igual eficacia los riesgos que unas veces son anejos y otras independientes del movimiento del suelo, entre ellos principalmente el de incendio.

Una comisión internacional organizada por la UNESCO se ha ocupado recientemente del asunto, y en España, asimismo, una comisión interministerial está encargada de asesorar al Gobierno en orden a dictar leyes oportunas: se trata en primer lugar de trazar con todos los pormenores posibles el mapa sísmico del país, ya que naturalmente serán diferentes las exigencias requeridas según la variable sísmicidad de cada región, comarca y localidad; las disposiciones adoptadas tenderán a dar a las viviendas, edificios públicos, embalses y demás obras humanas las dos condiciones en que se pueden sintetizar estas normas: solidez y flexibilidad.

De un arquitecto japonés se cuenta que en dos ocasiones, al tomar con apresuramiento el tren, se le cayeron al andén las maletas; la primera vez se le rompió una con el consiguiente efecto de dispersión de su contenido, que estaba amontonado dentro sin orden alguno; la segunda vez, en que

los objetos estaban bien distribuidos, no se rompió nada. Aquello le hizo reflexionar y aplicar la experiencia a su propio oficio, con tanto éxito que los edificios por él planeados en Tokio resistieron en medio de las ruinas del terremoto de 1923.

A primera vista parece difícil y sobre todo costoso el remedio, ya que exigiría formas complicadas de edificación, novedades no fáciles de introducir y otros inconvenientes de orden económico; la experiencia ha mostrado no ser así. Aunque la reforma se limite a la parte negativa, es decir, a la supresión de elementos arquitectónicos reconocidamente peligrosos, ya se reduciría mucho el peligro, que queda fácilmente reducido a un mínimo con alteraciones pequeñas en la disposición de las partes y trabazón mutua, por no decir nada del evidente influjo que tiene la solidez y sólida conexión de ladrillos, sillería, aceros, etc..., entre sí.

En casos especiales se requieren, en efecto, medidas costosas, pero necesarias: en las conducciones de aguas y de energía eléctrica de grandes ciudades, puede suceder, como es el caso en California, que hayan de atravesar forzosamente no ya una región de alta sismicidad, sino una falla o discontinuidad tectónicamente activa (la falla de San Andrés, que recorre California de Norte a Sur); entonces es imperativo el uso de artificios que den la suficiente flexibilidad a esas conducciones, de modo que ni siquiera el desplazamiento de los bordes de la falla, como ya ha ocurrido alguna vez, comprometa un suministro de tal importancia. En esta lucha del hombre contra un medio ambiente hostil se pone una vez más de manifiesto que el espíritu e inteligencia vence y domina a las fuerzas de la materia.

CAPÍTULO IV

OLAS Y TEMPESTADES DE LA CORTEZA TERRESTRE

A pesar del título alarmante de este capítulo y de que en él se demostrará la agitación incesante a que está sometido el suelo que pisamos, convenirá advertir desde el principio que semejante alarma es completamente infundada: por muy continua que sea tal agitación y aunque se aplique por analogía el nombre de tempestades (microsísmicas) a ciertos recrudecimientos del oleaje cortical, no solamente carecen de consecuencias desagradables, sino que hasta han llegado a ser útiles, como vamos a ver.

Las ondas sísmicas se propagan a través del interior y por la superficie exterior de la Tierra; ello implica un conjunto de propiedades físicas que la sismología descubre y estudia en cada estrato a diferentes profundidades. Lo que ahora nos interesa es únicamente el comportamiento mecánico de la porción última superior, que los sismógrafos nos presentan como la superficie de un estanque o como una placa vibrante, por cuya masa atravie-

san numerosas clases de ondulaciones provocadas por los más diversos agentes. Y no estará de más notar desde el principio que ni es tan sencillo como pudiera parecer el mecanismo de esas olas ni se sabe aún con certeza la causa de todas ellas, a las que se da el nombre genérico de microsismos o pequeños terremotos; pero ni siquiera es fácil clasificarlas, por la misma razón: sólo se sabe que las hay de muchas clases y que su estudio, comenzado en época relativamente reciente, continúa en la actualidad.

La piedra en el estanque

Siguiendo la comparación establecida, el problema de los microsismos se reduce a investigar qué clase de piedra es la que suscita esas ondas misteriosas en la superficie terrestre con tanta diversidad de caracteres desconcertantes. Largos años de registro sismográfico permiten sintetizar los resultados en pocas palabras: continuidad con relativa intensidad y al mismo tiempo notablemente diversa y compleja. En efecto, no es posible, tratándose de sismógrafos de gran sensibilidad y aumento, hallar un solo día del año en el que, no habiendo terremotos auténticos, sea recta la línea descrita sobre las gráficas: siempre presenta un aspecto dentado como el de una hoja de sierra, cuyos dientes miden entre 0,2 y 5,0 micrones de amplitud, y en cuanto a la variedad, se caracteriza por una caótica diferencia de períodos y amplitudes, con signos manifiestos de interferencia de unas ondas sobre otras, evidenciando que son muchas y de naturaleza diversa las "piedras" que perturban la superficie del estanque.

Una especie de clave inicial se hizo patente des-

de el comienzo de estas investigaciones: la agitación es en general más frecuente e intensa con tiempo frío y tempestuoso que durante el período estival de calma; es decir, que hay una relación indudable entre las perturbaciones atmosféricas y los microsismos; hasta el punto de que en los comienzos de su estudio se les solía llamar barosismos, como si fueran engendrados por las alteraciones barométricas: nombre que hubo de suprimirse cuando empezaron a comprobarse relaciones indudables con otros factores, adoptándose una clasificación más objetiva e imparcial, fundada en el mayor o menor período de las oscilaciones, que pueden ser también muy diferentes, desde una fracción de segundo hasta un par de minutos.

Lo que se ha dicho al principio sobre el carácter inofensivo de esta clase de ondas sísmicas no es completamente exacto: hacen algún daño, pero solamente a los encargados de interpretar las gráficas de terremotos, que cuando coinciden con microsismos abundantes y de grandes amplitudes, apenas permiten desentrañar los sismogramas, perdidos entre tan complicada maraña de ondas parásitas, que obligan a añadir como excusa bien justificada la abreviatura F. M. (fuertes microsismos) en los boletines donde se recoge el fruto de su análisis. Un geofísico alemán, encargado en 1935 del pabellón Wiechert, en Berlín, al mostrar una de estas hojas llenas de elementos tan perturbadores, observaba con tranquila filosofía: "Si todos los sismogramas fuesen como éste, los sismólogos vivirían poco."

Comenzando por lo más fácil, hay una primera especie de ondas de período muy corto, que suelen presentarse repentinamente cuando se acerca una ola de frío; por ejemplo, al notarse sus efectos en el norte de España, empiezan a llegar esos micro-

sismos a los aparatos registradores del sur de la Península; caso que ocurre frecuentemente, y no precisamente en invierno, sino también en verano, cuando la palabra frío tiene solamente un significado relativo. Puede explicarse el fenómeno recordando que una masa de aire a temperatura inferior a la que reinaba antes de su llegada, constituye un peso adicional sobre el suelo, algo así como un rulo que se va desplazando y actuando sucesivamente en la superficie; parece ser que al ceder ésta engendra ondas que se propagan dentro de un radio de acción bastante amplio, aunque no tanto que se haga sentir a distancias mayores de los mil kilómetros: son las llamadas "ondas de frío", cuya utilidad práctica se reduciría a confirmar el pronóstico meteorológico, que por lo demás suele ser conocido con mayor anticipación por otros medios más directos.

Igualmente sencillo es el proceso que rige las ondas muy lentas: suelen corresponder a variaciones térmicas, pero ya de carácter local, de suerte que van paralelas a las oscilaciones termométricas del mismo observatorio donde se registran; no es tan fácil su interpretación, aunque se admite que los cambios de temperatura a que está sometido el suelo del observatorio dan lugar a contracciones y dilataciones de ritmo tranquilo, lo que significa un movimiento lento con ligera perturbación mecánica, aumentada naturalmente por sismógrafos que multiplican por mil las amplitudes reales. Algo parecido ocurre con ondulaciones un poco más rápidas, entre los diez y los veinte segundos, que guardan un paralelismo semejante con las variaciones climatológicas, no precisamente locales, sino más bien regionales, es decir, las que tienen lugar dentro de un radio mucho menor que las citadas anteriormente.

Tempestades pasajeras

Durante el invierno de 1944 hubo unos cuantos días de régimen excepcional, que permitió estudiar en buenas condiciones un proceso de suyo difícil de observar: en vez de una mezcla desordenada de ondas procedentes de focos diferentes y por tanto imposibles de separar, hubo un período de calma relativa durante el cual fue posible apreciar una pequeña serie de tempestades microsísmicas bien definidas, y lo que es más importante, relacionarlas sin dificultad con factores meteorológicos perfectamente localizados. Se trataba precisamente de los microsismos ordinarios, entre tres y seis segundos, acerca de los cuales, como veremos, versa principalmente la controversia entre los sismólogos.

En la mañana del 10 de febrero la amplitud de las ondas apenas excedía de una milésima de milímetro; a las pocas horas comenzó a notarse un incremento algo irregular, pero constante, que en la madrugada siguiente ya alcanzó un valor de cuatro a cinco, y hacia las 14 horas del día 11 el de seis a siete, para decrecer luego gradualmente y volver a la calma en la mañana del día 12. Paralelamente los datos meteorológicos acusaban tiempo estacionario en toda España los días 9 y 10; del 10 al 11 comenzó un viento fuerte de componente Norte en la región NE. de la Península, con el consiguiente descenso de temperatura y temporal en el Cantábrico del 10 al 11, cuyos efectos se extendieron después a toda España, principalmente en Levante y porción sudoriental, hasta hacerse sentir en las costas de Marruecos, y el 12 por la mañana la mitad Sur de la Península tenía ya tiempo normal de invierno con cielo despejado y solamente quedaba alguna agitación en el golfo bético-rifeño,

al este del estrecho de Gibraltar. En cuanto a los centros depresionarios, evolucionaron simultáneamente desde el SW de Cádiz, y en el Mediterráneo, frente a Gerona, el día 10 a las 7 horas, hasta las Baleares, donde se hallaban a la misma hora del día 11; se trataba, pues, de una evolución rápida, que tuvo exacta correspondencia con los microsismos registrados simultáneamente.

De un carácter diferente fueron las tempestades registradas en los sismógrafos durante los tres días 14 al 16 del mismo mes; el primer día por la mañana, las amplitudes son también mínimas, como en el caso anterior, pero el incremento es más rápido y el primer máximo se registra hacia las 18 horas, para decrecer en seguida durante la madrugada y volver a crecer en las primeras horas de la mañana del 15; este segundo recrudecimiento o segunda tempestad, tiene su máximo a las 15 horas y un decremento más regular, que casi restablece la normalidad inicial, y finalmente vuelve a crecer la amplitud a partir de las 10 horas del día 16, llega a su máximo a las 21 y se extingue nuevamente, habiendo durado el último proceso exactamente 24 horas. Durante todo este tiempo el estado general atmosférico de España ofrece perturbaciones menos generales, más localizadas que en el caso anterior: el primer máximo microsísmico coincide con los efectos de un núcleo de depresión en el golfo de Cádiz; el segundo, más acusado, con fuerte temporal de viento y sus naturales consecuencias en el golfo bético-rifeño; durante el tercero, en la tarde y noche del 16, se podían observar en el cielo de Granada las señales de tres núcleos secundarios, uno de ellos del Oeste, que habían desaparecido al día siguiente. Como se ve, se trataba esta vez de factores muy próximos.

El paralelismo entre estas series de hechos es

manifiesto; hay algo en tales perturbaciones atmosféricas capaz de engendrar ondas microsísmicas. Y es de notar que la posición geográfica de España, y en particular de Granada, es particularmente apropiada para que en su suelo se registren estas perturbaciones procedentes de temporales, así atlánticos como mediterráneos, especialmente los clásicos del Estrecho tantas veces mencionados en los partes meteorológicos; las variaciones de presión atmosférica, el viento que enfurece los mares y bate las costas bravas de Cataluña y el Cantábrico, todo ello significa despliegue de energía en diversas formas, que difícilmente pueden considerarse por separado: de aquí la controversia suscitada sobre tales causas.

Las opiniones se dividen

Hace unos años que la Academia Pontificia de Ciencias organizó en el Vaticano una Semana de Estudio consagrada al problema de los microsismos, en la que tomaron parte geofísicos de nueve países de Europa, Asia y América, quienes presentaron y discutieron los resultados de observaciones hechas durante muchos años en regiones tan estratégicas para tal fin como Groenlandia para los mares polares; Alemania, para el registro verificado en el interior del continente europeo; Italia y España, para el Mediterráneo; Marruecos (entonces francés), para las costas occidentales de Africa; Norteamérica, para los océanos Atlántico y Pacífico, así tropicales como extratropicales, y China para la región del Pacífico situada entre el Japón y las Filipinas.

Apenas empezada la discusión a base de las comunicaciones presentadas, se puso de manifiesto

la multiplicidad de factores a quienes pueden atribuirse los microsismos ordinarios (tres-ocho segundos de período), así como el modo de transmitirse a través de la tierra firme y del fondo oceánico; porque no habían faltado autores que negasen la posibilidad de una comunicación de energía al fondo de los mares procedente del exterior; y, sin embargo, tenemos el hecho, no teoría, de que precisamente a través de las aguas del mar es cuando únicamente se produce el efecto mecánico atmosférico sobre la corteza terrestre; así lo demuestra el ejemplo elocuente de lo que ocurre con los ciclones que atraviesan la península de la Florida: antes de llegar a ella el ojo o núcleo del ciclón se registran los microsismos en Norteamérica a varios miles de kilómetros de distancia; y, por cierto, a veces con más intensidad en el oeste de los Estados Unidos que en el Este, más cercano al foco emisor (anomalía debida acaso a mejor conductibilidad del terreno superficial en una dirección que en otra); pero cuando el ciclón está evolucionando sobre la misma península de la Florida, es decir, sobre la tierra firme, cesa o se amortigua notablemente la vibración del suelo, para acrecentarse nuevamente cuando la borrasca pasa de nuevo sobre el mar en el golfo de Méjico.

En Uppsala (Suecia) se han estudiado los llamados efecto-ciclón y efecto-costa, el segundo especialmente aplicable a los embates del mar contra los escarpados fiords noruegos, todo ello íntimamente relacionado con la llegada de ondas microsímicas a diversas estaciones y comprobado con la diferencia cronológica de los máximos de amplitud. Observaciones simultáneas en Estrasburgo y Marruecos han mostrado igual correspondencia entre el proceso de registro sismológico y la mar gruesa en las costas atlánticas, con su probable efecto so-

bre el fondo del mar, que, además, confirma el retraso de las variaciones de agitación marina con igual duración de las tempestades en el mar y en los microsismos y semejanza en el amortiguamiento a veces sufrido por ambas. En el Adriático, las rápidas variaciones barométricas propagadas en su porción septentrional con periodicidad sensiblemente igual a la de las olas libres del mar, en correspondencia con los microsismos registrados en Venecia y Trieste, particularmente fuertes cuando las presiones positivas (exceso de presión atmosférica) atraviesan de Oeste a Este el golfo de Trieste, a lo largo del eje del golfo; asimismo los registros italianos muestran casos singulares, tales como su conexión con sistemas rítmicos de olas marinas, excitadas por el viento que sopla en una misma dirección con velocidad constante, y la comparación de los registros microsísmicos de Catania y Messina, de donde se deduce la existencia de una zona apta para la creación y propagación de ondas, en oposición a otra zona sorda a uno y otro fenómeno, diferencia evidentemente debida a diferencia de estructura geológica.

Investigaciones realizadas en el observatorio de Zi-ka-wei por el P. Gherzi, S. I., expulsado de allí por los chinos, después de treinta años de trabajo científico en la predicción de los tifones, se había podido observar que en esta clase de ciclones tropicales, el movimiento ascendente de una poderosa corriente horizontal de aire caliente hasta los 3.000 metros de altura, puede considerarse como el origen de la energía ejercida sobre el mar, hallándose en el cuerpo del ciclón sistemas de ondas, semejantes a las atmosféricas, cuando se establece contacto entre dos capas de aire de velocidades diferentes; otra causa de carácter intermitente es el calor latente liberado por efecto de la condensa-

ción del vapor de agua, origen de una aceleración vertical, comparable a la que existe en el interior de una pompa de aire sobrecalentado; las oscilaciones se producen en los estratos superiores, y por tener un periodo de cuatro-seis segundos, comprobado por aviones de reconocimiento, parecen hallar las condiciones de resonancia más favorables en el mar y en el fondo de este, para engendrar ondas microsísmicas.

En oposición a los resultados obtenidos en otras regiones, los del mar Tirreno pueden sintetizarse en estas conclusiones: el retraso observado entre el paso de un centro depresionario (ciclón) y la agitación microsísmica, prueban su mutua independencia, y lo mismo sucede con el paso de los frentes fríos o calientes y con la fuerza y dirección del viento y estado del mar; en cambio, la casi totalidad de casos examinados evidencian una íntima relación con la presencia, extensión e intensidad de núcleos de tendencia barométrica positiva (anticiclones) en alta mar; en tales casos el carácter del registro microsísmico, a pesar de las variaciones en amplitud y periodo, se mantiene constante.

Tempestades microsísmicas registradas en las estaciones groenlandesas presentan anomalías semejantes a las observadas en la comparación de las de Uppsala y Granada; es decir, que los registros son paralelos cuando las perturbaciones atmosféricas del Atlántico son violentas, y se desfasan cronológicamente cuando son de menor intensidad; dado que en invierno, por estar helada la superficie del mar, no hay efecto-costa alguno, y, sin embargo, los microsismos persisten con gran amplitud, es evidente que sólo los núcleos depresionarios del mar de Irlanda pueden ser causa de ellos.

Aunque la amplitud de las ondas registradas, según se deduce de las obtenidas en Estrasburgo, depende parcialmente del subsuelo de la estación (en lo cual parece haber conformidad de opiniones), las grandes tempestades microsismicas están relacionadas con la marcha rápida de importantes núcleos depresionarios que se desplazan sobre los mares que bañan la Europa occidental, y es particularmente grande la amplitud cuando atraviesan zonas privilegiadas, cuales son el mar del Norte, las costas Sudoeste de Irlanda, entrada del mar Báltico y golfo de Vizcaya; por tanto, es de especial eficacia el factor velocidad de desplazamiento de los ciclones.

En busca de la solución

Los pareceres expuestos, algunos aparentemente contrarios entre sí, tienen algo de común: la intervención del fondo del mar, desigual en mares diferentes, como transmisores de energías que vienen de la atmósfera, y la propagación por la superficie terrestre de las vibraciones así engendradas, variable según las condiciones del terreno. Una observación oportuna del presidente de la Asociación Internacional de Sismología, hacía notar que el período registrado en los sismógrafos para esta clase de ondas viene a ser la mitad del que rige las olas marinas, y ésa puede ser parcialmente la explicación de tener los microsismos ordinarios una especie de período "standard" característico.

Ultimamente se están haciendo pruebas de sismógrafos especiales submarinos, en comunicación con tierra por cables que envíen a la estación de tierra las corrientes magnéticamente producidas, en cuya traducción gráfica consiste el registro,

que además podrá elevarse a aumentos fantásticos, entre otras razones, porque los aparatos instalados en el fondo estarán libres de toda perturbación, natural o artificial, que impide a veces en tierra adoptar y forzar demasiado la amplificación; no hay que olvidar que la corteza terrestre oceánica es mucho más delgada y compacta que la continental, y por esta causa queda mucho por averiguar acerca de lo que ocurre con las ondas sísmicas al seguir rutas marinas: incluso se ha comprobado que hay ondas exclusivas para ellas, que se detienen al llegar a las terrazas continentales. Téngase también en cuenta que el interés de este estudio no es solamente teórico: como veremos en seguida, el registro sismográfico de estas ondas puede suplir en parte y ahorrar gastos de exploración, realizada con navíos y aviones, de las condiciones atmosféricas sobre los mares, para la seguridad de la navegación marina y aérea.

En Sangor (India) se ha notado la ausencia de registro microsísmico cuando las perturbaciones atmosféricas se hallan cerca de la costa, y, en cambio, es muy intenso cuando están en la bahía de Bengala o más lejos mar adentro; es decir, que se necesita una profundidad por lo menos de un kilómetro bajo el centro de perturbación, y no lo es (por lo menos allí) el embate de grandes olas en una costa brava. De aquí que por los datos microsísmicos se hayan obtenido buenos indicios acerca de la estructura del lecho oceánico y la profundidad de la terraza continental. En Sakata (Japón) se determinó bien el foco de origen, que resultaron ser las olas oceánicas al NE. de las costas japonesas, y hasta se determinó la velocidad de transmisión: 750 metros por segundo; y de un estudio de registros microsísmicos obtenidos conjuntamente por estaciones rusas y japonesas en relación con

tempestades ciclónicas y sus trayectorias por diversas regiones del Pacífico NW, se deduce que el desarrollo completo de la perturbación microsísmica siempre está retrasado respecto del tifón o ciclón en unas diez horas; ello implica un retraso de la posición del centro microsísmico respecto del ciclónico en movimiento, que se estima en $10v$ ($v =$ velocidad de desplazamiento del ciclón) y, por tanto, el foco microsísmico nunca está en contacto con un frente frío; la causa puede ser el tiempo requerido para vencer la inercia y la fricción de masas *terrestres* hasta entrar en vibración: de aquí la diferencia que acabamos de señalar entre la propagación submarina y la continental.

No menos de once géneros de ondas microsísmicas llegó a clasificar el célebre sismólogo Gutenberg, cada uno con sus caracteres propios y diferentes entre sí; acaso la observación atenta de los hechos permita también distinguir diversas clases, no ya de suelos sobre los que se hallan los aparatos registradores, sino de porciones de la corteza terrestre más o menos buenas conductoras, que expliquen satisfactoriamente las dificultades y discrepancias. Entre otras se encuentran las llamadas barreras microsísmicas, descubiertas por el análisis gráfico en parajes tan distantes como Europa Central, Francia, Sicilia, las costas atlántica y pacífica de los Estados Unidos, el mar Caribe y el del Japón. De ordinario se han identificado las barreras con fallas geológicas, explicación natural y sencilla de los hechos, si son suficientemente profundas y las condiciones elásticas, densidad, etc..., son diferentes a uno y otro lado de la discontinuidad; pero aunque las barreras se han de tener en cuenta y pueden dar valiosos datos a la investigación geológica, no siempre será ésa la única explicación adecuada.

Así, por ejemplo, en el citado observatorio de la Universidad de Uppsala, donde se ha estudiado a fondo el efecto-costa, y posteriormente el efecto-barrera a lo largo de la escarpada costa noruega, se ha comprobado que ésta se halla limitada al Oeste por fallas que la recorren en toda su longitud, y que, sin embargo, carecen de importancia geológica si se comparan con la principal, que pasa por el límite oceánico de la terraza costera, línea de discontinuidad que empieza al Oeste de Spitzberg y se dirige hacia la costa noruega más allá de las islas Lofoten, se separa allí mar adentro y se acerca de nuevo al litoral, en cuyo extremo tuerce hacia el NW de Gran Bretaña. Puesto que se ha comprobado ya ser diversa la composición geológica a uno y otro lado del corte, se podía esperar que actuase esta falla como barrera microsísmica; por otra parte, se ha observado con toda certeza el repentino incremento en la amplitud de los microsismos de Uppsala al paso de los frentes fríos por la costa de Noruega, y como el límite de la terraza está a considerable distancia de aquélla, especialmente en los extremos Norte y Sur de la península, la llegada de tales frentes a dicho límite y a la costa misma, están muy separados en el tiempo; a pesar de todo esto, no se nota alteración microsísmica al franquear el primer obstáculo, y sí con toda claridad al atravesar el segundo: resultado manifiestamente desconcertante.

Por haberse tenido la oportunidad de estudiar en circunstancias propicias los efectos microsísmicos del ciclón atlántico de septiembre de 1950, constituye su investigación una valiosa aportación a la posible solución de los problemas planteados en este capítulo. La borrasca se formó a un millar de kilómetros al este de las Antillas, pasó por Puerto Rico y siguió luego aproximadamente el

contorno de la costa oriental del continente, aunque sin penetrar ni acercarse demasiado a ella, hasta perderse en el Atlántico Norte, muy al este de Terranova, con un recorrido total de 7.000 kilómetros durante trescientas doce horas, y para el estudio microsismico se utilizaron las estaciones de la Florida, Puerto Rico, Bermudas, Carolina del Norte y Nueva York.

El máximo de agitación del suelo ocurre al mismo tiempo en estaciones tan separadas como Florida y Nueva York, y ello tiene lugar cuando el centro del ciclón se encuentra precisamente en el borde de la terraza continental, donde ambas líneas (trayectoria y borde) cortan el paralelo 40° N; antes de cruzar el ojo del ciclón ese borde, las amplitudes experimentan un rápido incremento, y al retroceder de nuevo hacia alta mar, decrecen con la misma rapidez. En la estación de Carolina del Norte, la más próxima a ese sitio, las amplitudes, que naturalmente tienen un máximo al tiempo de la distancia mínima, se mantienen a ese nivel mientras la trayectoria pisa la terraza y decrecen al mínimo cuando se separa de ella, con la particularidad de que esas amplitudes son allí iguales a las registradas en Florida, a unos 1.200 kilómetros de distancia; y nótese bien que los aparatos registradores eran de tipo idéntico en las siete estaciones. De aquí se deduce que la propagación es notablemente eficiente a través de la terraza, lo mismo que a través de la tierra firme, pero que ese borde continental actúa a modo de barrera de propagación, o que, al menos, ésta es muy escasa a través del fondo del océano.

Por lo que toca a las estaciones insulares de Puerto Rico y las Bermudas, los datos son especialmente significativos: en la primera, después del máximo de amplitudes correspondiente al paso del

ción por sus inmediaciones, el decremento es rápido antes que se haya alejado más de un par de grados hacia el Norte, y, por tanto, cuando su mitad posterior está todavía muy cerca, como si para entonces el foco hubiera franqueado ya una barrera antisísmica; y, sin embargo, el embate de las olas azotaba aún violentamente todo el arco de islas durante un intervalo mucho más largo que el de la breve tempestad microsísmica allí registrada; consecuencia: el oleaje no pudo ser foco de origen. También es extraño el hecho, observado por lo demás en ocasiones parecidas, de la amplitud relativamente pequeña allí registrada a pesar de la proximidad a tan potente foco emisor, en contraste con las grandes amplitudes de estaciones costeras en el continente a grandes distancias.

En las Bermudas se dio el caso anómalo de que ninguna estación continental registró microsismos cuando ella lo hacía, así como en ésta no fueron registrados los producidos junto a la costa, indicio manifiesto de la existencia de una barrera, así para la costa como para el arco insular de las Antillas, donde ocurrió lo mismo. Por último, cuando el foco estaba entre las Bermudas y Puerto Rico, ninguna de las dos estaciones sintió movimiento alguno, a pesar de ser su distancia mutua no muy grande; porque el registro comenzó en las Bermudas cuando la parte delantera de la perturbación se acercó a la pendiente submarina, cuya cumbre es la isla, y como la plataforma en que se asienta es esencialmente oceánica, y, por tanto, buena conductora de esas ondas, se deduce que faltó aquí, no la transmisión, sino la producción sobre el fondo abisal marino; idéntica explicación hay que dar a la ausencia de registro costero e insular mientras el huracán pasaba por encima de ese fondo de estructura uniforme, gruesa y sólida, a diferen-

cia de las capas cercanas al continente, donde hay un pronunciado gradiente de nivel, de suerte que cuanto más acusado, más intensa es la generación de microsismos.

Tempestades útiles

Es manifiesta la utilidad que implica el saber en cada momento la posición geográfica del centro ciclónico en su trayectoria, de ordinario marítima y difícil de conocer exactamente; pero si, como acabamos de ver, ese centro es, por lo menos, uno de los focos emisores de microsismos, el análisis de su registro podría servir para seguirlo en su camino y prevenir con tiempo los efectos destructores en el mar y en tierra. Así se pensaba ya en 1947, cuando el método práctico de realizar dicho análisis fue inventado por el entonces director del Instituto Geofísico de los Andes colombianos, reverendo padre Emilio Ramírez, S. I.; consiste en lo que después se ha llamado estaciones sismológicas tripartitas: tres grupos de tres sismógrafos apropiados para el registro de ondas cortas, separados entre sí por distancias moderadas; los vértices de ese triángulo en la primera de ellas, establecida cerca de la Universidad de St. Louis (Missouri), distaban entre sí 305, 244 y 183 metros, respectivamente, con registro visible sobre papel blanco (método electrónico-mecánico), de suerte que su lectura pueda hacerse en breve tiempo, sin los largos trámites de revelado fotográfico o de bandas ahumadas que hayan de ser fijadas con barniz.

Sobre ese registro se hace la descomposición geométrica de cada onda, con lo que se obtiene la dirección de donde viene; otro sistema semejante de estaciones a distancia conveniente dará, asimismo,

otra línea: el sitio donde la prolongación de ambas se crucen, indicará la posición geográfica del foco emisor. Repetida a intervalos la operación, se podrá trazar sobre el mapa la trayectoria del ciclón. La Marina de los Estados Unidos adoptó, desde entonces, el sistema, y hoy son muchas las estaciones de esta clase que en diversas partes del mundo desempeñan tan provechoso cometido.

Además de este procedimiento directo y teóricamente sencillo y eficaz de valerse de los microsismos para la previsión ciclónica, se han propuesto recientemente otros indirectos, con los que se pretende nada menos que estudiar por este medio la *propensión* de las diversas porciones de la corteza terrestre para la producción de terremotos verdaderos, en función del modo como se transmiten por ellos las olas y tempestades microsísmicas; algo hay en ello, porque como acabamos de ver, la conductividad diferente puede argüir condiciones especiales de fraccionamiento (barreras) o de especial movilidad, y hasta desviación por refracciones del camino seguido por los microsismos; todo ello equivale a una prospección interna de posibles aplicaciones prácticas.

En el Japón se ha comenzado a estudiar con parecidos fines, los llamados coeficientes microsísmicos, que, en sustancia, coinciden con lo dicho; la misma forma de la onda microsísmica parece estar determinada, no solamente por el espesor de la capa transmisora, sino también por las condiciones físicas de cada estrato. Sin embargo, hay que reconocer que tales investigaciones están todavía en sus comienzos y que aún no se ve claro el modo de sacar de ellas una utilidad inmediata.

El estudio de esta clase de ondas en los sismogramas ha sido calificado con razón de trabajo ingrato y prolijo, además de ser durante gran parte del

año el enemigo número 1 de la medida y análisis de los sismogramas, como queda indicado. En los observatorios están archivadas millares de gráficas llenas de esos enojosos signos de la inquietud de la corteza terrestre; allí está quizá la historia pasada y las perspectivas futuras del subsuelo próximo y remoto a los instrumentos que los han registrado: para sacar provecho de todo ese material haría falta en primer término un criterio seguro y fácil de aplicar, que todavía no existe; en segundo lugar, se necesitaría mucho tiempo y mucha paciencia para su estudio: por hoy semejante cosa entra en el terreno de las utopías, pero acaso algún día se logrará simplificar tan ingrata labor y se obtendrá de ella un conocimiento de la corteza terrestre del que puede depender la seguridad de los edificios en que hemos de vivir.

CAPÍTULO V

LA TIERRA AGITADA, SEGUN LA BIBLIA

En el relato bíblico hay a veces una exposición de hechos de orden geofísico, que podemos clasificar en tres géneros: los que paralelamente se leen en otras historias de carácter profano que tratan del mismo asunto, los que solamente por la Sagrada Escritura no son conocidos y los que expresamente son también exclusivos de la Biblia, pero que posteriormente han sido confirmados por investigaciones arqueológicas, principalmente por medio de excavaciones en los parajes señalados por el texto bíblico. Para el historiador o naturalista que da cuenta de estos hechos, las fuentes de información son los datos adquiridos por sí o por otros, a los que hay que añadir su propio criterio científico; pero en el caso del escritor sagrado sabemos que interviene un elemento nuevo que cambia sustancialmente el estado de la cuestión.

Para el cristiano, y en lo que se refiere al Antiguo Testamento, para el judío, la Biblia es un libro sagrado, obra de Dios por medio de la inspiración, en la que por tanto no cabe admitir error alguno,

como el que la falibilidad humana puede introducir en las investigaciones históricas o científicas; allí el verdadero Autor de lo que se dice o escribe es la misma Verdad Infalible que lo revela o inspira. Al negar el racionalista semejante influjo sobrenatural es evidente que surgirán discrepancias de interpretación, y por eso la armonización del texto bíblico con los postulados de la ciencia han sido objeto, durante largos años, de controversias y discusiones entre creyentes y descreídos.

Criterios de interpretación

En los últimos tiempos, con ocasión de numerosos trabajos arqueológicos, la posición de los partidarios de una crítica negativa y demoledora respecto de los hechos narrados en la Biblia ha sufrido una grave crisis: antes les era fácil y cómodo negar o dudar de muchos de ellos, cuando les parecían opuestos a sus propios prejuicios o doctrinas; pero empezaron a multiplicarse los descubrimientos y a ponerse de manifiesto pruebas fehacientes de que, en efecto, "la Biblia tenía razón". Tal es el título del libro de Werner Keller, buen éxito de librería, aunque no de crítica, ya que no pocas de sus apreciaciones o consecuencias resultan inaceptables; sin embargo, la compilación que allí hace de datos arqueológicos es oportuna y su intención buena: en conjunto es un libro útil y de él tomamos aquí algunos elementos de juicio.

Ha habido (hoy ya no es tan frecuente) entre los autores una tendencia al llamado concordismo exagerado, que se esfuerza en ver un paralelismo demasiado yuxtalineal entre las afirmaciones bíblicas y las doctrinas científicas propias del tiempo en que escribe cada autor; como éstas cambian y

se suceden y anulan unas a otras, es natural que tal método resulte deficiente. Ya lo era en tiempos de San Agustín, quien advertía prudentemente la inutilidad de buscar rigor científico en las expresiones bíblicas relacionadas con las ciencias naturales, puesto que el designio del verdadero Autor de esos libros fue conducir a los hombres a su último fin y no el enseñarles esas otras cosas que no aprovechan, al menos directamente, para la salvación. Así consta que en la descripción de los fenómenos geofísicos o astronómicos en lenguaje común y asequible a aquellos a quienes se destinaba, se habló de ellos según las *apariencias físicas*; por el contrario, es un abuso reprochable la tendencia de autores modernos a atribuir al texto la norma de haber seguido las *apariencias históricas*, es decir, de haberse acomodado a las opiniones vulgares, con todas sus imperfecciones y errores.

Más fácilmente que el citado concordismo exagerado, por exceso, es el que peca por defecto, en el que cae algunas veces el autor citado más arriba: consiste en minimizar de tal modo el relato bíblico sometido a explicación científica, que de él apenas queda una sombra o apariencia de realidad. La intención manifiesta de esos autores es hacer el relato más verosímil, pero a costa de la fidelidad al sentido claramente expresado allí por el autor sagrado. Es frecuente este caso cuando se trata de fenómenos físicos relacionados con las condiciones geofísicas o geológicas de las regiones aludidas, condiciones mejor conocidas hoy; el abuso consiste en *naturalizar* demasiado los hechos, obligando a entrar en los moldes del curso normal de los acontecimientos aquello que claramente se afirma deberse a una intervención sobrenatural: es la clásica fobia a los milagros, tan propia del racionalismo. En algunos casos puede admitirse una acción

puramente natural en sí misma, donde lo único sobrenatural fuera el conocimiento profético del tiempo y modo en un suceso futuro, imposible de saber por medios humanos naturales, pero en otros ni siquiera se puede hacer esa concesión.

Una especie de clave o solución previa de orden negativo puede ser útil para la debida interpretación de los pasajes en que se exponen tales hechos discutidos, y es la prudencia y cautela en no aceptar fácilmente el sentido obvio de las palabras, llamémoslo así en un significado peyorativo, y consiste en entender una frase, donde cada vocablo hebreo o griego ha sido sustituido por otro castellano, inglés o francés, y al conjunto se le ha dado el valor gramatical y científico que tiene hoy; evidentemente, esa traducción no es legítima ni admisible: hay que profundizar algo más en el valor que tenía esa frase hace varios milenios, con tanta diversidad de significados y usos diferentes. Con razón el mismo San Agustín, al llegar a esos pasajes difíciles de interpretar, admitía la posibilidad de un defecto, ya de transmisión en los códices empleados, ya de fidelidad en los traductores, o finalmente, que él mismo no lo hubiese entendido bien. Aun hoy, después de largos siglos de investigación, quedan a veces dudas sobre pasajes oscuros; se comprende fácilmente cuál será la consecuencia de un "libre examen" en cuestiones tan arduas y a cuántos errores se presta en el terreno científico, como ha ocurrido en el dogmático.

Hay en particular textos de carácter apocalíptico, que en diversas formas y estilos literarios tratan de este último capítulo de la geología histórica y de las últimas convulsiones de la actividad de un mundo que agoniza, fase final de la evolución terrestre; su oscuridad consiste en que no nos consta el alcance físico implicado en las palabras, al

prescindir del ropaje de imágenes orientales, usadas por lo demás en literaturas contemporáneas de los tiempos bíblicos. Así leemos en la segunda epístola de San Pedro que "los cielos y la tierra actuales están reservados por la palabra de Dios para el fuego en el día del juicio y de la perdición de los impíos. Vendrá el día del Señor como ladrón, y en él pasarán con estrépito los cielos, y los elementos abrasados se disolverán y asimismo la tierra con las obras que en ella hay".

Hay que distinguir aquí, como en otros lugares parecidos, el curso natural o proceso cósmico planetario, tal como lo estudia la astronomía y geofísica, y la intervención sobrenatural de la Providencia, en cuyas manos está poner fin a la vida de la humanidad, de esos hombres a quienes está dirigido el aviso profético, y a quienes claramente se refieren las amonestaciones del Apóstol en el texto citado. Es ocioso, por tanto, buscar entre ambas cosas un paralelismo ajeno a su intención, como sería, por ejemplo, relacionar la frase bíblica "caerán las estrellas del cielo" con las aportaciones meteóricas sobre nuestro planeta, o pretender deducir de otra expresión del mismo Apóstol "nuevos cielos y nueva Tierra" un orden físico futuro diferente del actual, ya que se trata solamente de una forma literaria, adecuada para significar la renovación mesiánica con el triunfo del Mesías en el fin de los tiempos.

El mar Rojo y el Jordán

El paso de los israelitas por el mar Rojo ha suscitado diversidad de cuestiones, alguna de ellas de carácter secundario, como es la identificación geográfica del lugar en que pudo suceder; la contro-

versa versa principalmente, como era de prever, sobre qué clase de fuerzas naturales entraron allí en acción, con el acostumbrado empeño racionalista de quitar al hecho, que no niegan abiertamente, todo aspecto de milagro, para lo cual, aquí y en otros casos, acuden a uno de dos recursos: o negar parte de la narración, o desvirtuarla de tal modo con explicaciones naturalistas, que se convierta en algo trivial y ordinario o por lo menos en un trastorno de fuerzas telúricas semejante a los que hoy suelen figurar en la primera plana de los diarios.

La construcción del canal de Suez ha modificado el carácter fisiográfico de esta comarca, donde hubo de ocurrir el hecho bíblico en cuestión; una especie de comunicación natural entre el Mediterráneo y el mar Rojo, aunque discontinua, fue una realidad en tiempos prehistóricos, mediante cinco lagos eslabonados caprichosamente, con variedad de profundidades y separados por barras de actividad no del todo constante; además, el nivel general del suelo sufre en la actualidad una elevación gradual (bradisismo), semejante al movimiento bascular que en el transcurso de los siglos experimentan algunas regiones del globo terrestre, entre otras nuestra misma Península Ibérica, de elevación en la costa Norte (playas levantadas) y depresión en el Sur (desde las murallas de Cádiz se ven a poca profundidad restos de construcciones sumergidas). El antiguo lago Ballah, situado al sur de la llamada ruta de los filisteos, ha desaparecido al construirse el canal: era una comarca que a juzgar por las señales descubiertas solía inundarse o si se quiere encharcarse periódicamente; por otra parte, consta por inscripciones egipcias que en tiempos de Ramsés II el golfo de Suez se comunicaba con los Lagos Amargos y la parte de agua que unía ese golfo con dichos lagos

era vadeable por muchos sitios: en una palabra, se trata de una región de suelo móvil en cierto sentido amplio.

El viento caliente del desierto de Arabia, muy raras veces constante, es quizá uno de los posibles elementos naturales activos que se describe en el texto bíblico del Exodo; que interviniese y con carácter decisivo, como quieren otros, la acción de la marea, que es muy viva en el mar Rojo, explicaría teóricamente una parte del fenómeno; más aún, la poca profundidad del cauce de las aguas y su naturaleza rocosa, unida a la suave pendiente de las márgenes, hubieron de facilitar el paso de hombres y animales, si como es de suponer ocupaba el pueblo una considerable extensión a lo largo de las riberas; pero no es admisible, sin desfigurar el relato, contentarse con atribuir lo ocurrido a una marea natural, así porque entre la bajamar y la pleamar se exige un tiempo considerablemente mayor, como porque sería pueril admitir en los egipcios, conocedores de la región de los lagos, una ignorancia tan absoluta de estas condiciones elementales, bien conocidas por los encargados de los puestos fronterizos. La evidente rapidez con que fueron sorprendidos los soldados arguye un cambio profundo y una desviación del curso ordinario de las fuerzas geofísicas, sin los cuales la narración no tendría sentido.

En cuanto al paso del Jordán, consta que en tiempos históricos se han formado presas accidentales que han detenido su curso por desprendimientos de tierras, unas veces relacionados y otras no, según queda explicado más arriba, con agitaciones geológicas del subsuelo, como ocurrió en 1924 y 1927; en 1906 quedó por esta causa interrumpida la corriente por espacio de más de veinte horas, y unas inscripciones árabes citan un hecho igual en 1267. Se dice expresamente en el texto bíblico que el río

venía muy crecido y hasta desbordado, por ser el tiempo de la mies, cuando el deshielo en las montañas del Líbano y Antilibano solía engrosar su caudal. Nuevamente la predicción a plazo fijo, imposible por ciencia ordinaria, descarta el proceso absolutamente natural, aunque tenga semejanza con los casos citados; también aquí hay que admitir una extensión longitudinal considerable del sitio por donde se verificó el paso, pues el contexto de la narración revela un proceso relativamente rápido, y es de notar que el trozo abarcado por el pueblo para pasar el río era precisamente el próximo a la desembocadura, donde las circunstancias del caudal y velocidad son particularmente desfavorables, así por la crecida como por lo pronunciada que es allí la pendiente, cerca de Jericó.

La descripción bíblica es clara: "Se detuvieron las aguas que descendían y se congregaron en una gran masa, que se divisaba a lo lejos desde la ciudad de Adam, que está al lado de Saretán; y las que descendían hacia el mar del desierto (mar Muerto) se agotaron del todo, y el pueblo pasó derecho hacia Jericó. Y aconteció que cuando los sacerdotes que llevaban el Arca de la Alianza subieron de en medio del Jordán, las aguas volvieron a su lugar, corriendo como antes sobre todos sus bordes."

Los innumerables testigos del hecho, perpetuado en la memoria de los israelitas, que permanecieron luego en este sitio, donde podrían haber advertido y de hecho advirtieron cuál era el curso natural de la corriente, confirman el carácter insólito del acontecimiento, y en cuanto a la explicación por medio de un desprendimiento de tierras, tendría siempre en contra la predicción, tan sobrenatural como el milagro mismo.

Falsos volcanes

No podían faltar las hipótesis volcánicas para dar razón del modo como fue promulgada la Ley en el monte Sinaí; el humo, el temblor de tierra y demás fenómenos consignados en la narración ofrecen sin duda alguna semejanza con esa clase de actividades terrestres, pero no pasa de ser un mero parecido. Es bastante fácil hoy identificar y reconstruir la historia de un volcán, sobre todo, cuando la fecha de la presunta erupción no es excesivamente remota, como en el caso presente. Y los caracteres geológicos de la región no presentan el menor indicio que justifique tal apreciación, que por tanto ha sido definitivamente descartada; y ello a pesar de que nos es conocida solamente con probabilidad cuál fue la montaña de la península sinaítica donde ocurrió el hecho. Únicamente tienen dicha probabilidad las que están cercanas a alguna gran llanura, donde pudiera haber acampado la gran multitud que nos describe el capítulo 19 del Exodo.

De otra índole es el problema planteado por la destrucción de Sodoma y Gomorra: parece probable que las ciudades destruidas ocupaban una porción de lo que hoy es el mar Muerto, y su posición geográfica y geológica, bien estudiada en la actualidad, se relaciona fácilmente con diversas actividades comprobadas de aquel suelo y subsuelo. La profundidad de aquellas extrañas aguas, cuyo nivel se encuentra a unos 400 metros por debajo del nivel medio del Mediterráneo, es notablemente diferente de un lugar a otro, pues mientras en la parte Norte y en el centro alcanza unos 330 metros, en la parte Sur sólo tiene cuatro, hasta el punto de que a veces llega en algunos sitios a ser vadeable transversalmente. En la actualidad sufre todavía alteraciones de nivel y desde las épocas geológicas ha descen-

dido unos cien metros, así por la desaparición de los ventisqueros del Líbano y Antilíbano, como por la desviación del curso de algunos afluentes del Jordán a consecuencias de convulsiones diversas del terreno.

Los estudios geofísicos del país en general nos dicen ser aquella una región de estructura hondamente perturbada por accidentes geológicos: fallas que atraviesan toda Palestina de Norte a Sur hasta el mar Rojo y se prolongan mucho más hasta enlazar con grietas corticales profundas del océano Indico, dislocaciones que penetran muy hondo en la corteza terrestre; afloramientos de asfalto y otros derivados del petróleo, salinas y otras manifestaciones de acciones físico-químicas internas que se observan desde los tiempos bíblicos. Así, por ejemplo, se mencionan en el libro del Génesis los abundantes pozos de betún, cuyos yacimientos explotaron los árabes más tarde durante varios siglos (el denominado betún de Judea) y por esto dio Josefo a este mar el nombre de lago Asfaltites; abunda, asimismo, el azufre, piedra pómez y grandes bloques de diversas sales, principalmente de sodio, calcio y magnesio, que dan una elevadísima salinidad a sus aguas, en las que mueren todos los peces, crustáceos y moluscos arrastrados por los ríos que a él afluyen; finalmente, hay manantiales termales y sulfurosos en las proximidades de la margen oriental.

Y sin embargo de esta actual desolación, se nos dice en el capítulo 13 que levantando Lot su vista vio toda la llanura del Jordán, que toda ella era de regadío antes que destruyese Dios a Sodoma y Gomorra, como un huerto del Señor, es decir, fértil y hermosa. Tenemos, pues, datos suficientes para afirmar que allí tanto los fenómenos volcánicos como los sísmicos encontraban ocasión propicia para ejercer su conocida actividad, y, sin embargo, suele

descartarse la hipótesis de una erupción propiamente dicha, por razones parecidas a las antes mencionadas: no bastan los materiales volcánicos enumerados para situar cronológicamente una erupción: los vulcanólogos de hoy hilan mucho más delgado que todo eso.

En las últimas exploraciones y sondeos submarinos se ha descubierto con cierta sorpresa la existencia de una capa de cenizas cristalinas, semejantes a las emitidas por los volcanes, que cubren la mayor parte de los fondos oceánicos, y si no han aparecido también sobre los continentes se debe a que los agentes atmosféricos las han barrido y arrastrado con el agua de los ríos. La época en que se verificó semejante aspersión universal es indudablemente muy remota, que únicamente se podrá averiguar si se logra determinar sobre esos fondos la edad de las capas inmediatamente inferiores y superiores a la de las cenizas. Los primeros resultados dan una velocidad de sedimentación de 5,5 centímetros por milenio en el Pacífico, lo que significaría que fueron depositadas hace ciento diez mil años. Sea cual fuere la naturaleza de esa misteriosa erupción, desde luego queda excluida para explicar lo sucedido en Palestina en fecha muchísimo más reciente.

Más acertada fue la deducción que en 1955 hizo un activo negociante de Israel, Xiel Federman, al reflexionar sobre el texto del Génesis en que se describe la destrucción de Sodoma y Gomorra, tal como apareció a los ojos de Abraham, que "vio que salía de la tierra humo como el de un horno". ¿No podrían ser debidos aquellos humos a la existencia de gases? Y los restantes datos bíblicos e históricos, ¿no arguyen un carácter petrolífero en este terreno? Así, pues, se fundó una compañía, cuyos técnicos confirmaron absolutamente las sospechas de Federman: el 3 de noviembre del mismo año se perforó feliz-



INSTITUTO ANDALUZ DE GEOFISICA
Y PREVENCION DE RIESGOS SISMICOS

BIBLIOTECA

mente el primer pozo de petróleo de la nación judía. Y conste que en numerosas ocasiones la rigurosa veracidad de la Biblia en esta clase de pormenores geofísicos ha servido de guía a los investigadores, que han visto premiada su diligencia en interpretarla con hallazgos útiles de riqueza mineral, valiéndose de lo que se ha llamado *prospección bíblica*.

La promesa de Moisés (Deuteronomio, VIII, 7-9): "Porque Yavé tu Dios te conduce a una tierra excelente..., cuyas piedras son de hierro y de cuyas montañas extraerás el cobre", aparece hoy honoríficamente escrita en las paredes de la oficina principal de una empresa moderna dedicada a la explotación de las supuestamente legendarias "minas del rey Salomón"; porque donde hace varios milenios se hallaban sin duda las chozas de los trabajadores esclavos del gran rey, se levantan hoy las nuevas viviendas de los mineros, pululan los "jeeps" y camiones pesados y se desarrolla una febril actividad. En la segunda mitad de 1955 se extrajo por primera vez cobre de las minas de Israel, y como hizo notar uno de los ingenieros, "por todos aquellos sitios en que los yacimientos son suficientemente ricos tropezamos con las escorias y hornos de los mineros de Salomón".

La reconstrucción del episodio de la destrucción de la Pentápolis no es difícil, si se compara la descripción bíblica: "Hizo Dios llover azufre y fuego... de parte de Dios, desde los cielos" con los datos geofísicos y geológicos. En primer lugar, se atribuye claramente la catástrofe a la acción divina, sin que por otra se pretenda describirla con rigor científico; la *lluvia de azufre y fuego* es una imagen sencilla y comprensible de lo que podemos concebir como una conflagración de las materias combustibles del mismo suelo, aunque también es probable la acción meteorológica en forma de rayos, que se

adaptaría más a un sentido estrictamente literal. La invasión por las aguas del lago del territorio antes ocupado por las cinco ciudades, a consecuencia de un hundimiento del terreno, pudo completar su destrucción, y esta teoría está confirmada así por la configuración anómala de la región meridional del mar Muerto, que más bien parece un terreno inundado que el fondo de un mar, como por los testimonios recogidos en los primeros siglos de la era cristiana, que afirman haberse observado en aquellas aguas someras la existencia de ruinas allí sepultadas (Josefo, Bell. VI).

Falsos terremotos

La ciudad de Jericó, próxima al Jordán por el lugar donde acababa de pasar el pueblo de Israel, estaba defendida por fuertes muros, que daban indudable seguridad contra el ejército invasor a sus moradores. Son varias las Jericós que se sucedieron en el mismo lugar a través de los tiempos, como han demostrado elocuentemente las excavaciones arqueológicas desde comienzos de este siglo hasta nuestros mismos días. La más antigua y por tanto de inferior nivel es nada menos que un poblado neolítico, inmediatamente situado sobre la tierra virgen. Todavía no se ha logrado rehacer la complicada historia de las sucesivas generaciones que ocuparon aquella posición estratégica en el decurso de los siglos y de las causas verosímiles de otras tantas destrucciones, hoy patentes al descubrir las ruinas, también sucesivas, de las murallas; parece demostrado que las correspondientes a la época de Josué son, en efecto, muros dobles resquebrajados, parcialmente caídos hacia el exterior y con manifiestas señales de un incendio: todo exactamente igual a

lo que leemos en la historia bíblica de su conquista.

Notemos aquellas palabras del Señor, muy frecuentes en la Biblia: "He entregado en tus manos a Jericó", cuyo sentido es: "te prometo la victoria, y mi intervención sobrenatural decidirá en tu favor la batalla", como en realidad ocurrió. "Cercaréis, pues, la ciudad todos los hombres de guerra, yendo alrededor de la ciudad una vez cada día, y esto haréis seis días. Y siete sacerdotes llevarán siete trompetas de las que se usan en el jubileo, precediendo al Arca; y el séptimo día daréis siete vueltas, y cuando sonaren las trompetas prolongadamente, todo el pueblo gritará con grandes voces y el muro de la ciudad caerá desplomado, y entonces el pueblo subirá cada uno en derecho de sí." La confianza nacida de esta promesa frecuentemente repetida, ya en general respecto de toda la tierra de Canaán, ya en particular respecto de algunos casos difíciles en esta guerra de conquista, daba ánimos y fortaleza a los hijos de Israel para acometerla en todo su territorio; y es de notar el papel importante que aquí desempeña, como en el paso del Jordán, el Arca de la Alianza, como señal sensible de la acción divina, que ahora iba ser prácticamente el único medio y arma de ataque.

Ya se puede presumir la evasiva adoptada por la crítica racionalista: un terremoto fortuito que viene en auxilio de los sitiadores. Y esta vez los datos geofísicos parecen en principio darle alguna razón: la región de Palestina donde está enclavada Jericó es, en efecto, suficientemente propensa a tales fenómenos, como lo prueban los sismos violentos que en ella se han sentido, hasta el punto de que se podría aplicar, para mantener el indudable elemento sobrenatural expresado en el texto, el recurso de hacerlo consistir en una predicción irrealizable por medios naturales. Pero ni siquiera es admisible tal

atenuación: un movimiento sísmico suficiente para derribar muros de varios metros de espesor, cuales ha comprobado la arqueología en sus excavaciones, hubo de exceder en intensidad a las mayores catástrofes de este género conocidas en toda la Historia; ahora bien, los 25 kilómetros que separan a Jericó de Jerusalén y las distancias semejantes, mayores o menores a que se encuentran otras ciudades, son motivo más que bastante para hacer del pretendido terremoto una catástrofe mucho más extensa de lo que nos consta haber sido, y semejante anomalía excede todos los límites de las más singulares irregularidades observadas en la propagación de las ondas sísmicas. Es inútil, pues, buscar en la sismología la explicación natural del hecho.

Pero al menos, ¿no podría deberse a tal causa la destrucción de algunas de las ciudades que con el mismo nombre ocuparon este lugar? (La que se menciona en el Evangelio no es la misma del libro de Josué, sino otra de las posteriores.) Es posible, pero no hay que olvidar que además del terremoto hay otras causas y a veces mucho más violentas, capaces de destruir, no ya una ciudad, sino todo un reino; basta pensar en el modo cómo se hacían las conquistas en diferentes épocas de la Historia, y cómo el recurso eficaz de no dejar enemigos a la espalda era dismantelar las fortalezas y aniquilar a sus defensores.

Mucho más fácil de resolver es el problema semejante a éste nacido de lo que leemos en el libro de los *Números* acerca del castigo de Coré, Datán y Abirón, por su rebeldía contra Moisés: "Rompióse la tierra que estaba debajo de ellos y abrió la tierra su boca y tragólos a ellos y a toda su hacienda; y ellos, con todo lo que tenían, descendieron vivos al abismo, y cubriólos la tierra y perecieron de en medio de la congregación." En los anales de la sismo-

logía se han dado casos semejantes en sustancia, pues aunque lo más frecuente es que las convulsiones violentas tengan su asiento en capas situadas por lo menos a algunos kilómetros de profundidad, no se excluye la posibilidad de que se verifique a rupturas y desplazamientos estrictamente superficiales; las enormes grietas que se han observado en el suelo a raíz de algunas conmociones sísmicas lo prueban evidentemente, y la desaparición de casas enteras en grietas que han vuelto a cerrarse no han sido casos aislados en la historia de estas grandes catástrofes.

Sin embargo, la misma razón aducida en los casos anteriores, de ocurrir eso en el momento anunciado por Moisés, excluye la naturalidad completa; más aún, tampoco hay fundamento científico para decir que la acción sobrenatural se ejercitó por medio de esta clase de energías disponibles en la naturaleza. Los movimientos sísmicos de la importancia que reviste el aquí mencionado no son sucesos aislados en la historia geológica de una región, son más bien episodios parciales de una lucha ultrasecular entre tales fuerzas interiores, de donde resulta que aunque en un sitio particular se pruebe que ha ocurrido eso *por primera vez*, no se puede decir lo mismo para toda una comarca de cierta extensión, y la península sinaítica, donde ocurrió el hecho, no justifica por su escasa sismicidad la producción presunta de un fenómeno aislado como éste.

La frase citada "descendieron vivos al abismo", expresión bíblica que se lee en otros pasajes, donde *sheol* se traduce por abismo, infierno, corresponde a otras ideas semejantes de muerte, sepultura, tránsito a la otra vida, etc., y no se pretende en ellas determinar en rigor cuál sea el sitio destinado a las almas de los que mueren. Se trata de una expresión sensible de la Sagrada Escritura y también de los

Santos Padres, por la que se enuncia la verdad teológica de ser el infierno no solamente un estado, sino también un lugar definido. No sabemos ni podemos localizarlo, aunque es apropiada su relación literaria con las entrañas de la tierra; sabemos, en cambio, con toda certeza que el infierno es eterno y el planeta Tierra no... Por eso decía oportunamente San Juan Crisóstomo (homilía 31, Epístola a los Romanos): "No procuremos saber dónde está, sino cómo hemos de evitarlo."

La sismicidad del monte Calvario

Dos veces habla el Evangelio de terremotos en la muerte y resurrección de Jesucristo: una de ellas en el momento de expirar en la cruz y otra cuando el ángel separa la piedra que cerraba su sepulcro. La afirmación de que se conmovió la tierra y las piedras o peñascos del monte se partieron, ha tenido confirmación estrictamente científica en señales todavía visibles de enormes hendiduras de aquellas rocas, en forma y dirección totalmente inexplicables para los geólogos. Hubo, pues, ciertamente conmoción violenta capaz de producir tales efectos, pero de nuevo hay que descartar la hipótesis de un terremoto ordinario: como en el caso de Jericó, aunque con razones más poderosas aún, ello hubiera supuesto la destrucción completa de la ciudad inmediata, en contradicción con lo que históricamente sabemos.

Desde el primer terremoto de que tenemos noticias para esta región, que es el mencionado por el profeta Amós en el año 23 del reinado del rey Ozías, hasta el estudiado ya con métodos modernos en 1927, los documentos históricos completan algo la

lista, necesariamente imperfecta, pero suficiente para asignar a aquella región un índice de actividad no muy importante ni en cuanto a la frecuencia ni en cuanto a la intensidad. Nos encontramos de nuevo ante una manifestación no ordinaria, sino excepcional de los elementos, que, como declara San Gregorio (homilía 10 in evang.), a su modo reconocieron a Jesucristo como a su Autor: los cielos, mediante la estrella en su nacimiento; el mar, haciéndose firme bajo sus pies; la tierra, conmoviéndose a su muerte; el sol, escondiendo en ella sus rayos; las piedras, abriéndose, y el infierno, entregando a sus muertos.

CAPÍTULO VI

¿POR QUE SE MUEVE LA TIERRA?

Desde los tiempos más remotos han pretendido los hombres de ciencia penetrar en el secreto de la agitación del suelo terrestre, cuyas terribles consecuencias han presenciado; hasta los mitos y leyendas paganas la han relacionado con diversas manifestaciones de la ira de sus dioses subterráneos. Si ponemos tales teorías al principio y dejamos para el final las que echan la culpa a las novísimas pruebas nucleares, tendremos casi completa la serie de explicaciones propuestas para responder a la pregunta que encabeza este capítulo.

Errores disculpables

Del mismo modo que sería injusto acusar a los astrónomos de hace unos cuantos milenios de no tener en cuenta lo que los modernos instrumentos han revelado acerca de los misterios celestes, también lo es reprochar a los geofísicos, llamados entonces naturales o cultivadores de las ciencias de la

Naturaleza, por haber ignorado lo que la ciencia de hoy sabe sobre lo que ocurre en la tierra que habitamos. Además, cada sabio se vale para sus investigaciones de los medios disponibles en su tiempo, y ello establece una escala de valores, a veces muy diferentes, entre los niveles culturales de esta clase en fechas no muy remotas.

Los filósofos de la antigüedad *disponían*, para explicar los fenómenos, de las cuatro cualidades sensibles: cálida, fría, húmeda y seca, de tal modo combinadas que a cada elemento correspondían dos de ellas. Así, la tierra seca y fría, el agua húmeda y fría, el aire cálido y húmedo y el fuego cálido y seco; por encima de las cuatro regiones ocupadas por ellos y con la categoría de causa y origen de donde proceden los elementos, hay una naturaleza superior denominada la quinta esencia, la de los cuerpos celestes, a la que se acudía como recurso extremo para explicar las cosas más difíciles y misteriosas. Asimismo era fundamental para ellos la emanación por parte de la Tierra de dos clases de exhalaciones: seca y húmeda, especie de intercambio entre las diversas capas o regiones propias de cada elemento, y a la exhalación seca bajo la acción del Sol se deben los terremotos, cuyo agente activo principal es la presión, represada en cavidades estrechas de la tierra; se atribuían efectos similares a diferentes hábitos terrestres, y hasta se llegaba a atribuir a ellos nada menos que los meteoritos, cometas y la misma Vía Láctea.

Los dos defectos principales que a la luz de la ciencia actual hallamos en semejantes teorías son la exclusiva responsabilidad terrestre de todos los fenómenos observables, y la excesiva superficialidad de las fuerzas agentes. Esto último ocurría aún en épocas relativamente recientes, a pesar de que ya se conocían las verdaderas dimensiones de nues-

tro planeta. Por eso se seguía atribuyendo las sacudidas del suelo a causas meteorológicas, más fáciles de observar y de relacionar con ellas: la acción combinada del aire, agua y combinaciones químicas (fermentaciones), la presión o rarefacción del aire en las cavernas de la tierra, las diversas maneras de producirse el fuego en ellas, el derrumbamiento de las mismas debido a la erosión de las lluvias y otros factores parecidos de la dinámica superficial, constituían una buena provisión de recursos con que explicar muchas cosas; y todo ello, repetimos, hace no muchos años.

En una "Explicación física-matemática de las causas del temblor de tierra, como consta de la doctrina del príncipe de los filósofos, Aristóteles; dada por medio de la Vena Cava y sus leyes", publicada en Sevilla hace un par de siglos, se hace una larga exposición sobre el mecanismo de tales exhalaciones internas, influenciadas y como regidas por la Vena Cava, corriente subterránea que atraviesa el eje de giro de la Tierra de un polo a otro, con ramificaciones que afloran a la corteza a la manera del sistema circulatorio en los organismos animales. Otra novedad en este terreno fue la hipótesis fundada en los fenómenos eléctricos, no como causa adecuada, sino como medio de propagación y desencadenamiento de energías químicas que dan lugar a explosiones, verdadero origen de los terremotos.

No faltó un profesor de la escuela químico-botánica de Granada, que después de una erudita exposición de tales teorías, situaba el foco eléctrico responsable en la parte más elevada de la Sierra Nevada, Sierra Elvira y otros montes vecinos a la capital; "es muy probable, decía, que si se pudiera dar otra dirección al fluido eléctrico por medio de conductores grandes y de mucho poder, que se pro-

longasen a distancias muy considerables, se pudieran evitar los temblores. Del mismo modo se evitarían atinando el lugar del foco y dándole ventilación para que no recogiese los gases, pues de esta suerte no quedarían estancados en él y se evitaba una de las causas”...

La explicable confusión del vulcanismo con los agentes sismogénicos tiene su origen en un cálculo equivocado del denominado grado geotérmico o crecimiento gradual y sistemático del calor a medida que se profundiza en el suelo; el hecho es indudable hasta donde ha sido permitido profundizar, pero el error nace de la indebida prolongación hacia abajo de la gráfica de tal crecimiento. Ante todo es de advertir que, a lo más que ha alcanzado semejante comprobación es a pocos kilómetros, a lo sumo media docena; es decir, a la milésima parte del radio terrestre: ya se comprende *a priori* lo aventurado que es prolongar esa línea, que ni siquiera sabemos ser precisamente recta, y como veremos, puede darse por cierto que no lo es.

Ocurre aquí algo parecido a lo que se afirmaba en los textos elementales de astronomía acerca del movimiento general del Sol con sus planetas dentro de la Vía Láctea: una vez comprobada esa trayectoria y su dirección hacia el llamado Apex, situado en la constelación de Hércules, se calculó el número de miles de años que tardaríamos en llegar. En esa cuenta se olvidaban dos cosas: la primera, que de tal trayectoria conocíamos un trocito relativamente pequeño, recto para simplificar, pero, probablemente, curvo y complejo, como suelen ser todos los movimientos siderales; y en segundo lugar no se tenía en cuenta que con el mismo derecho que nosotros, también las estrellas de Hércules tendrían su movimiento propio; consecuencia final: al cabo de ese tiempo, la curvatura

presente y demás causas que influyen en nuestra órbita galáctica nos conducirían, probablemente, a cualquier otro sitio del espacio, y aunque fuese precisamente el ahora indicado, nadie podría garantizar que aquellas estrellas seguirían allí esperándonos.

Se ve, pues, el riesgo de una extrapolación confiada y demasiado sencilla, cual no suelen serlo los procesos naturales. Claro está que prolongando la gráfica del grado geotérmico se llega a elevadísimas temperaturas para las capas profundas del globo terrestre, y de ahí a la antigua concepción de un núcleo líquido e incandescente no hay más que un paso, ayudado, como sabemos, de la no menos antigua y hoy rechazada idea de un enfriamiento progresivo a partir de un primitivo estado semejante al solar; todo esto es, hoy por lo menos, discutible, y cuanto más y mejor se conocen los caracteres físicos de la corteza y manto terrestres, menos probabilidad tienen tales apreciaciones.

Tierra caliente

Que el calor es uno de los factores en la génesis de los terremotos es indudable; pero no en la forma simplista que acabamos de mencionar. Su origen más verosímil está en la desintegración radiactiva, y precisamente en el granito superficial es donde hallamos fácilmente la respuesta al problema geotérmico, por su contenido especialmente abundante de uranio; pero ello no excluye otros elementos radiactivos, sobre todo el potasio, ni otras profundidades algo mayores en el manto. Sin entrar en pormenores que no son de este lugar, bastará notar que las cifras obtenidas de un estu-

dio razonable, siempre a base de la teoría arriba citada de una formación terrestre por los planetésimos primigenios, son muchísimo más moderadas, del orden de 1.500° C, en vez de los millones que antes se admitían tan fácilmente; en particular, para el límite de la corteza con el manto, difícilmente resulta superior a 450° C, insuficiente para la fusión de las materias allí existentes.

Hasta se ha calculado la velocidad de semejante propagación térmica en el seno de la Tierra y se ha dado la cifra sorprendente de un centímetro por año. Casos más sencillos de observación rutinaria en los observatorios ponen en evidencia tal lentitud; en el de Cartuja, como en otros, hay registradores de temperatura instalados bajo el nivel del suelo y en el correspondiente a solos 25 centímetros, en vez de la oscilación, generalmente grande para el clima de Granada, de hasta 20° dentro del mismo día, a esa pequeña profundidad se reduce a un par de grados, con la agravante de que el máximo de mediodía tarda unas diez horas en penetrar y se registra a las once de la noche; a 50 centímetros ya desaparece la oscilación diurna y únicamente se registra, en trazo seguido, lo equivalente a la media, sin máximos ni mínimos; por último, donde los registradores están a grandes profundidades, de unos siete u ocho metros, el máximo estival tarda medio año en llegar al termógrafo, precisamente en el rigor del invierno.

Ya quedó explicada la hipótesis de la convección de materiales plásticos en el manto y su influjo en eventuales rupturas corticales, capaces de originar terremotos a profundidades considerables. Tal sería la génesis sísmica contando solamente con el calor; pero hay probablemente otra acción indirecta de la misma clase, cual sería la acción térmica combinada con las enormes presiones allí

reinantes, de donde resultaría un efecto de orden más bien químico. Porque no hay que olvidar la dificultad de trasladar a varios centenares de kilómetros los fenómenos observados en la superficie; en ésta se comprende bien el proceso de hundimiento o desplazamiento de unas piezas sobre otras, mal ajustadas entre sí; pero allá abajo no solamente se halla todo inmovilizado y comprimido por la presión, sino que se admite en las mismas moléculas y átomos un estado violento debida a tal compresión: no queda sitio libre para moverse. Y como a pesar de ello ocurren sismos y de gran magnitud hasta a 700 kilómetros de profundidad, se ha excogitado la teoría, bastante verosímil, de una alteración de otra clase, tal como una recristalización o quizá una modificación de las estructuras moleculares o atómicas, cuyo resultado sería la sacudida interna de aquella masa.

En cuanto al estado físico en que se hallan los materiales a niveles diferentes, tenemos datos seguros gracias al registro sismológico: los diferentes grados de elasticidad, propios del estado sólido, están perfectamente comprobados hasta llegar al mismo núcleo, y por tanto, así en la corteza como en todo el espesor del manto; pero hemos de guardarnos mucho de hablar de estado sólido en el mismo sentido que aplicamos a las rocas superficiales. No basta una transmisión de ondas transversales para excluir la plasticidad, de que se habla tratando del manto; puede haber elasticidad compatible o no con la solidez, y para proceder con toda franqueza y honradez científica, terminaremos por decir que a pesar de los experimentos de laboratorio, en que se han sometido rocas a presiones de casi medio millón de atmósferas y deducido de ahí importantes conclusiones sobre lo que ocurre en las profundidades terrestres, la verdad

es que ignoramos a punto fijo qué leyes mecánicas y químicas rigen en ellas: se hacen conjeturas bastante fundadas y se discuten hipótesis, como hemos visto, pero la certeza nunca llega a alcanzarse.

Y para agravar y complicar más las cosas, hay una región del núcleo central por la que no pasan las ondas elásticas, seguida de otra más interior por la que sí se transmiten; eso significa una de dos cosas: o que se trata de un estado líquido, inconcebible bajo esas condiciones violentísimas, o que rige allí un estado para el que no tenemos definición en el vocabulario físico-químico vulgar. Se calcula que al borde de ese núcleo las rocas del manto han sufrido hasta hoy una compresión por la que su densidad normal de 3,3 ha aumentado hasta ser de 5,6, equivalente a 1,4 millones de atmósferas y suficiente para elevar la temperatura de una mezcla a partes iguales de hierro y rocas a algo más de 4.000°. En cuanto a la temperatura de las capas algo más superiores, de que depende la solución del problema vulcanogénico, debe satisfacer a dos condiciones, impuestas por la discontinuidad y cambio de estado que revelan los datos sismológicos: ha de ser suficientemente alta para fundir el hierro y al mismo tiempo inferior al punto de fusión de las rocas del manto; el problema, sencillo en apariencia, en realidad es insoluble, por no ser conocida la temperatura de fusión del hierro a tal presión; con cierta probabilidad se admite un nivel térmico comprendido entre los cuatro mil grados en que parece liquidarse el hierro en esas condiciones y los seis mil en que se calcula habrían de hacerlo las rocas.

Tierra fría

A primera vista suena a paradoja incluir el frío entre los agentes productores de inquietud terrestre; y sin embargo, ocurren derrumbamientos de edificios u otros daños semejantes en comarcas heladas de latitudes altas, si bien, como veremos, ello sucede precisamente por no ser algunas veces bastante frías. Se ha dado el nombre técnico de "permafrost" (permanently frozen ground = tierra permanentemente helada) a una capa de tierra que por la acción de temperaturas extremadamente bajas se convierte en un bloque de especial solidez, fenómeno fácilmente comprensible si contiene agua, como sucede de ordinario, pero un tanto enigmático cuando se trata de tierras secas, al menos aparentemente, como es frecuente en las regiones polares. La proporción o contenido de hielo puede llegar a ser hasta seis veces mayor que la de materiales sólidos; y su espesor depende, aunque no exclusivamente, de la clase de terreno, en el que cabe distinguir tres capas superpuestas: la inferior, de tierra no helada, que llaman talik, a partir de la cual empieza el permafrost propiamente dicho, que se mantiene helado todo el año, y encima de él la denominada capa activa, que alternativamente se hiela y deshiela con las estaciones.

Una acción aislante parecida a la del serrín es la ejercida por el musgo y otras sustancias vegetales en orden a preservar de la fusión el hielo contenido en el subsuelo; si se remueve o quita del todo esa capa protectora, por ejemplo, al hacer ciertas labores del campo o para abrir caminos o cimientos de edificios, queda expuesto el suelo a la acción directa de los rayos solares, cuyo calor se

transmite pronto a la masa helada subyacente y la convierte en barro pegajoso (slud) que materialmente huye bajo los edificios o carruajes pesados, con las naturales consecuencias. A veces se abren grietas en el permafrost, que en el mejor de los casos se rellena de agua, se hiela ésta en seguida y vuelve a convertirse en el equivalente a una roca impermeable, de una solidez comparable a la del cemento bien fraguado; otras, el calor desprendido de una casa construida sin el debido aislamiento, se comunica a los cimientos y es frecuente verlas peligrosamente inclinadas o también, en casos igualmente favorables, aunque raros, hay compensación entre el invierno y el verano, de manera que de una a otra estación el nivel relativo varía alternativamente, y basta disponer de escalones móviles para acomodar a tales cambios la altura de las puertas. No han faltado casos extremos, de brotar en invierno un violento surtidor de agua, liquidada durante el verano y expulsada ahora por la presión: al contacto con el aire frío, de 30 a 50° bajo cero, el hielo así formado cubrió la casa, que hubo de ser desalojada e incluso desarmada del todo, puesto que estaba hecha de madera, y en la primavera siguiente se vio que había quedado un molde helado completo, interior y exterior: extraños efectos de un terremoto glacial...

Es de notar que si el permafrost se derritiera, las tierras árticas (en las antárticas no hay nada parecido) se convertirían en un desierto inhabitable, en vez de la actual vegetación abundante y extensa; porque la escasa precipitación que allí cae, generalmente en forma de nieve, sería absorbida, como en otras partes, por la tierra permeable y apenas quedaría humedad para las raíces; el fenómeno conocido gráficamente por "selvas borrachas" cuando los árboles se inclinan en todas di-

recciones, a semejanza de un ejército de beodos, es común en los bosques subárticos y tiene su origen en el deshielo del permafrost; basta para ello que el aislamiento antes mencionado se vea comprometido por causas tan pequeñas como los senderos que siguen, camino de los ríos, los animales salvajes, que así reducen el espesor de esa delgada capa protectora y abren brecha a los rayos solares y al reblandecimiento subsiguiente del subsuelo; entonces las raíces someras (porque árboles de raíces profundas no se dan en semejantes terrenos), no son ya capaces de sostener derechos los troncos.

Fue una verdadera y feliz casualidad que la monumental carretera de Alaska, que se hizo durante la segunda guerra mundial y se terminó en 1942 con un coste de 200 millones de dólares, pudiera esquivar este obstáculo casi en todo su largo recorrido de 2.687 kilómetros; las pocas veces que lo hallaron, los ingenieros optaron por un recurso eficaz, acaso único, que consiste simplemente en tomar al permafrost como aliado, en vez de combatirlo, como antiguamente se solía hacer: para ello se ahonda lo necesario hasta agotar el "filón" helado, se sustituye con firme de grava y se le deja helarse sin perder solidez. Por no hacerlo así sucedió muchas veces que la carretera desaparecía de repente, convertida en barro, como también otras clases de obras humanas. Se dio el caso de derretirse el subsuelo por el solo hecho de estar cercano a una fachada orientada al Mediodía; si a esto se añade una gran dificultad en reconocer por sondeos el estado real de tales capas, su espesor, etcétera..., se comprende cuán arriesgada sea la edificación en estas regiones, y el mérito indudable de haberse logrado modernamente un éxito relativamente general.

Sismicidad bética

Viniendo ya a las causas mejor conocidas y más universales de los temblores de tierra, comenzaremos por aducir un ejemplo sencillo, que las pone bien de manifiesto: imaginemos que encima de una mesa hay en primer término una gran cantidad de papeles desordenados, periódicos, revistas, hojas sueltas, etc..., y que cerca del límite posterior se hallan alineados varios libros de grueso volumen; si se empujan hacia ellos los papeles y folletos, unos se doblarán sobre otros, habrá superposición mutua y demás consecuencias del empuje realizado; pero semejante desorden será detenido por los libros y no pasará de ellos. Sustituyamos ahora los papeles por capas sedimentarias en la región de Andalucía, el impulso por la presión horizontal debida al plegamiento africano del Atlas, y los libros por la meseta castellana limitada por la gran falla del Guadalquivir, y tendremos una idea bastante correcta de porqué son frecuentes los terremotos béticos y casi nulos en la región central de la Península.

La geología estratigráfica estudia, mediante el análisis de los diversos estratos superpuestos, la historia dinámica de la corteza terrestre, historia llena de revoluciones y cataclismos, que han perturbado a veces profundamente el subsuelo de comarcas que ahora parecen tranquilas bajo una capa aparentemente estable y quieta; otras veces la perturbación es manifiesta y son conspicuos los plegamientos, semejantes a los del ejemplo de la mesa cubierta de papeles; también lo son las fracturas resultantes de haberse vencido en esos plegamientos la resistencia a la flexión. Pero combinadas con estas causas visibles hay otras ocultas:

la diferencia de peso en los materiales que gravitan sobre esos terrenos así dislocados. Desde los más remotos tiempos la erosión de las lluvias han estado royendo las montañas y acumulando en los valles los aluviones resultantes; en casos especiales fáciles de medir, por ejemplo en la desembocadura de ríos caudalosos, se ha averiguado la cantidad de millones de toneladas que suponen las aportaciones fluviales y el resultado tiene que ser forzosamente un desequilibrio que tarde o temprano exigirá una restitución del balance perturbado: habrá presiones siempre crecientes sobre una porción cortical, que acabarán por determinar movimientos verticales hacia abajo donde haya exceso y hacia arriba donde haya defecto de peso, y como el proceso ha sido lentísimo, pero incesante, al fin llegará el momento de la necesaria compensación.

Semejante liberación irá naturalmente acompañada de fractura, al modo dicho, y tendremos una de las causas fácilmente comprensibles de las sacudidas sísmicas; más aún, las series de temblores más pequeños que suelen seguir a los violentos, vienen a indicar que tras de un proceso principal a gran escala, esas sacudidas secundarias posteriores corresponden a porciones menores, a modo de episodios accesorios y complementarios. El grado de magnitud dependerá evidentemente de la cuantía de las causas que intervienen en el proceso, desde las debísimas sacudidas aisladas apenas registradas por sismógrafos muy sensibles, hasta los cataclismos mundiales de gigantescas proporciones. Cuando las causas internas no aparecen en absoluto al exterior, al menos suelen ser indirectamente observables si se ha tenido la diligencia de determinar sobre el mapa la posición geográfica de todas las sacudidas registradas por los

sismógrafos: entonces aparecen dibujadas por esa serie de focos activos las llamadas líneas sismotectónicas, que revelan claramente la existencia, bajo un suelo aparentemente inofensivo, de un accidente geológico oculto y peligroso.

Al sur de la citada falla del Guadalquivir, discontinuidad a veces aparente y otras oculta, pero importante y profunda, situada en línea casi recta desde los Algarves hasta el cabo de la Nao, se han podido identificar por este procedimiento otras menores y secundarias, que se cruzan caprichosamente por la región bética hasta la de Murcia y parte de Valencia: es la porción más activa del subsuelo peninsular, y enlaza por el golfo bético-rifeño con el norte de Marruecos, igualmente agitado por terremotos; si los béticos, afortunadamente, son más numerosos que violentos de ordinario, ello es debido en parte a que cuenta con tres estaciones sismológicas en Almería, Granada y Málaga, cuya vigilancia continua permite una estadística bastante completa de esta clase de movimientos, especialmente durante el presente siglo.

No faltan las excepciones, en que se han alcanzado grados importantes de intensidad así sobre la falla misma del Guadalquivir, donde hubo algunos fuertes en tiempos pasados correspondientes a las provincias de Sevilla y Córdoba, como más recientemente en la de Jaén; algo así como si la gran fractura interna fuese cediendo parcialmente y dando lugar a reajustes de ritmo generalmente centenario, como ocurre en cierto modo a lo largo de la península Itálica, donde los focos se han dibujado alternativamente más al Norte o más al Sur sin salir de una dirección predominante. En menor escala sucede otro tanto en varias porciones del territorio bético, pero aquí el vaivén descrito por los epicentros se manifiesta de Oriente a Occi-

dente y las intensidades son moderadas, salvo algún caso como el de Alhama de Granada a fines del pasado siglo, que alcanzó la categoría de destructor; y es de notar que a partir de entonces apenas hay año en que no se registren en los observatorios próximos de Málaga y Granada, casi equidistantes de esa localidad, varias sacudidas secundarias y débiles.

Los cinturones de fuego

Así se denominan las grandes líneas sismotectónicas mundiales que siguen las costas del Pacífico con precisión geográfica, mientras otra transversal arranca del mar Caribe y por el Mediterráneo y Asia Central va a unirse a la primera; todos los años se completan con el trazado de focos activos, frecuentemente de gran violencia, estos cinturones que se han llamado de fuego por alternar los epicentros con volcanes. De otra índole son los que ocupan matemáticamente el centro de la cresta oceánica que va de Norte a Sur del Atlántico y se ramifica luego por los mares del Sur y por el Artico; hasta tal punto coinciden los focos sísmicos con esa gigantesca grieta de la corteza terrestre, que valiéndose únicamente de los datos sísmicos fue posible predecir la prolongación y disposición de la cresta cuando todavía no había alcanzado a toda su gran longitud la exploración oceanográfica; más aún, alguna vez aparecía un epicentro, localizado por los observatorios, algo desviada del área así prefijada: al punto se hacía sospechosa su localización, y rehechos los cálculos, se comprobó haber habido error, que de este modo se pudo corregir.

El mecanismo de la violenta actividad a lo lar-

go de estos cinturones de fuego ya quedó explicada, al menos con suficiente probabilidad, en las páginas anteriores; se trata de factores relacionados con el origen y evolución del planeta, con signos exteriores en forma de fuertes sacudidas sísmicas, algunas siempre en el mismo sitio a grandes profundidades, otras también sistemáticamente superficiales, como son los de la cresta oceánica mundial. Hay regiones donde los focos se alinean geoméricamente, como si se tratara de una desgarradura a lo largo de la cual se suceden unos a otros; otras veces hay discontinuidades, es decir, porciones de esa línea donde apenas o nunca hay fracturas: algo así como secciones más sólidas y firmes, que resisten largo tiempo sin conmociones internas. Tampoco se puede hablar de líneas propiamente dichas, al modo de nuestra falla del Guadalquivir, sino más bien de zonas alargadas, pero en forma irregular y con ramificaciones en diversos sentidos, dentro siempre del espacio determinado por la dirección general de la anomalía tectónica. Actualmente se están estudiando diligentemente la distribución geográfica y caracteres peculiares de cada comarca sísmica, para que a la luz de las teorías discutidas se llegue a tener una idea más completa del proceso global y local.

Causas verdaderas y falsas

Vamos a enumerar aquí brevemente algo de lo mucho que se ha dicho y escrito acerca del posible, probable y cierto influjo que determinados agentes naturales tengan en el desencadenamiento de las energías sismogénicas: unas como verdaderas causas principales, y otras como meras ocasiones con el famoso efecto de gatillo. Entre estas últimas

está quizá la marea lunisolar, cuya eficacia sobre la flexible corteza terrestre se pudo medir a principios de la sismología de nuestros tiempos; evidentemente tales oscilaciones son de pequeñísima amplitud y además es un fenómeno ligado al paso de ambos astros sobre el terreno en cuestión y parecido, por tanto, al de las mareas oceánicas. Si tal perturbación de orden mecánico ocurre en el sitio y en el momento en que el equilibrio interno de masas corticales es particularmente precario y lábil, se notará alguna preponderancia estadística en el número y tiempo de producirse los terremotos, al menos los más frecuentes y débiles: y en efecto, algo parecido se ha comprobado, de modo que semejante factor no puede descartarse por completo.

Hace un par de años, en la región central del territorio de los EE. UU. se hizo una investigación parecida respecto de la relación entre el número y frecuencia de sacudidas de mediana intensidad en el Estado de Illinois y las variaciones de caudal de los grandes ríos Missouri y Mississippi, ambos de anchísimo cauce y que además suelen fácilmente inundar aquellas vastas llanuras. Recogidos los datos de cierto número de años, se trazaron las gráficas correspondientes y se vio que la coincidencia era satisfactoria; por tanto, el peso adicional de esos aportes hidráulicos eran capaces de intervenir activamente en la génesis de los terremotos.

Con ocasión de algunas catástrofes sísmicas recientes, como las de Agadir y el Irán, se discutió no poco en la Prensa acerca de la posible responsabilidad que en ellas pudieran tener las pruebas nucleares realizadas por la misma época en el Cáucaso y en el Sáhara, respectivamente, dentro del plan de ensayos de la URSS y Francia. Prescindiendo de los motivos de orden político que se ocul-

taran en el fondo de tales rumores, la geofísica pudo responder imparcial y objetivamente, ya que a la pregunta general de si es capaz una explosión atómica de producir un terremoto y en qué circunstancias, la respuesta la dan los hechos y su explicación científica, fundada en la naturaleza de una y otra clase de energía, sin olvidar que para hacer responsable a un Gobierno de tales daños basta con que su actuación en el terreno de esas pruebas resulte al menos ocasionalmente, aunque no causalmente culpable.

Varias pruebas nucleares efectuadas en el desierto de Nevada, en los atolones del Pacífico o en el norte de Siberia, ha producido ondas sísmicas como cualquier terremoto natural y como tal se han registrado en las estaciones sísmológicas, y alguna que otra vez la potencia de los explosivos y las condiciones en que se verificó el experimento permitieron registrarlo a varios millares de kilómetros de distancia. Pero hay una gran diferencia entre sus diferentes clases, según la forma de explosión: los movimientos así engendrados en la corteza terrestre serán máximos, a igualdad de energía explosiva, si proceden de una instalación subterránea, como la que se preparó hace pocos años en un largo y profundo túnel, de modo que nada, excepto el ruido, trascendió al exterior (y por tanto, no hubo contaminación radiactiva del aire, con sus conocidos inconvenientes); resulta menor la intensidad si se hace al ras del suelo o del mar, donde además el agua amortigua mucho la sacudida; será mínima si ocurre a gran altura, sobre una torre o un globo, aunque entonces la citada contaminación sea más peligrosa, y por último serán nulos ambos efectos si, como también se hizo alguna vez, se encarga un poderoso cohete espacial de llevar el explosivo a una altitud con-

siderable, sin posible influjo directo en la atmósfera y mucho menos en la corteza terrestre, aunque parezca tener alguno en las llamadas zonas de Van Allen, que rodean a la Tierra.

Así pues, en la mayoría de los casos, en que las pruebas son de superficie, no se puede hablar seriamente de que a varios miles de kilómetros se haga sentir esta clase de sacudidas, sobre todo si se tiene en cuenta que al propagarse va creciendo en lentitud el período de las vibraciones y que la aceleración comunicada en todo caso a las partículas del suelo se expresa por una fracción, en cuyo denominador está *el cuadrado* de ese período: por mucha que sea la amplitud inicial, y ya hemos visto ser pequeña, va disminuyendo rápidamente con la distancia y como acabamos de subrayar, decrece mucho más aprisa no ya con el período, cada vez más lento y, por tanto, más inofensivo, sino con el cuadrado de esa lentitud; si se registra en los sismógrafos es porque éstos son capaces de apreciar magnitudes insignificantes: en concreto, consta que en el Cáucaso y el Sáhara fueron relativamente débiles.

Tampoco vale decir que al menos una sacudida débil podría ocasionar otra mayor; eso en teoría es posible, pero no hasta el punto de exigir responsabilidades precisamente a una de ellas. En efecto, constantemente se están produciendo violentos terremotos a distancias variables unos de otros y cualquiera de ellos puede ser acusado, al menos de complicidad, y si fuera posible examinar de raíz tal mecanismo, lo ordinario sería quedar probada su inocencia; con el mismo derecho culparíamos a la Luna, de influjo cierto, aunque pequeño, que a De Gaulle o Khrushchev...

Ya ha quedado suficientemente vindicada la inocencia relativa de los volcanes respecto de la ma-

yoría de los terremotos, que tienen su origen por lo menos a una profundidad adonde no se extiende la acción volcánica, de mecanismo hoy bien conocido y localizado; la erupción es algo temible y alguna vez de catastróficas consecuencias, por lo cual desde tiempos muy remotos se ha considerado como una de las más violentas manifestaciones de la potencia energética terrestre. También es obvio pensar en filtraciones de agua hasta los depósitos internos de materiales ardientes, con la natural consecuencia de represarse tales vapores y acabar por romper la costra superior y originar explosiones; pero hace ya bastantes años que en las proximidades de los cráteres se han establecido estaciones sismológicas, que vigilan incesantemente cuanto ocurre en las capas subyacentes; antes de la erupción se manifiesta ella misma por señales que un largo estudio ha probado ser inequívocas y se ha medido con exactitud el lugar y profundidad de cada fenómeno volcánico parcial: lo cual no solamente es provechoso para prevenir desastres, sino que permiten trazar una especie de mapa en tres dimensiones, abarcando todo el dominio de cada volcán, que así viene a ser perfectamente conocido en todos sus pormenores. No cabe aquí el temor incierto de un pesimista "quién sabe", porque dentro de la imperfección de lo humano, tenemos toda la seguridad que deseáramos en muchas otras cosas. Científicamente semejante actitud es inadmisibles y contra el hecho comprobado de la superficialidad y relativa moderación de los sismos volcánicos, no tiene valor suficiente para hacernos temer.

Aunque no nos sea conocido todo lo que los agentes naturales *pueden* hacer, máxime en la materia que ahora tratamos, sí se sabe con bastante seguridad lo que *no pueden* hacer, y ello por la razón

elemental de que si pudieran, ya lo habrían hecho al menos alguna vez; el método prudente y razonable de recorrer y eliminar, como se logra efectuar con frecuencia, todas las formas de influjo posibles en el estudio de un fenómeno, consiste en aplicarle aquella antigua norma de sana crítica, según la cual cuando se han descartado con argumentos sólidos y convincentes todas las hipótesis contrarias, lo que queda, sea lo que fuere, tiene que ser la verdad.

CAPITULO VII

TERREMOTOS PARA LA PAZ

Se hizo al principio de este libro una división de las inquietudes terrestres en buenas y malas, útiles y nocivas, inocuas y peligrosas: en este capítulo trataremos del aspecto más grato y favorable, no solamente en cuanto a los terremotos, que suelen ser más conocidos y prominentes, sino de otras manifestaciones diferentes de esa misma actividad inquieta; al modo que Eisenhower propuso un plan de aplicaciones pacíficas de la temida energía nuclear bajo el lema de "Átomos para la paz".

El "Padre Dinamita"

El continente antártico, por lo que se refiere a sismicidad, ofrece caracteres singulares: en sí mismo apenas da muestras de actividad de esta clase en el subsuelo; está en cierto modo apartado del camino peligroso jalonado por focos sísmicos y volcanes, aunque no le falten algunos de éstos, que

constituyen los cinturones arriba citados; diríase y con fundamento, que la enorme mole de hielo de varios kilómetros de espesor mantiene aplastado e inmovilizado el subsuelo.

Durante el pasado Año Geofísico Internacional se registraron, sin embargo, innumerables sacudidas, que todavía siguen produciéndose, si bien a un ritmo mucho más moderado, en la actualidad. El culpable de gran cantidad de ellas, ocurridas en aquellas heladas regiones y registradas oportunamente por multitud de aparatos portátiles, ha sido... un jesuita: el padre Daniel Lineham, S. I., director del observatorio geofísico de Weston (Massachusetts), encargado de una activa campaña de prospección por medio de terremotos artificiales, y a quien la Marina de los Estados Unidos puso al frente de la empresa; sus compañeros y auxiliares le solían llamar el "Padre Dinamita".

Lo que en gran escala hace la sismología respecto de los terremotos naturales, valiéndose de su registro para conocer las propiedades físicas de la corteza y núcleo terrestre, se hace también en pequeño para explorar las capas superficiales a diferentes profundidades y deducir de tales sismogramas numerosas conclusiones útiles, ya en el orden puramente científico, ya en el práctico, para el descubrimiento de venas metalíferas y demás riquezas del subsuelo que interesa explotar. En el caso presente se trataba y se trata (porque la empresa es larga y penosa) de levantar el verdadero mapa de la Antártida, por oposición al aparente y falso que ofrece la gruesa capa de hielo, que da al continente una apariencia de homogeneidad completamente diversa de lo que en realidad es; y nótese bien que la superficie total viene a ser equivalente a la de Europa y Australia juntas, o sea unos catorce millones de kilómetros cuadrados.

Partiendo de 55 estaciones montadas por numerosos países colaboradores, las exploraciones que han surcado tan vasta extensión llevan recorridos unos 40.000 kilómetros en direcciones oportunamente determinadas, que van cubriendo los puntos más interesantes; el medio más eficaz de que se valen es precisamente la dinamita: las ondas sísmicas provocadas por esos terremotos artificiales revelan no solamente la profundidad a que se halla el verdadero suelo, sino también en ocasiones, la constitución física de éste y su relación con las capas todavía más profundas y con el fondo del mar.

Porque los resultados han sido frecuentemente inesperados: lo que en las cartas geográficas relativamente recientes aparece como tierra firme, está dividido en grandes islas, penínsulas, etc...; asimismo hay sistemas montañosos, de los que no se sospechaba la existencia, porque las cumbres no siempre sobresalen del hielo que las cubre; cuando lo hacen, ello significa que la altitud sobrepasa los tres o cuatro mil metros sobre el nivel del mar; y este nivel no lo es más que teórico, por decirlo así: muy por debajo de él continúa el bloque helado hasta llegar a lo que sería el fondo marino en condiciones normales.

Algo parecido, aunque no con tantos pormenores como se está haciendo en el polo Sur, se está investigando desde hace varios años en Groenlandia, de la que también se empieza a dudar si tiene o no el carácter de gran isla o de archipiélago. Y el mismo procedimiento se aplica en la prospección más fundamental de la corteza terrestre, de las llamadas raíces de las montañas, etc...; a veces, por razones económicas, los geofísicos se ponen de acuerdo con empresas de minas o canteras, y aprovechan las explosiones artificiales producidas por ne-

cesidad comercial para analizar y registrar sus efectos subterráneos.

El hecho es que en la actualidad se gastan millones en dinamita para producir terremotos artificiales, aunque siempre tomando las precauciones necesarias a fin de que ni siquiera un cascote desviado pueda dañar a nadie; no es éste el único sistema por el que se averigua la presencia, cuantía y calidad de las riquezas subterráneas, objeto de la prospección minera, pero acaso es el más clásico y elemental; y muchas veces se emplea en unión de otros (eléctrico, magnético, gravimétrico, etc...), de modo que entre todos completan el cuadro: el resultado final raras veces deja de multiplicar esos millones invertidos.

Sismología y tratados de paz

Quienes hace unos cuarenta años comenzábamos a dedicarnos a la pacífica tarea de descifrar sismogramas, no podíamos sospechar que un día esas gráficas hubieran de ser llevadas a las conferencias internacionales de Ginebra como objeto de discusión entre las grandes potencias. Así ha ocurrido el año pasado a propósito del convenio sobre prohibición de pruebas nucleares, que finalmente se firmó por parte de numerosas potencias, en orden a garantizar en lo posible la paz futura.

El punto álgido de la cuestión radica en la indispensable vigilancia para evitar las eventuales infracciones de semejante convenio. Las maniobras militares, ensayos previos que en todos los tiempos se han realizado para adiestrar a los futuros combatientes en el manejo de las armas ofensivas y defensivas, y para comprobar la eficacia de nuevos ingenios bélicos, se consideran indispensables;

pero lo malo del caso es que no se trata sólo de movillizar tanques, navios y aviones con el obligado acompañamiento de inofensivas salvas de artillería, sino de disparos ingentes y explosiones siempre dañosas por diversas causas, no ya para los militares que se entrenan, sino para todos los espectadores, llamémoslos así, que resultan ser todos los habitantes del globo terrestre: ya es sabido que el principal daño resultante es la contaminación radiactiva, que fácilmente alcanza a toda la atmósfera; pero, si indirectamente se logra con aquella vigilancia discutida, evitar cualquier explosión atómica, la seguridad común quedaría garantizada.

Teniendo en cuenta este aspecto particular de la cuestión, el convenio firmado se refería solamente a las pruebas verificadas en el suelo o en el aire, pero no se mencionaban las subterráneas, por las razones anteriormente expuestas; no obstante, había un evidente interés en estar seguras unas potencias de que las otras no continuaran por su cuenta haciendo pruebas nucleares de este último género, pues ello les obligaría a hacer lo mismo, so pena de quedar rezagadas y a un nivel inferior respecto de su uso.

Ahora bien; los análisis del aire realizados por los japoneses parecen haber sido eficaces en orden a la detección de explosiones rusas, cuyos residuos radiactivos son llevados por el viento; de suerte que no es fácil ocultar las posibles infracciones del convenio si se hacen sobre el suelo; pero las subterráneas pertenecen exclusivamente al dominio sismológico, y respecto a ellas la cuestión se reduce a estas dos interrogantes: 1) ¿Cuántos, cuáles y en qué emplazamientos han de situarse los aparatos detectores de explosiones atómicas para que la red de estaciones sea suficiente y eficaz en registrarlas debidamente?, y 2), los registros así obteni-

dos, ¿permiten distinguir un terremoto natural de una explosión artificial, con tal certeza que pueda ser objeto de un compromiso internacional sin temor a errores o ambigüedades? Bastará, para evidenciar la trascendencia del asunto y el interés por solucionar este problema técnico, la circunstancia de que al plantearse su estudio hace un par de años fue financiado en los Estados Unidos con 75 millones de dólares.

En un principio, los Estados Unidos propusieron no menos de 180 estaciones sismológicas dedicadas a este fin, así como unas doce o veinte visitas de inspección, y posteriormente en una contrapropuesta a fines de 1962 redujo considerablemente el número de unas y otras; y sucedió que la interpretación dada a semejante mudanza, así por parte de los negociadores soviéticos como del mismo pueblo estadounidense, fue desfavorable; aquéllos la rechazaron como maniobra táctica, y éste, por boca de varios sectores del país y aun de algunos legisladores, la calificaron de debilidad y excesiva condescendencia; a esto respondió la Administración que no había tal concesión ni mudanza de posiciones: se trataba de garantizar el cumplimiento fiel de cualquier compromiso de esta clase, pero, en vista de los datos presentados a base de información científica, se juzgaba oportuno reducir como excesiva e innecesaria la demanda primitiva.

Las cajas negras

Se ha dado este nombre a unos sismógrafos especiales automáticos, destinados a ser colocados estratégicamente en los sitios previamente convenidos, donde funcionarían impersonalmente, cerrados y sellados para evitar intromisiones fraudulen-



tas, y en número suficiente para dar entre todas una imagen completa de cualquier explosión nuclear verificada dentro de un amplio radio, así de la U. R. S. S. como de los EE. UU.; este último país insistía por lo menos en la obligatoriedad de una inspección al sitio donde, a juzgar por las gráficas, se hubiera hecho una prueba nuclear; y el manejo y retirada de las cajas negras también había de hacerse por equipos extranjeros o siquiera de carácter internacional: una especie de "casco azul" sismológico. La U. R. S. S. opinaba, por el contrario, que estos encargados habían de ser de la nación donde se hallaran los registradores, y rechazaban absolutamente cualquier inspección ajena.

Desde hace algunos años la entidad oficial estadounidense equivalente a nuestro Instituto Geográfico había instalado o subvencionado en determinadas condiciones no menos de 125 estaciones sismológicas uniformemente equipadas con instrumentos iguales, en 65 países y numerosas islas, sin contar las numerosas antes existentes, e igualmente interesadas en colaborar para la paz y seguridad común, lo que significa cercar el extenso territorio de la U. R. S. S. con una vasta y tupida red de vigilantes; no parecía exceso de optimismo confiar en que así se llegará a descubrir cualquier sacudida clandestina de alguna envergadura. Añádase el novísimo método de las instalaciones submarinas, que parecen abrir perspectivas favorables y resolver de raíz tan enojosa cuestión política; en efecto, para los rusos el lugar más oportuno hemos visto que son las regiones árticas, y en ese mismo océano ha instalado la Universidad de Columbia, Nueva York, sismógrafos submarinos, que han funcionado, no sólo bien, sino frecuentemente mejor que en tierra firme; y si se tiene en cuenta el creciente progreso de los modernos submarinos en sus

diversas formas, el número de cajas negras eficaces por su situación geográfica podrá multiplicarse fácilmente sin suscitar protestas.

Una vez localizado sobre el mapa el foco emisor por los medios indicados, hay varios criterios fáciles para la distinción entre sacudidas naturales y artificiales del terreno, al menos con suficiente probabilidad en casos favorables, es decir, cuando ocurren en una comarca de sismicidad prácticamente nula; la de la U. R. S. S. es bastante conocida, y durante muchos años los boletines que recibimos de sus numerosos y bien equipados observatorios geofísicos nos tienen bien informados de ello sin necesidad de espionaje, hasta el punto de que si los rusos no hubieran ya publicado con gran profusión cartas geográficas y geológicas de su extenso país, tales mapas se podrían reconstruir, por lo que toca a los caracteres sísmicos, "desde fuera". Claro está que en absoluto es posible la producción de un terremoto natural allí donde no los ha habido antes; pero el contraste entre la violencia de lo registrado y la quietud histórica de aquel sitio sería suficiente para sospechar.

Hay otro criterio más seguro aún: no es práctico cambiar frecuentemente el emplazamiento de las costosas instalaciones necesarias para las pruebas nucleares; y, por tanto, se comprobaría por los registros una serie de seudoterremotos que no resistirían el análisis de un experto: no es posible imitar artificialmente el modo peculiar con que se suceden los periodos sísmicos naturales, con sus preliminares más débiles, seguidos de una o varias agitaciones principales y luego de gran número de réplicas nuevamente débiles; y como el alcance efectivo de la detección es hoy, y promete ser en lo futuro, extraordinario, no habrá dificultad en obtener una imagen fiel de los hechos, lograda a

distancias cada vez mayores. Por último, se da la circunstancia favorable para los vigilantes de que escasean mucho los terremotos en la Unión Soviética: sobre uno o dos millones de todo el globo terrestre al cabo del año, le corresponden unos 25 a 50, generalmente en latitudes bajas.

De particular interés es la estructura geológica del terreno donde se verifiquen las explosiones; aunque estén amortiguadas por la elevación sobre el suelo, consta que la transmisión a éste se deja sentir, como ocurre en otra forma con los microsismos; esa energía crece, naturalmente, si la bomba estalla sobre el mismo suelo o bajo él, y solamente se discute la eficacia de las producidas en cavidades internas de gran amplitud. Porque es bien sabido que en la génesis sísmica desempeña un papel decisivo el grado de plasticidad de la porción móvil de la corteza, y a igualdad de causas de sacudimiento, las masas rocosas responderán diferentemente según sus condiciones físicas: tal podría ser aquella plasticidad, que no habría sacudida alguna inmediata, sino a lo más acumulación de tensiones capaces de originar más tarde la ruptura o desplazamiento.

Teniendo en cuenta estos principios, se ha estudiado la posibilidad de escoger tales circunstancias en el terreno de pruebas, que disimulen y amortigüen una explosión, haciéndola prácticamente independiente del ulterior proceso natural de propagación (lo que los técnicos han llamado *decoupling effect* = efecto de desconexión). Con anterioridad a las pruebas norteamericanas de 1962, la mayor parte se habían hecho en el desierto de Nevada, sobre un suelo de toba volcánica o debajo de él, precisamente para poder compararlas con las verificadas en otra clase de terrenos; y, en efecto, en los de aluvión, la energía propagada, a igualdad de po-

tencia explosiva, resultó ser de cinco a diez veces menor que en la toba, y doble o triple si se hacían en granito o sal.

Sin embargo, los aluviones no son tan aptos para disimular las pruebas como parece deducirse de estas cifras; porque precisamente por tratarse de un suelo blando, es forzoso profundizar más que en otros duros, a fin de contener la acción explosiva; y tanto más, cuanto la potencia haya de ser mayor; por lo demás, las huellas o cráteres resultantes son demasiado visibles para intentar ocultarlos a una posible inspección. El uso para tales fines de una vasta cavidad subterránea significa una reducción nada menos que de 100-300 veces; pero implica notorias dificultades prácticas: por cada kilotón hay que ahuecar un volumen de 57.300 metros cúbicos en roca salina, y fuera del coste de la operación y el complicado proceso de eventual ocultación de los materiales extraídos, está el problema de ingeniería relativo a la solidez y resistencia de las bóvedas, así como la posibilidad de volver a utilizar la cueva para pruebas posteriores.

Al crecer la potencia detectiva y la sensibilidad de los novísimos sismógrafos, se ha afirmado recientemente que bastaría una red no muy tupida de estaciones perfeccionadas y convenientemente situadas fuera de la Unión Soviética para descubrir e identificar cualquier explosión que no llegue a dos kilotones, si ocurre en granito o sal; en tobas, hasta dos, y en aluviones, hasta catorce; ahora bien, recuérdese que las correspondientes a la última serie de pruebas rusas no se medían en kilotones, sino en megatones, es decir, equivalentes, no a millares, sino a millones de toneladas de trilita, y que para un ensayo eficaz no bastan intensidades pequeñas. Un interesante informe publicado a fines de 1962 a propósito de este problema,

terminaba con las oportunas observaciones siguientes: habrá, indudablemente, progresos futuros en la técnica de detección de pruebas clandestinas, de los que acaso no tengan noticia quienes pretendan violar los acuerdos sobre desarme nuclear; pero también hay que contar con progresos correlativos en el arte de ocultar y disimular, que sean ignorados por los encargados de vigilar y sancionar las infracciones...

Detectives sísmicos

Vengamos ahora a la segunda cuestión planteada más arriba y a la tarea encomendada a los sísmólogos como guardianes de la paz, es decir, a la interpretación de las gráficas como documento acusador de la infracción cometida en posibles pruebas atómicas clandestinas. Dos son los medios conducentes al éxito de esta empresa: reformas en los aparatos, adaptándolos más a su cometido, y criterios nuevos de interpretación, que salven no pocos obstáculos graves; entre éstos se encuentra el llamado problema del "fondo", común a otras clases de registro para diferentes fenómenos naturales; mientras no se llegue a dominarlo, las amplificaciones actuales o futuras de muchos millones de veces no bastarán para una buena interpretación, ya que, como sucede en astronomía con la perturbación atmosférica, es imposible amplificar la imagen sin aumentar en la misma proporción los parásitos que la perturban.

Poco es lo que se ha hecho público, así sobre el dispositivo de las famosas cajas negras, como acerca de otros modelos novísimos de sismógrafos detectores; ya eran conocidas las defensas contra diversas vibraciones de origen artificial: instala-

ción en cámaras subterráneas excavadas en sólidos terrenos, alejamiento del tráfico de vehículos, etcétera...; han sido altamente satisfactorias las instalaciones en pozos profundos, como el de 2.360 metros, cerca de Hobart (Oklahoma), y el de 3.000, próximo a Dallas (Texas), con que se ha logrado captar ondas que el mismo tipo de sismógrafo no puede registrar en la superficie, por la sencilla razón de que, arriba, son absorbidas por los terrenos superiores, y abajo, no; se establece así una especie de carrera entre una y otra fuente de ondas: la que interesa registrar y la que enmascara y hasta anula la primera, al modo antes mencionado de los microsismos respecto de los sismogramas.

Se ha dado el nombre técnico de relación entre señal y ruido de fondo a la proporción aritmética entre la intensidad o amplitud de una onda y las de las vibraciones parásitas que la perturban. Una prueba nuclear de Nevada, el 15 de febrero de 1962, fue registrada en el pozo de Hobart, y en el sismograma no solamente aparecían ondas no registradas en la superficie, sino que la relación señal-fondo era tres veces mayor que arriba; ulteriores experiencias mostraron que, en general, mejoraba esta relación hasta hacerse de cuatro a cinco. En el otro pozo de Dallas, más profundo, la relación obtenida en el registro de una explosión del 27 de junio, fue también de cinco.

Algunos componentes de este fondo son ya conocidos de antiguo y un sismólogo experimentado las distingue fácilmente; pero no es lo mismo distinguirlas que hacerlas desaparecer cuando estorban. Los microsismos, aunque de carácter superficial, no desaparecen totalmente en un registro subterráneo; pero a todas estas perturbaciones son teóricamente aplicables los novísimos sistemas de eliminación empleados hoy en radioastronomía,

donde ocurre lo mismo con ruidos de fondo, unas veces procedentes del mismo instrumento al captar las señales cósmicas, y otras de la interferencia entre las emisoras siderales interesantes y las que por el momento no interesa recibir: consiste en someter la gráfica a un analizador electrónico, a cuyo cerebro se han dado las debidas instrucciones, y él se encarga de separar las ondas "buenas" de las que no lo son; algo de esto hace ya el sísmólogo en su labor cotidiana, en cuanto le es posible; pero aquí, como en tantas otras aplicaciones prácticas del automatismo, la máquina suple con ventaja lo que a él le puede faltar de tiempo, trabajo y... paciencia. Inútil es añadir que tales recursos perfeccionados tienen frecuentemente el defecto de ser demasiado caros.

Hay que luchar también con una dificultad absolutamente inevitable, de carácter intrínseco a cualquier registro sísmico: las incertidumbres originadas por la transmisión a través de las capas internas de la Tierra; esta dependencia de las propiedades del medio por donde llegan las ondas se ha evidenciado en algunas pruebas recientes: el examen de sismogramas procedentes de emplazamientos distantes muestra que las explosiones, como los terremotos naturales, han buscado diferentes canales o caminos para su propagación subterránea, prefiriendo unos a otros según normas desconocidas, de suerte que, por ejemplo, hubo explosiones mejor registradas en las lejanas estaciones de Alaska que a distancias menores dentro de los Estados Unidos. En la del 16 de julio de 1945, a 33 metros sobre el suelo, y, por tanto, más débil en sus efectos, se observaron ya dos anomalías, que posteriormente han sido útiles: el registro alcanzó hasta 1.200 kilómetros de distancia, y en las proximidades del lugar de la prueba se instaló un

sismógrafo especial de gran velocidad en el cilindro receptor, donde ya aparecieron ondas nunca antes vistas en los sismogramas ordinarios.

Señales distintivas

El presidente de la División de Ciencias Geológicas de la Universidad de Harvard, doctor Don Leet, estudió técnicamente el problema de la mencionada distinción entre sismogramas de fuente natural y artificial, en orden a la búsqueda inspección eficaz de las explosiones atómicas a distancia por vía sismológica. Acerca de su posibilidad se inclinaba a la afirmativa, aun en el caso extremo de tratarse de una potencia moderada, de pocos kilotones, una de las cuales llegó a registrarse por estaciones situadas a 10.000 kilómetros del foco emisor; la esperanza se funda en que son dos clases diferentes de fenómenos y, por tanto, es natural que los efectos en la gráfica también lo sean.

De hecho, en un próximo pasado los sismólogos se enfrentaron y, en parte, resolvieron este problema respecto de sacudidas provocadas por explosivos no nucleares; pero no hay que olvidar que cuando la potencia es extraordinaria, de dimensiones mundiales, evidentemente han de participar de los caracteres de un gran sismo natural. La principal diferencia podría expresarse vulgarmente diciendo que tal explosión es un golpe "seco", notablemente localizado y prácticamente reducido a un punto geométrico, en oposición al impacto mucho más complejo, extenso y repartido a lo largo de una línea de fractura, o en un bloque cortical móvil; hay otra distinción, teóricamente clara, cual es la dirección del primer movimiento del suelo, que en el terremoto ordinario puede ser hacia dentro o

hacia afuera, respecto de la superficie, mientras que en el artificial, aunque sea subterráneo, es siempre hacia adentro; en el sismograma tendremos una onda inicial dirigida hacia arriba en el sismógrafo vertical (dilatación), o hacia abajo (compresión): este último sería siempre el caso cuando el origen fuese artificial, con lo que tendríamos un seguro criterio negativo, por el que se excluirían las gráficas iniciadas por onda de dilatación.

Desgraciadamente, ambos criterios pueden fallar y es imposible hacerlos objeto de un convenio internacional; porque, prescindiendo de la citada lucha contra el ruido de fondo, que aún no es victoria definitiva, la simplicidad teórica del impacto simple y golpe seco queda desvirtuada por las inevitables perturbaciones derivadas del camino recorrido por el rayo sísmico a través de las estructuras complicadas del interior de la Tierra; y en cuanto a la dirección de la onda inicial, bien saben los sismólogos cuántas veces es imposible discernirla, y entonces es forzoso limitarse a consignar en el boletín la existencia probable de un comienzo de registro que, gradualmente, se va haciendo diferente de otras ondas simultáneas perturbadoras: por eso muy prudentemente aconseja Don Leet como medio elemental, si bien no esté al alcance de todos, la multiplicidad de sismógrafos de características instrumentales diferentes, entre ellas la diversidad respecto al período propio, que los hace más aptos para hacerse eco de ondas cuyo período se halla próximo al suyo; de esta suerte crecen las probabilidades de captar entre todos lo que uno solo no podría: ya desde los comienzos de la sismología se consideraba *injusto* exigir a un solo aparato el registro de toda clase de ondas sísmicas.

En 1934 comenzaron en Harvard las investigacio-

nes de este género en orden a establecer criterios diferenciales entre explosiones cercanas, tales como las procedentes de unas canteras situadas entre 100 y 170 kilómetros del observatorio, y los terremotos ordinarios: uno de los primeros resultados fue comprobar un predominio de amplitudes en las ondas longitudinales (P) de compresión y dilatación, que llegan las primeras, respecto de las transversales (S) que les siguen en el sismograma, al revés de lo que ocurre cuando proceden de un terremoto normal. Más tarde, al registrar en condiciones especialmente favorables la explosión nuclear del 16 de julio de 1945, se apreciaron claramente y se analizaron a fondo dos clases de ondas completamente exclusivas de estos terremotos artificiales, que nunca se habían observado en los naturales; se confirmó asimismo el citado predominio de P sobre S, y en estaciones lejanas, la desaparición de S al agotarse su escasa energía.

Un año después, con ocasión de otra prueba en el atolón de Bikini, a 33 metros bajo el agua, se obtuvo en California, a 8.000 kilómetros de distancia, un sismograma con características desusadas; conocido perfectamente el momento de la explosión, de solos 20 kilotones, se identificó bien la llegada de la onda P: pero estaba sola, sin vestigios de S ni de otras ondas siguientes, sobre todo las L superficiales, que para sismos débiles lejanos son precisamente las únicas que suelen aparecer. Por entonces tal fenómeno era completamente desconocido y por varios años se consideró como una extraña anomalía más.

En la actualidad, por el contrario, la observación sísmica de numerosas pruebas nucleares ha venido a confirmar la realidad de esta "P solitaria", aunque su aparición no es tan constante como se esperaba, y a veces falta del todo; igualmente se



INSTITUTO ANDALUZ DE GEOFISICA
Y PREVENCION DE DESASTRES SISMICOS

BIBLIOTECA

notó que juntamente con las S desaparecen también las superficiales. Había, pues, una escala de valores en los sismogramas a distancias crecientes desde la presunta prueba nuclear clandestina que hoy se trata de descubrir; en estaciones suficientemente cercanas o, por lo menos, no muy alejadas, atendido el probable progreso futuro, podrían captarse las propiamente exclusivas e indubitables; a menos de 1.000 hasta 1.500 se estudiaría fácilmente la reversión de P y S; a unos 2.500 debería notarse la sistemática desaparición, cada vez más marcada, de las superficiales, y a mayores distancias aparecería ya la P solitaria, sobre todo teniendo en cuenta que, al crecer la distancia, el rayo sísmico inicial llega casi verticalmente al observatorio, con un mínimo de recorrido a través de las capas someras y absorbentes de la corteza. Hasta tal punto es esto verdad, que en diversos tiempos se han solicitado desde Nueva Zelanda copias de los sismogramas españoles, obtenidos exactamente en el antípoda de aquellos focos sísmicos y, por tanto, a la máxima distancia posible en el globo terrestre, a causa de la excepcional nitidez con que son aquí registradas las ondas primeras, y paradójicamente les resulta más fácil a los sismólogos neozelandeses precisar los caracteres de la sacudida, entre ellos la determinación precisa de la hora inicial, acudiendo al otro extremo del planeta, que examinando los registros propios, inmediatos al epicentro.

Como se ve, aunque se ha investigado diligentemente y se han hecho avances valiosos en tan difícil cometido, aún no se ha llegado a triunfar completamente; entre tanto, la vasta red de observadores puestos a la escucha perfeccionarán, indudablemente, las técnicas enumeradas, y aunque no se logre una solución que llamáramos ni-

tida y matemática, expresada en una breve fórmula, al menos se llegará, sin duda, a algo equivalente, a una certeza moral, fruto del conjunto de datos cuyo número supliría la calidad.

Terremotos útiles

Acaso por primera vez en la historia de la sismología, al reseñar los efectos, generalmente dañinos y no pocas veces catastróficos, de la inquietud terrestre, se ha podido señalar algo positivo y provechoso el 14 de julio de 1958 (por supuesto, juntamente con varias clases de daños) en un sismo de gran extensión a lo largo de la costa de California: uno de los pozos de petróleo cercano a la localidad de Santa Bárbara, cuyo rendimiento solía ser, normalmente, de 2.300 a 3.600 litros diarios antes del terremoto, después de él, sin duda a consecuencia de un trastorno de las capas subyacentes del terreno, aumentó su caudal a 7.700.

De otro género diferente fue la utilidad de una serie de sacudidas sísmicas, de las que suelen revelar la actividad interna de los volcanes, que desde varios años venían siendo estudiadas por los geofísicos japoneses en las cercanías del volcán Sakura-Yima; en 1914, a base de tales observaciones, pudieron afirmar la inminencia de una violenta erupción, que arrasaría irremisiblemente varios poblados de sus inmediaciones. Avisadas oportunamente las autoridades, ordenaron la inmediata evacuación de todos los habitantes, ninguno de los cuales fue víctima de la subsiguiente destrucción de aquellas poblaciones; tan sólo hubo dos ahogados, por propia imprudencia, durante la evacuación. Todo lo contrario había sucedido en San Pedro de la Martinica, a principios de siglo; en pri-

mer lugar, la técnica vulcanológica no estaba tan desarrollada, y lo que es peor, las autoridades prohibieron la huida de la alarmada población: el resultado fue fatal para toda ella, con la única excepción de un negro, que estaba en la cárcel, en un calabozo subterráneo, a donde no llegó la ola de vapores calientes y tóxicos, que asoló la ciudad.

El aprovechamiento industrial de las energías naturales de la Tierra inquieta es, indudablemente, una empresa sobrehumana en la que no puede pensarse seriamente; pero en pequeña escala y en circunstancias especialmente favorables, sí se ha intentado y aun conseguido realizarla: desde 1904 funciona en la villa italiana de Landarello, en la Toscana, una instalación térmica que produce energía eléctrica, donde se utiliza el vapor de las solfataras, que sale a 14 atmósferas de presión y a 190° de temperatura; hasta se ha resuelto técnicamente el problema de la erosión de piezas metálicas de las turbinas, y además se benefician diversos elementos aprovechables, tales como el ácido bórico, carbonato amónico, etc..., por condensación ulterior de esos mismos vapores; uno solo de esos pozos, perforado a 120 metros de profundidad, suministra energía a tres turbogeneradores de 2.000 kilovatios cada uno. Otra tentativa semejante, menos afortunada, se hizo en la cordillera de Santa Elena, a unos 200 kilómetros al norte de San Francisco, de California.

En la isla de los geysers (Islandia), donde la actividad volcánica, bastante independiente de trastornos de orden mecánico, se manifiesta pacíficamente en millares de fuentes termales y unos 30 geysers activos, ya desde tiempos muy antiguos las lavanderas de la capital Reykjavik (literalmente = bahía de los humos), acudían a los arroyos calientes que gratuitamente les simplificaban el tra-

bajo; en 1930 se instaló una pequeña fábrica para proporcionar calefacción a un hospital, una escuela y medio centenar de casas, hasta que en 1943 se organizó una empresa de mayor envergadura, ampliada todavía más en los tiempos actuales, con el fin de resolver este problema a toda la ciudad, en vista del éxito obtenido. No se utiliza el agua tal como brota, naturalmente, al exterior, sino que se ha logrado sacarla pura, sin mezclas salinas y a temperaturas que, al llegar a los grifos de los abonados, es de 75 a 80 grados C.; en el lugar de la explotación, de donde salen las tuberías térmicamente aisladas de 43 perforaciones a diferentes profundidades, apenas se ven señales de actividad; cada medio kilómetro hay sistemas de dobles juntas de dilatación, y las tuberías terminan en depósitos urbanos elevados, de donde se surten los edificios. Las instalaciones costaron 30 millones de coronas; ya amortizadas por haberse cobrado este servicio hasta hace pocos años, a precio de carbón; hoy ya es gratuito; el resultado es una ciudad sin humo, a pesar de su nombre, en que la limpieza, fácil en todos sus aspectos domésticos, contribuye al bienestar general. Para el abastecimiento de agua fría se utiliza otra fuente a 10 kilómetros de la ciudad, situada al borde de un campo de lavas, que olvidadas de toda agresividad actúan como excelente filtro, hasta el punto de poderse emplear esa agua en vez de la destilada que se usa para baterías de acumuladores.

CAPÍTULO VIII

RELOJES Y CALENDARIOS

En la historia, así de los hechos humanos como de los fenómenos naturales, es un dato importante la cronología, que sitúa a cada uno en su propio lugar y permite apreciarlos en la perspectiva conveniente; y en la vida activa del planeta Tierra, cuyos diversos aspectos hemos considerado en las páginas anteriores, es evidente su utilidad, y durante muchos años la geología ha planteado y resuelto no pocos problemas cronológicos relativos a las inquietudes terrestres desde las primeras fases de su formación hasta nuestros días. Pero los métodos clásicos de reconstrucción de procesos por la observación de sus efectos, grabados en las capas de la corteza como en las páginas de un libro, eran forzosamente imperfectos y no pocas veces inoperantes: estaban fundados en el cálculo del tiempo requerido para el enfriamiento (que luego resultó ser calentamiento) y solidificación de materiales planetarios, para la sedimentación marina de las aportaciones continentales, del llamado metamorfismo o evolución mineral debido a diver-

sidad de agentes (presión, calor, etc...), para que esos mismos océanos llegasen a adquirir el actual grado de salinidad, y otros semejantes.

Todos estos métodos presentaban la común incógnita de a qué ritmo se habían verificado tales procesos, por no ser conocidas con certeza las circunstancias del ambiente, que acaso diferían mucho de las actuales. Por el contrario, los procedimientos modernos de datación radiactiva han venido a resolver brillantemente muchos de esos problemas y han proporcionado soluciones satisfactorias, señalando a cada hecho su fecha y tiempo propios dentro de un calendario fijo y seguro, que al mismo tiempo suministraba datos complementarios útiles, ya que la duración de los episodios parciales traía consigo una explicación razonable de los mismos sucesos así clasificados.

El fundamento de este nuevo recurso es sencillo, elemental en sustancia, aunque inevitablemente complejo en su desarrollo y técnica: supongamos que en una caja o bolsa se echan un número igual de bolas blancas y negras, y a tiempos definidos, cada mes o cada año, se saca una negra; evidentemente en cualquier tiempo posterior bastará contar el número remanente de unas y otras para saber en qué época comenzó a disminuir la cantidad de una clase de ellas por esa sustracción sistemática. Ahora bien: entre los átomos que entran en la composición de los cuerpos hay algunos inestables, que por degeneración radiactiva, especie de desmoronamiento del edificio atómico, van perdiendo diversos elementos componentes y transformándose a ritmo fijo, hoy bastante bien conocido en la mayoría de los casos, en otros elementos diferentes, y la proporción mutua de los átomos enteros y los así deficientes y transformados

nos da el resultado final de la merma y la fecha del comienzo de la transformación.

El reloj de los muertos

Uno de estos relojes atómicos es el hoy famoso carbono 14, resultado del impacto de los rayos cósmicos sobre los átomos de nitrógeno del aire, a los que transforma en un isótopo del carbono normal 12, del que se diferencia en que éste es estable y el otro se desintegra espontáneamente a un ritmo tal que al cabo de cinco mil setecientos sesenta años la cuantía de carbono 14 contenida en cualquier cuerpo se ha reducido a la mitad: es lo que se llama para éste y los demás cuerpos radiactivos, semiperiodo y mitad de su vida activa; se comprende que contando los átomos supervivientes a tal destrucción, se conocerá cuándo comenzó ésta.

En virtud del metabolismo orgánico, hay en todos los seres vivos, así vegetales como animales, un intercambio constante de diversos compuestos de carbono: la respiración y el alimento son otras tantas aportaciones de esta clase, de modo que estadísticamente hay en nosotros y en los demás vivos una proporción determinada de ambas clases de carbono, procedentes del exterior, donde también es prácticamente constante la proporción entre el normal y el radiactivo. Pero llega la muerte, y con ella cesan los ingresos en esta cuenta bancaria, que todos llevamos puntualmente; a partir de ese momento empieza a gastarse el capital y a reducirse a la mitad cada cinco mil setecientos sesenta años: si en los estratos de un terreno donde ese cadáver fue sepultado se quiere determinar la fecha de esa sepultura, el análisis radiactivo nos

la dará con precisión. Un ejemplo relativamente reciente ha sido la datación de los manuscritos hallados en las cuevas del Mar Muerto: los pergaminos o las cuerdas con que estaban atados habían pertenecido antes a un ser vivo, animal o vegetal; sometidos al análisis dieron una fecha inicial de mil novecientos ochenta y tres años, es decir, el año 20 antes de Jesucristo (descontado por supuesto el margen de error, variable en cada caso); por este método se alcanza hoy hasta unos cincuenta mil años de antigüedad, y cada vez se afinan más los procedimientos y se restringe más ese margen de incertidumbre.

Tratándose de acontecimientos de dimensiones geológicas, como las que aquí principalmente nos interesan, es evidente que este reloj no basta; es necesario otro de mayor alcance cronológico, o sea, isótopos de vida mucho más larga, como veremos a continuación. Sin embargo, este mismo ha suministrado ya datos importantes acerca de transformaciones geológicas recientes de no menor interés. Ahora bien: la fabricación del carbono 14, a cargo de los rayos cósmicos, suscita una duda que conviene resolver: ¿ha sido siempre constante la intensidad de esta radiación cósmica durante esos millares de años? La respuesta es afirmativa, por estas tres razones: 1) coinciden con esta hipótesis las fechas averiguadas por procedimientos independientes, históricos o arqueológicos; 2) está asimismo de acuerdo con las teorías astronómicas más sólidamente probables, y 3) la corrobora el resultado obtenido por otros isótopos distintos del carbono 14. Actualmente se admite con suficiente seguridad que dentro de un 10 por 100 de variación, la intensidad de radiación cósmica se ha mantenido constante, a lo menos dentro de los últimos 30.000 años.

Tanto el carbono normal como el radiactivo están depositados en dos clases de yacimientos: el depósito dinámico y el quiescente. El primero comprende la atmósfera, las masas de agua y la materia orgánica viva o al menos todavía en vías de putrefacción; el segundo, encerrado en la corteza terrestre, incluye los depósitos de carbón mineral e hidrocarburos, así como otros yacimientos minerales de origen orgánico; en el primero son varios los procesos por los que el carbono procedente de agentes cósmicos se mezcla con el normal, de suerte que el resultado es un equilibrio en la concentración; por el contrario, en el quiescente, sin contacto con el exterior, de donde podría compensarse la pérdida, ha desaparecido en el transcurso de millones de años todo vestigio de carbono 14 que en un tiempo existiera.

Por otra parte, la difusión del isótopo en el depósito dinámico no es instantánea, y el ritmo de este proceso ha variado a través de los tiempos: su reposición afecta primero a la atmósfera, del mismo modo que si se van echando gotas de tinta roja en un gran estanque, aunque toda el agua acabe por teñirse, siempre lo estará más la porción donde las gotas caen; por eso no es de extrañar que en la madera de los árboles, que están en contacto directo con el aire, la proporción isotópica, sea, en igualdad de las demás circunstancias, un 4 por 100 mayor que en las conchas de moluscos en aguas poco profundas. Cálculos bien fundados nos dicen que ese carbono está de cinco a veinte años en el aire, antes de pasar a las aguas oceánicas.

Artificialmente se está alterando la mencionada proporción por adiciones cuantiosas de una y otra clase de carbono; hace unos diez años se hizo un estudio demostrativo, en que se puso de manifiesto

un incremento constante entre 1930 y 1950, llamado efecto Suess por el investigador que lo llevó a cabo: la creciente combustión de carbón fósil y petróleo aportó enormes cantidades de C. 12, en forma de anhídrido carbónico, a la atmósfera, y ello rebajó la proporción relativa en un 2 por 100, si se compara con la que revelan los árboles anteriores a 1890; pero recientemente las pruebas nucleares han compensado con creces semejante empobrecimiento, ya que la intensiva producción de residuos radiactivos, entre los cuales está el C. 14, equivale a un incremento del 2,5 por 100.

A primera vista parece que la conclusión sería desconfiar en adelante de las dataciones de este género; pero no es así. En primer lugar, porque el desequilibrio citado es demasiado reciente, y en segundo lugar, porque una vez que la madera del siglo pasado se ha corregido y reducido a un valor seguro, en cuanto a su edad, proporciona un índice fijo y una norma cierta de lo que sería la madera actual si no hubiera habido perturbaciones radiactivas artificiales.

Un ejemplo puede ilustrar lo dicho: se trata de un interesante informe facilitado por el Observatorio Geológico de Lamont, Universidad de Columbia, Nueva York. Allí se analizaron varios ejemplares de cadáveres de focas momificadas, encontradas en gran número en la Antártida, a veces bastante lejos de la costa, hasta 27 kilómetros, muertas sin duda por no hallar alimento en los lagos de agua dulce o alcalina, allí formados a consecuencia de algún cambio repentino de sus condiciones de vida. Hubo que limitarse a hacer dos hipótesis extremas: o bien se admitía que el régimen alimenticio de estos animales consistía enteramente en organismos marinos, procedentes de las aguas superficiales antárticas (casi despro-

vistas de C. 14, según constaba por análisis anteriores) o de otros elementos más en contacto con el depósito dinámico exterior; en el primer caso la fecha de su muerte sería de unos mil seiscientos años como máximo, y en el segundo llegaría a los dos mil seiscientos: un margen de incertidumbre extraordinario, como se ve, a causa de lo desfavorable de las circunstancias.

Inundaciones heladas

Una de las interesantes y relativamente recientes manifestaciones del dinamismo terrestre son las que alteraron la faz del planeta durante varios periodos glaciales; el mayor avance de esos hielos que cubrieron el hemisferio Norte y aniquilaron casi toda la vida animal y vegetal, llegó a invadir el 32 por 100 de los continentes: partiendo de Alaska, el límite del campo de hielo describía una curva que se adentraba en los actuales EE. UU. hasta latitudes bastante bajas, subía de nuevo para costear el Atlántico, y desde Groenlandia volvía a descender hasta la mayor parte de Europa, y a ascender luego más allá de los Urales a enlazar con el casquete polar ártico. El nivel oceánico, de resultas de esta acumulación de agua en estado sólido en tierra firme, parece haber descendido entonces unos cien metros respecto del actual.

Ha sido posible reconstruir cronológicamente el proceso de las glaciaciones determinando la edad de los troncos de árboles derribados por la invasión de los hielos; la dirección en que fueron derribados es además un valioso dato para completar el cuadro, así como sirve de comprobación averiguar por métodos radiactivos la fecha de formación de ciertos estratos costeros, reveladores del nivel a que

se encontraba el mar en diferentes épocas, como efecto de las mismas glaciaciones; así se ha hecho en las Bermudas y en el delta del Mississipi: en este último lugar el nivel más bajo (83 metros menos que el de ahora) dio más de treinta mil años; le siguen, en las Bermudas, el de -24 con once mil; el de -21, con nueve mil; de -15, con siete mil, y de -8, con tres mil. En la costa de California, donde las terrazas oceánicas se presentan escalonadas, la más baja de todas, situada a -23, también reveló una antigüedad de más de treinta mil. Otro método semejante es la determinación, en las conchas de los microscópicos foraminíferos, de carbonato de calcio, la proporción del oxígeno 16 respecto del 18, dos isótopos íntimamente relacionados con la temperatura de las aguas; por esta vía se comprobó en el mar Caribe que, después de un largo período en que sus aguas estuvieron cinco grados más frías que al presente, hubo una rápida subida hace unos doce mil años.

Hasta hace poco se solía señalar para las glaciaciones norteamericanas en el Wisconsin una fecha del orden de los veinticinco mil años, que los análisis recientes han reducido a solo once mil cuatrocientos, acercando así en más de la mitad de lo que se creía la época de los mamuts y mastodontes. Son curiosos los datos que acompañan las reseñas de muestras y pruebas recogidas por el profesor L. R. Wilson, de la Universidad de Massachusetts: se trata de pinos sepultados por las piedras del aluvión glacial y encontrados ahora en un vaciamiento de turba; fueron derribados en dirección al Sur, algunos aplastados como por un gran peso, y el tronchado de las ramas se hizo cuando estaban verdes y vivas; los más viejos contaban unos ciento cuarenta años, a juzgar por los anillos del tronco, y los últimos eran mucho más delgados,

indicio de que crecieron mal en aquellos años que precedieron inmediatamente a la catástrofe final, a causa de una laguna de cieno creada por el glaciar, que en su avance obstruyó el canal de Mackinac e hizo subir el nivel del lago Michigan.

Se estima en más de cuatrocientos años el tiempo que empleó este glaciar en el último trecho de su recorrido, por lo que, siendo once mil cuatrocientos la antigüedad del bosque, hace once mil que se detuvo definitivamente la invasión helada y empezó el deshielo; uno de los troncos fue arrastrado por la corriente del Missouri hasta su confluencia con el Mississippi, donde hoy está la ciudad de St. Louis, y fue descubierto en 1949, formando parte de una terraza, a quince metros por encima del nivel actual de las aguas, y formada por arena y fango del deshielo; analizado el tronco radiactivamente, el carbono 14 dio una antigüedad de pocos siglos mayor que la del bosque de donde había venido, es decir, cuando el hielo no había llegado todavía a él; así se comprobó la relación entre dos hechos separados entre sí por varios siglos y por varios centenares de kilómetros.

La acción de las aguas del lago Michigan, que alcanzaron un nivel anormalmente alto en los años 1952-1954, descarnó las dunas de la costa oriental (con daños materiales de algunos millones de dólares) y puso al descubierto 76 centímetros de una capa de turba intercalada entre una inferior de 1,5 metros de arena azulada y otra superior de 7,5 de dunas contemporáneas; cuatro épocas se pudieron identificar por el estudio del polen de diversas especies de coníferas: abeto de ocho mil años, pino de seis mil y encina de cinco mil, con un desarrollo floreciente de éstas a partir de los cuatro mil; lo que, unido a los datos geo-

lógicos, reconstruye las distintas fases de la historia climatológica de esta región.

Los mismos hielos, en su lento avance hacia el mar, impulsados por su ingente peso, son los que han abierto y roído las paredes de su cauce, como puede verse por las huellas que en ellas han dejado al rozar con las rocas los guijarros de todos los tamaños arrastrados con la masa helada; los gigantescos *fiords* noruegos son testigos de esta acción ultramilenaria, que ha dado aquel aspecto típico a las costas atlánticas de Escandinavia. Pero si no en forma tan característica, en toda Europa se han buscado y encontrado huellas del avance y recesión del manto de nieve congelada que un día cubrió las tierras, investigaciones semejantes a las reseñadas han permitido señalar a cada episodio su tiempo y duración.

Es notable la forma en que los glaciares contribuyen por sí mismos a la solución de los problemas cronológicos: sabido es que cuando en su avance llegan al borde continental y su extremo acaba por desprenderse y flotar en calidad de ingentes témpanos, se derriten al menos parcialmente y los restos minerales incluidos en su masa, desde polvo impalpable hasta grandes bloques, caen al fondo oceánico. En expediciones recientes se han recogido tales muestras de notable valor científico, especialmente cuando proceden de la gran mole antártica, inaccesible por otros medios a la investigación. En el Artico se recogió uno de estos ejemplares, donde había fósiles fácilmente analizables radiactivamente y calizas procedentes del territorio canadiense; otro tanto se ha hecho en la superficie de algunos témpanos flotantes, que sirvieron de laboratorio móvil a varias expediciones de técnicos: la antigüedad de esa porción, averi-

guada mediante el carbono 14, resultó ser de más de nueve mil años.

Más aún: a lo largo de este proceso ultrasecular y ultramilenario, los restos de la aportación glaciaria, así minerales como orgánicos, que se han ido sedimentando en capas sucesivas y que ahora se sacan en cilindros macizos de gran longitud, correspondientes a largos periodos geológicos, contienen la historia del territorio de donde vinieron, así en cuanto a las vicisitudes climatológicas como respecto al tiempo en que ocurrieron. No es, por tanto, de extrañar que en estos últimos años se hayan desarrollado tan rápidamente las técnicas de laboratorio y se hayan vencido las numerosas dificultades que a los principios comprometían no poco la exactitud de los resultados.

Calendarios atómicos

Se da el nombre de escala geológica del tiempo a una especie de calendario absoluto donde pueden encasillarse las sucesivas fases de la evolución terrestre: formación de las diferentes clases de rocas y sedimentos, paralelamente a la aparición y desaparición de los organismos vegetales y animales. De este valioso auxiliar de la geología no solamente hay que decir que debe su valor al descubrimiento de los fenómenos de radiactividad, sino que únicamente en la última década se ha logrado avanzar con paso firme por este camino, cuando las teorías y comprobaciones de laboratorio han alcanzado por fin una razonable madurez; por tanto, es cosa muy reciente la designación de fechas iniciales para cada era o periodo de la geología histórica, y aun así quedan incógnitas cuando se retrocede hasta los primeros tiempos de que

hay restos analizables, hace unos seiscientos millones de años.

Se da una especie de paradoja en el valor crítico de las fechas que forman la escala de los tiempos: están bastante bien determinadas las intermedias y son más problemáticas las extremas, y aunque es natural que las antiquísimas sean difíciles de obtener con exactitud, no lo es que ocurra lo mismo con las recientes, sobre todo si se recuerda que precisamente entonces sucedieron las glaciaciones, de huellas aparentemente fáciles de seguir, como acabamos de notar. Y sin embargo, así es: desde el fin de la era terciaria, su límite con la última división cronológica, que enlaza con los tiempos actuales, hasta hace unos cincuenta mil años, en que ya son de fiar los datos del carbono 14, los elementos de juicio escasean; es verdad que se acaba de descubrir un nuevo método de datación (el del potasio argón, en cuanto aplicable a intervalos relativamente cortos); pero mientras tanto hay que contentarse con extrapolaciones y conjeturas deducidas de la sedimentación marina y la erosión terrestre durante los últimos setenta mil años, en que empieza el último gran período de glaciación continental; así pues, el comienzo del cuaternario quedaría entre el medio millón y los dos millones, es decir, con un lamentable margen de error del 50 por 100.

Es natural el interés científico que muestran los geólogos por salvar esa otra barrera cronológica que se extiende desde los seiscientos millones de años hacia atrás, por lo menos hasta los verdaderos principios de la sedimentación, que tienen lugar unos dos mil millones más temprano; y lo más grave es que uno de los caracteres de esa barrera consiste en que los datos y huellas, sobre todo de organismos fósiles, se desvanecen casi por com-

pleto y apenas se habían hallado hasta ahora restos de vivientes precámbricos, es decir anteriores al período cámbrico. No por lamentable para la geología histórica es menos explicable el hecho; las formaciones rocosas demasiado antiguas es natural que se hallen sepultadas a mayores profundidades y que se vieran sometidas durante tantos millones de años a grandes presiones que destruyeron de raíz los últimos vestigios de seres vivos, al mismo tiempo que alteraban las estructuras internas minerales.

Ya no son necesarias, sin embargo, las teorías excogitadas para explicar ese a modo de cambio drástico observado en el paso del precámbrico al cámbrico; porque se descubrieron hace pocos años unos ricos yacimientos de fósiles de esa época de transición en Ediacara, Australia meridional, cuya conservación fue debida a la circunstancia no común, pero tampoco nueva en paleontología, de vivir esas medusas, corales blandos y algunas especies raras de gusanos, en aguas de poco fondo, de manera que sus cuerpos o los moldes de los mismos quedaron en capas de arena, cuya edad no se pudo determinar directamente, por no contener minerales radiactivos, pero sí por la secuencia de estratos de un espesor total de 150 metros, en cuyo plano superior empiezan claramente los fósiles cámbricos.

Son varios los recursos hoy disponibles para fijar fechas de enorme antigüedad, incluso próximas al origen planetario más primitivo; entre los métodos útiles para este fin está el potasio 40, que degenera en argón 40 y calcio 40, con un semiperíodo de mil doscientos sesenta millones de años, margen amplísimo, como se ve, capaz de remontarse a cualquier altura cronológica. Con datos de unas pocas decenas de cuarenta dataciones hechas en el Labora-

torio de Geología precámbrica de la URSS, en minerales de Karelia y Finlandia, se han determinado ya cuatro ciclos principales en la parte oriental del escudo Báltico, cuyos respectivos límites son: el karélico, entre mil quinientos y mil ochocientos millones; el belomórico, de mil ochocientos treinta a dos mil; el saámico, de dos mil doscientos a dos mil cuatrocientos, y el catarcaico, de dos mil ochocientos veinte a tres mil cuatrocientos.

El uranio 238, que se halla disuelto en el agua del mar, pasa a ser uranio 234 y éste a torio 230, llamado también ionio, que a su vez da radio 226; pero el ionio se va al fondo y allí, aunque permanece constante la mutua proporción torio-radio, la cantidad de radio decae con la profundidad a que está sepultado y con la edad del sedimento. Conocido el semiperíodo del ionio, que es de ochenta y tres mil años, puede calcularse la duración y velocidad de dicha sedimentación, que es uno de los medios más aptos para reconstruir este género de actividad terrestre en el decurso de los pasados milenios. Es uno de los numerosos ejemplos de los estudios y análisis actuales en multitud de laboratorios modernos.

Ni es solamente el interés puramente científico el que estimula semejantes investigaciones; tienen a veces su aspecto práctico. Se ha dicho con razón que el día en que se logre saber cómo se ha formado el petróleo, se sabrá dónde hay que buscarlo; y hasta hace poco, la mayor parte de las teorías sobre su origen exigían millones de años para la fase primera o preparación de la molécula hidrocarbonada, a la que sigue una especie de migración y acumulación en depósitos, que luego quedan aprisionados por los estratos sedimentarios, y hasta se había afirmado que los fondos marinos no contenían ya en la actualidad hidrocarburos.

Paul V. Smith, de los laboratorios ESSO, con nuevas técnicas, demostró que los había en cantidad suficiente para explicar los depósitos actuales y además que su espectro era muy semejante al del petróleo bruto; se le objetó que tales compuestos podían proceder de depósitos inferiores muchísimo más antiguos; pero el carbono 14 dio la solución al probar que se trataba de formaciones recientes; queda, pues, solamente por investigar la fase posterior de acumulación.

A título de curiosidad añadiremos aquí que aunque el uranio, con sus múltiples combinaciones de isótopos, fruto de degeneraciones sucesivas, suele considerarse como prototipo de elemento radiactivo de larga vida (el uranio 235 tiene un semiperíodo de setecientos diez millones de años), en la cabeza de la lista está otro mucho más importante, cual es el neodimio 144, con cerca de cinco mil billones (dieciséis cifras). Hay más de una docena con edades de esta clase no inferiores a la del uranio; crecen así las probabilidades de que en una muestra analizada se halle alguno de ellos, por donde reconstruir la historia de la región de donde procede: no es raro que contengan varios, de diferentes caracteres radiactivos, y entonces se puede hacer la datación por más de un camino, independiente uno de otro; si conducen al mismo resultado, la comprobación es excelente.

La proporción mutua entre el uranio y el helio, empleada desde principios de este siglo en la datación de las rocas, exigía una corrección por las eventuales pérdidas de helio, error que se subsanaba mediante otras fases radiactivas; hace doce años se obtuvieron para algunos meteoritos edades que fluctuaban entre mil millones y siete mil seiscientos, cifra esta última que resultaba paradójica, porque se admitía entonces una edad menor que la

mitad para todo el cosmos. Con esta ocasión se sugirió una explicación satisfactoria, que aquí no expondremos por extenso, sino que nos limitaremos a notar que entre las causas de variación de la cuantía de helio normal debía de estar su transformación en helio 3; en efecto, la prueba espectacular de la producción de ese helio 3 isotópico se obtuvo en 1952 y se verificó que la proporción entre uno y otro era de tres helios radiactivos por uno normal, siendo así que en la atmósfera la proporción es de uno a un millón; y así se pudo desde entonces averiguar el tiempo que el meteorito había estado expuesto a la radiación cósmica.

En 1960, J. H. Reynolds, profesor de la Universidad de California en Berkeley, San Francisco, halló un procedimiento para retroceder en la datación más allá de la formación misma del sistema solar y determinar así la edad absoluta de sus componentes primarios, de los que se trató al principio de este libro. El "reloj" de Reynolds fue el iodo 129, isótopo radiactivo formado al mismo tiempo de otros muchos, pero que ya no se da naturalmente, a causa de su semiperíodo relativamente corto, de solos diecisiete millones de años. Este iodo degenera en xeno 129, y midiendo su cuantía en la masa meteórica se pudo deducir la cantidad de iodo captado en el espacio y la cantidad de él que había "agotado la cuerda" entre la formación del elemento mismo en el exterior y la del meteorito: el intervalo resultó ser de unos cien millones de años, empleado en constituirse en calidad de planetésimo a base de la materia cósmica primitiva, que en virtud de dataciones independientes había de tener unos cinco mil millones.

Este es el método que se denomina de los "relojes parados", que también podríamos llamar relevo radiactivo, porque consiste en que al cesar la acti-

vidad de uno de esos elementos, los productos de su desintegración, radiactivos como él, le suceden en el oficio de ir marcando los millones de años a un ritmo hoy conocido. En un ejemplar de meteorito litófilo, caído en Richardton, Dakota del Norte, pudo Reynolds calcular la edad absoluta, admitiendo como parece verosímil, que originariamente fuese el iodo 129 tan abundante como el iodo 127 normal, al modo que sucede en casos semejantes con otros elementos: comparada la cantidad o concentración de uno y otro, obtuvo para ese momento la fecha de cuatro mil novecientos cincuenta millones, en perfecta armonía con los resultados generales.

Es algo elemental en esta materia que cuanto más profundo sea el lugar de la corteza terrestre de donde procede una muestra, más antigua habrá de ser, salvo el caso, también elemental, de que un plegamiento o perturbación parecida provoque una inversión de las capas sedimentarias, como suele ser fácil de apreciar. Precisamente tal es la causa de una controversia reciente entre los geólogos rusos y los occidentales acerca de la edad total de la corteza: los primeros alegan que han analizado ejemplares mucho más profundos y por eso han obtenido la cifra discutida de seis mil quinientos millones de años, mientras los segundos desconfían de los procedimientos allí seguidos, cuya legitimidad no les parece del todo segura.

Sea de ello lo que fuere, convienen todos en que el mejor sistema de dirimir la contienda sería "ir a verlo"; es decir, realizar ese plan, que independientemente procuran hoy llevar a cabo unos y otros, mediante la perforación del suelo hasta llegar al manto terrestre, y ponerse así en contacto con lo que hubo de ser la corteza primitiva, en cuyo caso el manto sería el material rocoso formado al

principio de la historia del planeta; si entonces se descubren medios de calcular, como se espera, la edad de esos materiales, el resultado revestiría una trascendencia manifiesta.

Ya se indicó en un volumen anterior de esta colección el plan estadounidense del cual ya son un hecho las primeras pruebas en aguas del Pacífico; los rusos prefieren otro sistema aparentemente más difícil de realizar, pero no desprovisto de ventajas: en vez de escoger un sitio de espesor mínimo cortical, pero en el fondo del océano, con las consiguientes dificultades de acceso a través de varios kilómetros de agua, están buscando un lugar en tierra firme, según parece, al norte de Siberia occidental, o acaso un término medio, en la península de Kamchatka, donde el subsuelo participa algo del carácter continental y del oceánico; se ha comprobado allí una misteriosa falta de propagación de ondas sísmicas transversales (que no se propagan por un medio líquido), lo que parece indicar la existencia de un enorme depósito de lavas, situado precisamente en el límite del manto o quizá dentro de él, de 10 a 12 kilómetros de espesor y unos 30 de diámetro; a diferencia de los depósitos de este género hallados en varios volcanes, éste podría ser el lugar donde el magma volcánico *se produce*, no las cámaras ordinarias donde *se acumula*. Evidentemente la técnica de perforación habrá de ser aquí mucho más complicada.

Aun en el caso de que no se llegue tan hondo en una u otra exploración, nadie duda que los resultados parciales serían todavía muy útiles, pues equivaldrían a conocer y analizar estratos hasta ahora inaccesibles, donde estará probablemente la solución de enigmas planetarios indescifrables por vía ordinaria, y se llegaría a saber mucho acerca de esas épocas remotas antes mencionadas, de las

que carecemos hoy de huellas minerales y mucho menos orgánicas.

Al discutirse todo esto en el Congreso internacional de la Unión Geodésica y Geofísica (mayo de 1959) no faltaron quienes se manifestaran disconformes con este optimismo, alegando entre otras razones que la corteza terrestre es demasiado heterogénea para que se obtengan soluciones adecuadas juzgando solamente por lo que ha sucedido en un solo lugar de ella; a lo que respondió el ponente, H. H. Hess, que aparte los argumentos existentes, que más bien favorecen la hipótesis de una notable homogeneidad, el único camino para llegar a la perforación múltiple de tales pozos suficientes era comenzar por el primero...

CAPÍTULO IX

SOLIDEZ FUTURA DEL SUELO

Desde los comienzos de la sismología moderna se abrigaba la ilusión de que uno de los frutos de esa clase de investigaciones sería el descubrimiento de un método eficaz para predecir los terremotos, ya que como es bien sabido, el aspecto más funesto de tales fenómenos y de sus consecuencias catastróficas es lo inopinado y repentino de su producción. No carecía de fundamento semejante esperanza: no pocas ciencias naturales de aplicación práctica en la vida humana incluyen en sus principios doctrinales el pronóstico o previsión del futuro en virtud del estudio del pasado y presente: matemáticamente diríamos que los fenómenos observados se representan por una curva cuya ecuación se logra calcular y mediante ello prolongarla al menos con sólida probabilidad; la predicción del tiempo en meteorología es el ejemplo más palpable, y para el médico igualmente es importante prevenir el curso que ha de seguir la enfermedad.

Peró en uno y otro caso es indispensable que al pronóstico proceda el diagnóstico, donde se pre-

suponen dos cosas esenciales: la observación de los síntomas y acción de los factores decisivos lo más completa posible, y la existencia y conocimiento de las leyes por que se rigen; ahora bien: ¿dispone el sismólogo o geofísico de ambos elementos de juicio?

El fondo de la cuestión

En uno de los capítulos anteriores hemos intentado conocer por qué se mueve la Tierra y examinar el mecanismo de su actividad interna, cuyos signos exteriores son, entre otros, los temblores que agitan su suelo; indudablemente tales fenómenos se rigen por leyes semejantes a las astronómicas, meteorológicas, etc...: si existe una fuerte tensión o presión a que están sometidos los materiales, la física nos podría decir cuál habrá de ser su comportamiento cuando sea vencida la resistencia y solidez: se producirá una ruptura, un deslizamiento, un reajuste o un fenómeno más complejo, si se trata de capas muy profundas. Todo ello se sabe en teoría, en abstracto; pero en concreto, respecto del subsuelo correspondiente a este lugar, y a varios kilómetros de profundidad, ni se sabe ni parece posible poder saberlo, por falta de conexión de esos agentes con los que están al alcance de la observación humana; cuando los muros de una casa dan señales de ruptura inminente, los técnicos en la materia pueden avisar a sus habitantes de la inminencia de un desplome, como en el caso arriba citado de los bomberos de Granada; pero si el peligro procede, no ya de los cimientos, sino del emplazamiento mismo de éstos, la dificultad crece y llega a hacerse insuperable.

Adoptada así desde el principio tal actitud pe-

simista, harto justificada sin embargo, veamos si cabe en ella alguna atenuación. A fines de 1963 se daba en la Prensa la noticia de unas investigaciones realizadas en unas minas de Centroeuropa, donde se estaba vigilando con aparatos registrados semejantes a los sismógrafos, las pequeñas sacudidas procedentes de las capas del terreno atravesado por los pozos y galerías, a fin de conocer muy al pormenor los desequilibrios, reajustes, etc..., que a un tiempo servirían para prevenir posibles accidentes e indirectamente darían luz sobre lo que en mayor escala sucede en la corteza terrestre; ya desde tiempos antiguos comenzaron, y siguen hoy, los ingenieros de minas, a practicar reconocimientos, martillo en mano, a lo largo de esos pozos y galerías, y su oído experimentado les daba a conocer el estado de solidez y firmeza de que depende la seguridad de los mineros.

En otras ciencias naturales, donde ocurren dificultades de accesibilidad semejantes, se suple a veces con un recurso de carácter global, allí donde no es dado estudiar los casos particulares; en climatología, por ejemplo, es imposible predecir la cuantía y distribución territorial de la lluvia sobre una región, y menos aún en una localidad pequeña. Sin embargo, recogiendo pacientemente durante muchos años los datos locales o regionales de precipitación atmosférica, como ello se debe a factores bastante fijos y enlazados con agentes geofísicos conocidos en sus líneas generales, se llega fácilmente a determinar los elementos que caracterizan el clima de cada sitio, atendida su posición geográfica, altitud sobre el nivel del mar, etcétera...; el resultado es un conocimiento útil y de ordinario suficiente para fines prácticos, v. g. la agricultura, que así tendrá una norma prudente de lo que puede esperar de lluvia para diferentes

clases de cultivos; y lo mismo se diga de probabilidad de heladas, tormentas, etc...

Ya hemos visto que respecto de los terremotos ocurre algo parecido; hay una especie de clima sísmico propio de cada región del globo, y por eso cada año el mapa de epicentros mundiales se suele repetir con ligeras variantes: nada más fácil, pero también nada más inútil que pronosticar para el año venidero una distribución de focos sísmicos semejante a la de este año, norma antiquísima sintetizada en el dicho vulgar de que "donde la tierra ha temblado, volverá a temblar"; se funda en que los procesos internos antes explicados se desarrollan a un ritmo secular o milenario. Acaso un poco menos inútil sería este procedimiento si se aplica, no al globo terrestre total, sino a líneas sismotectónicas particulares, y si fuese posible, a focos individuales; ni en los volcanes ni en los terremotos cabe una generalización que tenga aplicación práctica: cada volcán y cada accidente tectónico tiene su modo especial de evolucionar durante lo que llamaríamos su vida activa; por eso se instalan observatorios vulcanológicos inmediatos al cráter, y en regiones de alta sismicidad se hace algo parecido, aunque evidentemente con menor precisión topográfica, ya que difícilmente pueden localizarse los focos aislados. En la vega granadina se podría hablar del foco de Santafé, del de Pinos Puente, etc..., siempre con alguna indeterminación; pero en conjunto la estadística relativa al conjunto comprendido dentro de pocos kilómetros cuadrados es hoy bastante completa, con datos de más de medio siglo. Sin embargo, no hay más remedio que reconocer que una ojeada a la gráfica representativa de semejante resultado es francamente descorazonadora: la distribución en el tiempo y en el espacio de una larga serie de fenómenos

de esta clase lleva el sello de la inconstancia y solamente el curso general a través de los años revela algo parecido a una regla o norma de conducta; después de un paroxismo más violento, unas veces se sigue un período de relativa calma, como si las tensiones motrices, una vez desahogadas, perdiesen vigor hasta acumular nuevas energías; otras veces, por el contrario, son el comienzo de nuevas series.

Se oye hablar o se lee que hay sacudidas preliminares, capaces de advertir la inminencia de una sacudida mayor, e igualmente de réplicas, generalmente menores que ella, por las que se va extinguiendo y restableciendo el equilibrio antes comprometido; indudablemente hay algo de esto, pero en manera alguna es regla general de la que pueda uno fiarse: lo que pudiera tomarse por preliminar, apto para prevenir y alarmar, es frecuentemente un golpe aislado, sin relación alguna inmediata con el desarrollo de futuros procesos mayores; e igualmente se han dado casos de réplicas posteriores, de intensidad más fuerte que lo que aparentemente era el terremoto principal: tal es el resultado de un estudio bastante restringido y que, por tanto, parecía haber de revelar indicaciones útiles a este propósito.

La falla de San Andrés

Si en alguna región es dado aplicar fructuosamente la ciencia sismológica en orden a la utilidad práctica en forma de pronóstico sísmico, es indudablemente la de California, donde se reúnen las siguientes circunstancias favorables: la alta sismicidad de ese estado está, por decirlo así, localizada en un accidente tectónico bien conocido

y estudiado a lo largo de muchos años: la falla de San Andrés, especie de herida abierta en la corteza terrestre, cuyos labios son visibles, porque afloran a la superficie del suelo y permiten medir sus desplazamientos periódicos, al modo que antes se dijo de las grietas visibles en los muros de una vivienda; de su energía potencial y reprimida, que tuvo en tiempos pasados paroxismos de huellas persistentes, uno de los cuales fue el gran terremoto de San Francisco (18 de abril de 1906), se ha dicho que equivale y supera al poder destructor de muchos millares de explosiones atómicas; hasta se pueden explorar y examinar las grietas secundarias que parten de ella en direcciones definidas y hasta señaladas en el mapa con sus correspondientes nombres propios: así las de Garlock, White Wolf y Hayward, algunas de las cuales pasan por ciudades populosas, como Long Beach y San Bernardino.

Si a estas *facilidades* se añade la presencia de especialistas en sismología de gran renombre en el mundo de la ciencia, como los profesores de la Universidad de California en su Instituto de Tecnología, que disponen de una vasta y tupida red de estaciones sismológicas estratégicamente distribuidas por toda la comarca, parece que no falta nada en cuanto a elementos útiles de juicio; y sin embargo, aún hay más: cuando ocurre un terremoto de alguna importancia, se organiza al instante una caravana de camiones portadores de estaciones sismológicas portátiles, que son convenientemente instaladas alrededor del epicentro, de modo que si no el movimiento principal, ya pasado e imposible de conocer por anticipado, al menos las réplicas sean registradas minuciosamente y den a los sismólogos datos interesantes acerca del mecanismo interno del fenómeno; al mismo

tiempo se ha movlizado automáticamente otro ejército de informadores voluntarios entre la densa población de aquellos parajes, encargados de comunicar toda clase de pormenores sobre los efectos sentidos en todas partes.

No es poco lo que ya se sabe por tales procedimientos de observación y registro intensivos, unidos a las demás investigaciones generales relativas a la acción profunda de la corteza terrestre: la falla en cuestión tiene una longitud total de más de 3.800 kilómetros, desde el extremo Norte, al largo de la costa del Estado de Oregón hasta el golfo de California, y el trayecto que más interesa explorar es el que desde San Francisco atraviesa por tierra la región californiana por espacio de un millar de kilómetros; las tensiones acumuladas en esta porción han sido vigiladas especialmente durante el último siglo: su parte occidental es la que se desliza hacia el Norte como resultado de las fuerzas aplicadas desde el interior; pero la historia de esos cien años no basta para apreciar con seguridad los caracteres y tendencia futura.

Es verdad que el sismo de 1906 relajó no poco ese estado violento, hasta el punto de que se confía no haya de repetirse hasta principios del siglo próximo; el desplazamiento relativo de ambas piezas de la falla fue entonces de unos seis metros, como también fue del mismo orden el de Fuerte Tejón, en 1857, en la porción meridional del Estado. Desde 1906 ha habido avance lento de toda la comarca móvil, de unos tres metros, y la fricción entre ella y la parte fija oriental parece ser la razón de no avanzar más aprisa; pero no bastará evidentemente para impedir un deslizamiento más rápido en fecha futura, desde luego incierta. A lo más que se aventuran los sismólogos es a señalar como región más probable de sacudimien-



INSTITUTO ANDALUZ DE GEOFISICA
Y PREVENCION DE DESASTRES SIMICOS

BIBLIOTECA

to intenso la del Fuerte Tejón, entre Paso Robles y la frontera mejicana, es decir, hacia el centro de la falla.

Señales preventivas

Acabamos de descartar, al menos como insuficiente, el signo más natural y provechoso en orden a anunciar un trastorno inminente en la mecánica del subsuelo, cual es que el terremoto mismo se encargue de avisar mediante las sacudidas preliminares, debidamente interpretadas; no han faltado tentativas razonables de suplir esta falta por otros medios, cuales son los efectos perturbadores que el exceso de presión interna represada pudiera tener en ciertas manifestaciones registrables del magnetismo terrestre; hasta el presente no se ha obtenido por esta vía resultado alguno favorable.

En cambio, desde la más remota antigüedad se ha ido formando en el vulgo y a veces también en esferas más elevadas de la intelectualidad, un copioso cuerpo de doctrina, cuyo principal defecto vamos a señalar desde el principio: la confusión lamentable de manifestaciones sísmicas posteriores al fenómeno con los signos precursores de éste, tales como la perturbación en las corrientes de agua o en los pozos y fuentes. Se cita como fidedigna la relación antigua de que Ferecides anunció un violento terremoto en Ferrara sólo por beber un vaso de agua del río Eridano, y con esta ocasión se pretendía confirmar la doctrina de algunos filósofos antiguos sobre el carácter químico de tales movimientos en su origen, calificando de sulfúreo el sabor de aquellas aguas.

Fray Iñigo Abbad, en su *Historia de Puerto Rico* (1866) recogía las siguientes opiniones populares

de los naturales de la isla: "En las quebradas o abras de los montes hay neblinas espesas pegadas a la tierra *por mucho tiempo*, o en las aguas, algún sabor sulfúreo o *extraño del natural*; que cotorras, periquitos, cuervos y otros se juntan en bandadas y dan muchas vueltas con *mayores graznidos de lo ordinario*; vacas y caballos repiten con *frecuencia* mugidos y relinchos: son señales seguras de terremoto." Nótese que se trata de fenómenos casi normales, a los que se añade alguna particularidad especial en el modo de presentarse (son las que se han subrayado) y, por tanto, difíciles, si no imposibles de precisar con seguridad y de apreciar imparcialmente. Lo peor es que, según el mismo autor, estas mismas señales sirven para pronosticar los ciclones de las Antillas.

En nuestros mismos días perduran tales creencias populares en no pocas comarcas de la América Española, en particular las que relacionan esos signos con multitud de fenómenos meteorológicos; así, por ejemplo, de ciertas formaciones nubosas se dice: "cielo aborregado, mañana agitado", donde se hace solidario el cielo con los trastornos del suelo. Hay, sin embargo, aquí una especie de fundamento psicológico para admitir lo que científicamente consta ser completamente falso: de una parte la frecuencia de terremotos, mayores o menores en muchos de estos países sudamericanos, de otra las relativamente pocas veces que ocurren las pretendidas señales premonitorias, y por consecuencia natural, la inevitable coincidencia que alguna vez tendrá lugar, lo que unido a la vaguedad de la mayoría de los pronósticos, da pie para relacionarlos entre sí: es el mismo caso de las variaciones frecuentes en el estado del tiempo, paralelas al curso de las fases lunares, de donde ha nacido la tan arraigada doctrina popular sobre el influjo efi-

caz en las nubes y el viento de nuestro sufrido satélite.

Con motivo del megasismo portugués de 1755 abundan en los escritos de cierta altura cultural, datos curiosos sobre el estado del cielo en Madrid antes o durante dicho terremoto; así se hace notar que hubo un halo solar la víspera de aquel funesto 1.º de noviembre; que la temperatura del aire era excepcionalmente fría o caliente, que había o no viento y en qué dirección soplaba, y hasta se añade la nota erudita de citar en confirmación de ello la autoridad de los filósofos antiguos, como es el testimonio de Plinio *nunquam intremiscunt terrae nisi sopito mari coeloque sereno* (nunca tiembla la tierra sino cuando está el mar tranquilo y el cielo sereno).

En el fondo de tales apreciaciones estaba todavía latente el antagonismo entre las doctrinas tradicionales filosóficas y las ya nuevas tendencias científicas opuestas a ellas en muchos terrenos de las ciencias naturales. Difícilmente se arriesgaban los eruditos a enfrentarse con lo que aún conservaba ciertos visos de autoridad científica; y si lo hacían era con cierto temor y precaución. "Caso notable" escribía desde el Perú el misionero Padre Bernabé Cobo, S. I., en 1653, "ocasionándose los terremotos, según la común opinión, de los muchos volcanes de las sierras y cordilleras de estos reinos, con estar éstos separados del mar y más hacia el oriente de la cordillera (de los Andes), son más sujetos a temblores los llanos del litoral que las provincias de la sierra". Según datos geográficos muy exactos del mismo autor sobre la extensión de las áreas macrosísmicas (aquella en que se sienten los temblores con mayor intensidad), eran frecuentes en las regiones costeras los que comprendían, si eran medianos, unas cien leguas a lo largo de la costa y

unas veinte o treinta tierra adentro; y los *generales y famosos* más de tarde en tarde, 400 a 500 de costa y de cincuenta a ochenta hacia tierra.

Un "dictamen" del maestro Fray Benito Feljoo publicado a raíz del terremoto portugués con el extraño título de *El terremoto y su uso*, trata con notable buen sentido de los efectos psicológicos en la población y de la conveniencia de tranquilizar la opinión pública mediante una explicación razonada y prudente de los hechos, juntamente con la crítica y serena valoración de las famosas señales preventivas, cuyo efecto podría fácilmente ser contraproducente, teniendo en cuenta la versatilidad de la alarma pública, que fácilmente pasa al extremo contrario de la excesiva confianza. En el prólogo de este escrito insiste su autor, el licenciado Juan de Zúñiga, de Toledo, en lo inútil y aun nocivo de tales pronuncios: "Demos que no se oculte a nuestra perspicacia toda la configuración interna de la Tierra; concedamos que hay quien conozca todas sus partes vitriólicas, oleosas, salinas, bituminosas y sulfúreas: ¿sabrán cuándo se agitan y por qué? ¿Cuándo las pone en movimiento la colisión?, y sobre todo, ¿cuándo y por dónde ha de romper aquel tumulto que llamamos temblor de tierra? Si se da crédito a lo que se afirma de que la sequía prolongada o al revés, la abundancia de lluvia concita los terremotos, tendremos alarmada la gente y en perpetuo susto lo mismo cuando llueva que cuando no llueve; si se cree en la famosa predicción de Ferécides en virtud del agua turbia del río, cualquier crecida de las corrientes o caño sucio o mala vasija, bastará asimismo para alarmar".

No se podría discurrir más sensatamente en los tiempos actuales, donde, además, consta que no han faltado desaprensivos que después de sembrar el pánico entre la gente sencilla se han aprove-

chado de su huida para desvalijar los hogares abandonados. Las declaraciones hechas a este propósito por los profesores citados más arriba de la Universidad de California son terminantes y sinceras: sin rubor alguno reconocen su ignorancia, aunque no pierdan del todo la esperanza en el futuro progreso científico; preguntado uno de ellos cuándo vendría el próximo gran terremoto californiano, respondió llanamente que lo mismo podría ocurrir mañana que dentro de un siglo, y aludiendo a los trabajos actuales en esta materia de alcance internacional añadía que presupuesto el mutuo influjo de unas en otras partes de la inquieta corteza terrestre, tal como admiten hoy algunos, semejante investigación mundial tan compleja está ahora solamente en sus comienzos y es posible que no se llegue a la meta de un seguro pronóstico sísmico hasta dentro de varias centurias.

Entre tanto es bueno notar que los californianos, y en particular los habitantes de San Francisco, no se preocupan excesivamente por la inminente catástrofe que pueda avecinarse y viven contentos y tranquilos en su hermosa ciudad; otro tanto sucede a los de la populosa urbe de Los Angeles, a pesar de los problemas de la congestión del tráfico (es la que mayor número de automóviles tiene de todo el mundo: uno por cada tres habitantes), y con buen sentido práctico dicen que en otras ciudades del mismo país tienen inundaciones, huracanes, tempestades de nieve y otros males desconocidos en California, que, en conjunto, tiene fama bien merecida de ser un sitio maravilloso para vivir.

El último recurso

Uno de los fundamentos de esa tranquilidad es algo parecido a lo que en ocasiones sucede con ciertos desórdenes fisiológicos en los que el remedio radical de una intervención quirúrgica no es aconsejable por la disposición especial del paciente; y entonces se le aconseja, no solamente la indispensable paciencia, sino también el modo más conveniente de "vivir con su enfermedad o lesión", lo que muchas veces es perfectamente posible y constituye toda una solución del problema. En el caso presente, descartada absolutamente la acción artificial, este otro recurso es el mejor, si no el único. Por cierto que no han faltado propuestas de una de estas intervenciones humanas en forma de explosiones nucleares capaces de curar de raíz esa enorme herida que se llama la falla de San Andrés; a tales planes se ha respondido prudentemente que aun en el supuesto, hartamente dudoso, de que la energía nuclear disponible y aplicable fuera suficiente para alterar un proceso cortical de semejante envergadura, siempre sería de temer cualquier efecto imprevisto a consecuencia de un error en la aplicación: se podría o no aliviar la tensión dominante en un lugar, pero a costa de agravarla en otro.

Por eso las autoridades del Estado y de los Municipios han tomado una serie de medidas, después de asesorarse convenientemente; y han comenzado por estudiar la historia pasada, a fin de escarmentar en cabeza ajena, que en este caso es la de la generación anterior, víctima de una imprevisión acaso disculpable entonces, pero no hoy. En estas páginas se dijo algo acerca de las construcciones sismorresistentes, que vamos a completar, pues la

conducta de los californianos es digna de ser alabada e imitada; hay dos aspectos en esta cuestión: el relativo a lo material y a lo personal. Las pérdidas materiales en el terremoto de San Francisco (400 millones de dólares, *de los de entonces*, más valiosos que los de ahora) y las personales, con unos 700 muertos, cifra también distinta de lo que sería hoy, en que la población es mucho más densa.

Los técnicos están de acuerdo en que si se repitiese en las mismas condiciones aquel terremoto, los daños de una y otra clase se reducirían notablemente, y ello a pesar de que las precauciones ya tomadas ni son todavía ideales ni lo es tampoco su realización; numerosas y útiles disposiciones han sido objeto de leyes, y se está urgiendo con severidad su cumplimiento, pero, al fin, una obra humana de tal amplitud presenta no pocas dificultades. Los edificios son objeto de inspección y, desde luego, los nuevos reúnen excelentes condiciones, por mucha que sea su aparente susceptibilidad, por ejemplo, en cuanto a la altura y cantidad de pisos; como ha dicho un profesor de ingeniería civil, "no hay razón para que una casa de cincuenta pisos sea menos segura que una de cinco, con tal que esté debidamente construida".

Ya sabemos que las sacudidas en sí no son, ni mucho menos, la causa principal de los desastres, sino que el incendio le aventaja con creces, como sucedió precisamente en San Francisco; por eso ha sido éste el primer renglón de la reforma. Se ha comenzado por duplicar la traída de aguas a la ciudad, teniendo en cuenta la dirección en que se propagan las ondas sísmicas procedentes de la gran falla: una de las conducciones viene de Norte a Sur, y la otra de Este a Oeste. En cuanto a las ramificaciones secundarias de distribución urbana, están provistas de un sistema de válvulas, constan-

temente vigiladas por personal experto y siempre en guardia; dos potentes estaciones de bombeo se han instalado a la orilla del mar con el mismo propósito, y por si fuera poco, ya existen, estratégicamente situados, varios depósitos permanentes de gran capacidad.

Las cañerías de gas, de reciente colocación y mejora, han seguido el ejemplo de las de agua, y su funcionamiento actual permite, en un momento dado, hacer los cortes necesarios, ya generales, ya localizados a cualquier sector; inútil es añadir que este plan incluye una vasta organización del nutrido cuerpo de bomberos, siempre prontos a intervenir. Lo más difícil no son las medidas de éste u otro género tomadas ahora, sino rehacer y remediar las mal hechas antes: no es posible derribar todas las casas deficientemente construidas a principios de siglo, o todavía antes; ni siquiera reformar en ellas esas mismas instalaciones de suministros domésticos defectuosos, y, por tanto, peligrosos. Desde los casos elementales y relativamente fáciles de corregir, como son las hoy famosas cornisas que, sin necesidad de terremotos, pueden caer sobre los transeúntes, hasta los más pequeños pormenores arquitectónicos internos, que pueden impedir o, al menos, ser obstáculo serio para la seguridad de los inquilinos.

En Los Angeles, ciudad que de un extremo a otro mide unos cien kilómetros, y que además no tiene tan próximo como San Francisco el trazado geográfico de la falla, no ha padecido tanto en los últimos tiempos por esta causa; pero, sin embargo, las precauciones oficiales no son menos urgentes. Allí, como en muchas otras ciudades entre una y otra capital, el más grave problema en caso extremo no es el agua para apagar los incendios, sino para beber: toda la parte meridional de California

ha tenido que echar mano de recursos de gran envergadura para resolverlo, y un corte accidental de tan vital suministro amenazaría seriamente a bastantes millones de personas; a los dos principales acueductos procedentes de los ríos Owens y Colorado, se proyecta añadir otro del Feather, en el norte de la comarca: una empresa de 1.750 millones de dólares y de 800 kilómetros de extensión, que ya ha comenzado a ser una realidad, pero que, evidentemente, no podrá serlo tan pronto.

Bajo el punto de vista personal hay también varios aspectos que considerar: el más importante de todos está en la conciencia misma de los ciudadanos, pertenecientes en su mayoría a una generación que no vivió el desastre de 1906 y, por tanto, no siente tan de veras la magnitud de un peligro, que conocen por la historia y no consideran suficientemente cercano en el porvenir, a los que hay que añadir los que forman parte de esa emigración interna que más o menos existe en todos los países: no están, pues, preparados, ni es tan hacedero someterles al debido entrenamiento: falta de experiencia que se traduce en ese llamado pánico de las multitudes, ocasión de agravarse incluso lo que de suyo no constituye un daño grave.

En este punto es oportuna la campaña de información y previsión que se está haciendo entre la población, proponiendo a todos el laudable ejemplo de los japoneses, mucho mejor adiestrados, y digno de imitarse en todas partes: cada miembro de la familia está debidamente instruido en lo que ha de hacer, sin detenerse a reflexionar, cuando sientan la primera sacudida. Así uno de ellos (o más de uno en previsión de eventual ausencia) tiene a su cargo el corte general de la electricidad, otro el del gas, etc... Y eso aunque hayan leído los informes técnicos arriba mencionados sobre la incerti-

dumbre del momento en que pueda suceder, con un margen de error de cien o más años; deben todos rendir su juicio, aunque a un muchacho de doce años, encargado de uno de estos menesteres de carácter vital, se le ocurra la duda de si después de bien ensayado todo le tocará, efectivamente, realizarlo a él mismo o a alguno de sus biznietos.

Perspectivas a largo plazo

Queda por resolver una última interrogante de aplicación menos práctica por la lejanía cronológica en que se pierde y esfuma; a saber: el estado actual de las causas de inquietud terrestre, ¿qué tendencia tienen si se consideran en un plazo, no ya de siglos o milenios, sino de millones de años, que al fin son unidades todavía relativamente pequeñas dentro de la evolución planetaria? Pongamos un ejemplo: una de las explicaciones aducidas para las profundas alteraciones de que son testigos los estratos del suelo en épocas muy antiguas de la historia de la Tierra, es atribuirles, no precisamente a fuerzas internas desencadenadas desde dentro, sino a factores de destrucción venidos de fuera. La teoría es que a juzgar por los enormes cráteres meteóricos ya conocidos y no pocos que se están descubriendo en la actualidad, hay una especie de ritmo periódico en el número y masa de tales aportaciones durante las pasadas edades; su acción se ha calculado que no se limita al lugar del impacto, sino que es mucho más extensa de lo que se creyó en un principio, hasta el punto de que se admite la posibilidad de una acción destructiva de alcance continental, y, por tanto, explicaría ciertas crisis misteriosas en la desaparición de especies vivientes en un ámbito a primera vista in-

creíble; sea de ello lo que fuere, lo que aquí interesa es que si sucedió alguna vez, puede repetirse más tarde, y, en concreto, desde la última vez que parece haber sucedido esa catástrofe, ha transcurrido un número no muy elevado de millones de años, y no falta quien señale el plazo de unos sesenta millones para su probable repetición...

Más razonable es considerar, teniendo en cuenta las causas enumeradas más arriba de las actividades actuales de la corteza terrestre, cuál será el proceso futuro, siempre en esa gran escala de los millones de años; porque si algunas energías tienen su fuente en la desintegración radiactiva, ya sabemos que, tarde o temprano, se van agotando por sí solas y llegará un tiempo en que cesen de actuar como fuentes de calor y de movimiento por el engendrado. Igualmente la contracción, según los unos, y la dilatación, según otros, del globo terrestre, es, por naturaleza, un proceso transitorio, que aunque hoy nos parezca tener una regularidad que llamaríamos inmóvil en cuanto a su constancia activa, en realidad no puede serlo: llegará un momento de equilibrio y cesará la lucha.

Eso significa una era de tranquilidad, solamente perturbada por agentes de diversa índole, atmosférica, hidrológica, etc...; pero de índole geológica no quedará más que la producida por agentes erosivos, con los consiguientes desplazamientos ulteriores, mucho menos violentos que los eruptivos y tectónicos. Algo de esto será acaso posible conocer el día en que la astronáutica traiga noticias de astros donde se ha llegado a esta especie de paz relativa, y por analogía, se podrá conjeturar la suerte de los futuros habitantes de la Tierra...

INDICE

	<u>Págs.</u>
INTRODUCCIÓN	7
Cap. I.— <i>El impulso inicial</i>	11
Soluciones llovidas del cielo	13
Nuestra materia prima	15
Los planetésimos en actividad	17
El planeta definitivo	20
El misterio meteórico	22
Cap. II.— <i>Continentes móviles</i>	26
Hundimientos y elevaciones	27
El subsuelo en ebullición	29
La clave antártica	31
Testimonios vivientes	34
Hechos y teorías	38
Cap. III.— <i>Cimientos inseguros</i>	44
Trenes de ondas	45
Anormalidades	49
Calumnias sísmicas	52
Huyendo del peligro	55
El mejor remedio	60

	<i>Págs.</i>
Cap. IV.— <i>Olas y tempestades de la corteza terrestre</i>	64
La piedra en el estanque	65
Tempestades pasajeras	68
Las opiniones se dividen	70
En busca de la solución	74
Tempestades útiles	80
Cap. V.— <i>La Tierra agitada, según la Biblia</i> ...	83
Criterios de interpretación	84
El mar Rojo y el Jordán	87
Falsos volcanes	91
Falsos terremotos	95
La sismicidad del monte Calvario	99
Cap. VI.— <i>¿Por qué se mueve la Tierra?</i>	101
Errores disculpables	101
Tierra caliente	105
Tierra fría	109
Sismicidad bética	112
Los cinturones de fuego	115
Causas verdaderas y falsas	116
Cap. VII.— <i>Terremotos para la paz</i>	122
El "Padre Dinamita"	122
Sismología y tratados de paz	125
Las cajas negras	127
Detectives sísmicos	132
Señales distintivas	135
Terremotos útiles	139
Cap. VIII.— <i>Relojes y calendarios</i>	142
El reloj de los muertos	144
Inundaciones heladas	148
Calendarios atómicos	152

Págs.

Cap. IX.— <i>Solidez futura del suelo</i>	161
El fondo de la cuestión	162
La falla de San Andrés	165
Señales preventivas	168
El último recurso	173
Perspectivas a largo plazo	177



INSTITUTO ANDALUZ DE GEOFISICA
BIBLIOTECA