

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS
EXACTAS, FISICAS Y NATURALES

Sobre los procesos del interior de la Tierra

DISCURSO

LEIDO EN EL ACTO DE SU RECEPCION

POR EL

EXCMO. SR. D. MANUEL ALÍA MEDINA

Y

CONTESTACION

DEL

EXCMO. SR. D. FRANCISCO HERNÁNDEZ-PACHECO
Y DE LA CUESTA

EL DIA 1 DE DICIEMBRE DE 1976



M A D R I D

DOMICILIO DE LA ACADEMIA:
VALVERDE, 22.—TELEFONO 221-25-29

1 9 7 6

Depósito Legal: M. 37.471-1976

TALLERES GRÁFICOS VDA. DE C. BERMEJO - J. GARCÍA MORATO, 122 - MADRID

DISCURSO

DEL

EXCMO. SR. D. MANUEL ALÍA MEDINA

TEMA

SOBRE LOS PROCESOS DEL INTERIOR DE LA
TIERRA

Excelentísimo Sr. Presidente,
Excelentísimos Sres. Académicos,
Señoras y señores:

Ocupaciones de la compleja y acelerada vida actual, que a todos nos alcanza, han podido constituir, señores Académicos, uno de los motivos por los que llego con este retraso a la cita tan honrosa para la que me teníais convocado. Y digo uno de los motivos, porque bien sé que existió otro, tanto más importante cuanto aparentemente más disimulado, al cual habría que atribuir, sin embargo, una buena parte de la culpa de esta demora. Me refiero al sentimiento de responsabilidad, con la consiguiente preocupación y disminución para las decisiones que puede embargarnos cuando, en casos como el que nos ocupa, se trataba de elaborar un trabajo con el cual corresponder, en alguna medida, a distinción tan preciada como ésta para la que me habíais nominado.

Al agradecer de nuevo tan benévola designación debo destacar, no obstante, que al menos en este caso, los méritos que pudieron valorarse habría que referirlos y ciertamente en una buena proporción, a aquellos que me antecedieron y también a aquellos otros que me acompañaron y siguieron en el camino. Porque, es bien sabido, que en este discurrir por los senderos de la investigación, mucho depende del bagaje de conocimientos, de ejemplos, de estímulos, que al empezar y, también después, recibimos. Precisamente y en este sentido, debo agradecer de nuevo la elección porque, con ella, se me ha dado además la oportunidad para reunirme en esta Real Academia, aunque nunca en el afecto y trato nos separamos, con alguno de mis mejores maestros. Con don Francisco Hernández-Pacheco y de la Cuesta y con don Salustio Alvarado Fernández. Ambos lo fueron durante mis estudios universitarios y don Francisco, además, lo ha sido largamente después, entre otras razones, por la de su especialidad, en la cual he tratado siempre de

continuarle. En realidad, tuve la gran fortuna de que el bagaje más importante a que antes me refería, lo recibiera de muy insignes geólogos; de don Eduardo Hernández-Pacheco, su padre, miembro destacado que fue también de esta Academia y de don Francisco. Guardo de ambos y guardaré siempre el mayor agradecimiento y cariño y procuraré ahora, como antes, ser fiel a la herencia que ellos me entregaron.

Pero, por otra parte, y siguiendo en este discurrir sobre los méritos que entonces se pudieron valorar, sabemos también que la labor investigadora no puede efectuarse, ni aisladamente, ni tampoco debe terminar ni cerrarse en uno mismo. De aquí que debemos tener igualmente presente, en ocasiones como ésta, y valorar en la medida adecuada, las beneficiosas influencias y las ayudas que se reciben de los unos y de los otros, de nuestros compañeros y de nuestros discípulos. Porque aún estos mismos, con su renovada juventud, con sus nuevos planteamientos y necesidades, constituyen siempre una fuente de continuados estímulos y hasta, en ocasiones, un obligado motivo de aceleración para nuestras actividades. Nos estimulan además porque con su misma superación, nos hacen sentir y comprender que nuestros esfuerzos, pudieron tener también esta otra importante compensación y significado.

Permitidme, entonces, por todo lo dicho, que ofrezca participar, en el honor que me habéis conferido, a mis maestros, a mis compañeros y a mis discípulos.

Fui designado para ocupar la vacante que dejó en esta Real Academia, en el año 1973, el de su fallecimiento, una persona científicamente tan relevante y humanamente tan querida, como lo fue don Clemente Sáenz García. Soriano insigne, nacido en 1897, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Catedrático de Geología en la Escuela Técnica Superior del Cuerpo, asesor, miembro, presidente de importantes asociaciones técnicas y científicas, autor de más de ciento cuarenta publicaciones, sobre geología unas, otras sobre aspectos técnicos, cuestiones matemáticas, espeleológicas, históricas, autor también de más de trescientos informes sobre geología aplicada, don Clemente unía, a la superior inteligencia y capacidad necesarias para llevar a cabo tan ingente tarea, unas excep-

arquimediano 14, o sobre sus investigaciones históricas, referidas principalmente a hechos acaecidos o relacionados con la provincia de Soria, a la que tanto quería. Pero el tiempo de que ahora disponemos me impide hacerlo. Debo, por consiguiente, finalizar este sentido homenaje hacia tan insigne persona, cuyos méritos y cualidades harán que lo tengamos siempre vivo en nuestro recuerdo.

cionales condiciones humanas, entre las que destacaban su gran sencillez y bondad. Fue además, mejor dicho, fue, por todo ello, un gran profesor y maestro.

Tuve la fortuna de conocerle, de aprender de sus enseñanzas y de convivir con él en diversas ocasiones y de honrarme siempre con su amistad. En realidad, mi primer escarceo en el campo de la aplicación de la geología lo hice de su mano, pues, poco después de finalizados mis estudios universitarios, me invitó para acompañarle en los reconocimientos que sobre el terreno iba a realizar, con motivo del anteproyecto del que habría de denominarse embalse de Alarcón II. Posteriormente efectuamos diversas excursiones, coincidimos en reuniones y congresos, tanto en España como en el extranjero y coincidimos, igualmente, en la que fue Asesoría Geológica del Servicio Geológico de Obras Públicas. De toda esta convivencia guardo y guardaré siempre un imborrable recuerdo.

Como imborrable lo es para todas aquellas personas que lo conocieron y trataron. Y testimonio de lo que ahora decimos lo tenemos en la viva imagen que guardan, de su prócer figura, de sus enseñanzas y aún de sus tan queridas como repetidas anécdotas, las numerosas generaciones de ingenieros de la que fue tan excelente maestro. Maestro porque sus conocimientos le permitieron elevarse por encima de las enseñanzas recargadas de citas y de detalles, para situarse en los niveles, tan sencillos aparentemente, en realidad tan difíciles, de los comentarios ajustados, de las ideas particulares, seleccionadas entre el cúmulo de los conocimientos y experiencias que poseía. Maestro además, porque su gran bondad y comprensión, su gran entusiasmo de siempre, le unían a sus alumnos, de los que se hacía tanto querer. Fue, consiguientemente, iniciador de vocaciones en el campo de la geología aplicada y maestro de destacados especialistas, entre los que figura su hijo, quien actualmente ocupa la misma Cátedra que él desempeñó durante tantos años en la Escuela.

Mucho más deberíamos decir y comentar sobre tan ilustre figura, sobre sus profundos conocimientos matemáticos, recordando, por ejemplo, que su mismo discurso de ingreso en esta Academia, que pronunció en el año 1963, bajo el título «La estructura de los espacios racionales y sus consecuencias cristalomórficas», versó sobre temas de tal especialidad, o sobre su habilidad y conocimientos, que le permitieron construir su famosa colección de poliedros, con más de 200 figuras, en gran parte originales, como el conjunto del

Pasaremos ahora a exponer el tema escogido para la presente ocasión. Su mismo título, «Sobre los procesos del interior de la Tierra», nos proporciona clara idea del objetivo que se persigue, que no puede ser otro, dadas las numerosas cuestiones bajo él implicadas y la gran extensión de la mayoría de ellas, que la de presentar algunos comentarios y reflexiones sobre aspectos, a la vez tan amplios como trascendentes y actuales, de la dinámica y de la evolución de nuestro planeta. Y si nos hemos decidido por este arriesgado camino de las apretadas síntesis y de las simplificaciones, que por así serlo lo serán siempre incompletas y, por consiguiente, estarán expuestas al comentario, en lugar de haber hecho referencia a alguna cuestión más concreta, quizás relacionada con el campo de las propias investigaciones, ha sido por el único deseo de que el tema seleccionado pudiera ser de algún interés para un más amplio sector, o también, que fuera lo menos lesivo posible para la atención de quienes la han tenido al asistir a este acto.

Los principales puntos que vamos a comentar en este breve espacio de tiempo pretenden destacar, en primer lugar, la gran importancia que bajo muchos aspectos tienen los procesos que se producen en el interior de la Tierra, así como también las dificultades que todavía existen para su afinado conocimiento. Recordando después las ideas que actualments prevalecen sobre la dinámica y evolución de la corteza terrestre, se intentará analizar su posible validez cuando las contemplemos desde una doble lejanía, la del espacio y la del tiempo. Comprenderemos quizás entonces que puedan existir todavía grupos disidentes y aún opuestos a las ideas en boga y así, con ello, habremos llegado al final, que será el de las consideraciones de conjunto donde, de nuevo, nos encontraremos con los procesos del interior de la Tierra y con el interés por su conocimiento.

Empezaré recordando algo que me impresionó cuando, en los ya lejanos tiempos de estudiante, tuve ocasión de leer «El Criterio».

Fue aquel párrafo que dice «... toda ciencia tiene uno o pocos puntos capitales, a los que se refieren los demás. En situándose en ellos, todo se presenta sencillo y llano; de otra suerte, no se ven más que detalles y nunca el conjunto». Quizá fuera porque pensara entonces que en esta idea de Balmes, había encontrado una a la manera de fórmula mágica, con la cual podría abreviar los caminos que me esperaban y avanzar por ellos con la rapidez que los afanes de la juventud me requerían. Todo consistiría entonces en dirigirme, lo más directamente posible, hacia aquellas cotas cimeras, las de los grandes principios, las de las leyes fundamentales, para una vez alcanzadas, otear el amplio panorama y así poder seleccionar los campos más atractivos, cuyo mundo de los detalles podría luego recorrer con más reposado y seguro paso.

Evidentemente se trataba de una ingenua y juvenil simplificación pero que, en todo caso, debería haberme orientado hacia otros dominios de la Ciencia y no precisamente al que después escogí. Porque, como es bien sabido, el campo geológico se ha venido caracterizando, de siempre, y me refiero ahora y me seguiré refiriendo después, al campo de la Geología que se ocupa de los grandes conjuntos, de las grandes unidades terrestres, por la escasez de principios y de leyes fundamentales o, al menos, por la inestabilidad de muchas de aquellas que para cada época pudieron ser consideradas como tales. Las supuestas cimas del conocimiento geológico, a estas escalas, fueron en general sucesivamente atacadas y en su mayor parte destruidas en el transcurrir de los tiempos y con el avance de los conocimientos, al igual que lo fueron también las cumbres de las reales y verdaderas cordilleras, por los efectos de las continuadas y sucesivas erosiones.

Las razones que explican esta realidad, correspondiente en definitiva a la de un más lento y difícil desarrollo en los conocimientos geológicos, han sido expuestas y discutidas ampliamente y en sus detalles en diversas ocasiones. No podemos entrar ahora, ni tampoco es nuestro objetivo, en tan dilatada cuestión. Recordaremos, únicamente, que tales razones se refieren a una serie de graves dificultades que existen en el campo de la investigación de las ciencias de la Tierra. Y entre las que podemos mencionar como más importantes, según nuestro concepto, las siguientes. Las que se derivan, por una parte, de la misma complejidad y magnitud de los problemas abordados que, en ocasiones, alcanzan las escalas planetarias. Las que se deducen también del factor tiempo puesto que, a veces, se hace necesario escudriñar en acontecimientos que se pro-

dujeron hace centenares y aún miles de millones de años. Las dificultades que se encuentran igualmente para la experimentación y reproducción de los grandes procesos geológicos, dado que, este importante método y herramienta de trabajo para la investigación científica, se ve aquí fuertemente frenado y en gran parte limitado, ante la magnitud, complejidad y lentitud con que se verifican muchos de los fenómenos que se tratan de reproducir y, en general, de estudiar. Y, finalmente, la dificultad también existente, que se deriva de la falta del conocimiento directo del interior de la Tierra y, por consiguiente, de los procesos que allí acontecen. Consideramos esta dificultad, junto con la del factor tiempo, como de importancia quizás más preferente y a ella nos vamos a referir con algún mayor detalle, por estar además, muy directamente relacionada con el tema y objetivos que ahora perseguimos.

Sucede, en efecto, que a pesar de los impresionantes avances de la moderna tecnología, el hombre no ha sido aún capaz de penetrar en el interior de la Tierra sino a distancias, tan reducidas, que ni citarse merecen si las comparamos con las que le separan del centro del planeta sobre el que habita. Y sin embargo, en aquellas profundidades, la fuente o fuentes de energía que allí existen, que han venido actuando desde los primeros tiempos de la formación de la Tierra y que continúan haciéndolo hasta en nuestros mismos días, han debido originar una serie de complicados procesos, cuya importancia y trascendencia es fácil de imaginar y aún en todo caso, de deducir, si contemplamos, simplemente, la importancia y trascendencia que en la misma superficie de la Tierra alcanzan sus efectos y sus repercusiones. Desde los fenómenos de mayor interés para la escala del tiempo humano, de los terremotos y de los mismos volcanes, hasta aquellos otros, de mayor trascendencia a la escala de nuestro planeta, que han llevado hasta la formación de las grandes cordilleras, de los continentes, de las cuencas oceánicas y, en general, a la formación y a las grandes transformaciones que se han producido en la corteza terrestre durante el transcurso de los dilatados tiempos geológicos.

La repercusión en la superficie de los procesos del interior se acusa, además, bajo formas menos directas, con relaciones más sutiles, aunque no por ello con implicaciones menos trascendentes. Así, las aguas de un río, que en las zonas de rápido discurrir arrancan materiales rocosos para transportarlos hasta las de remanso, donde, al acumularlos, darán origen a depósitos de sedimentos, o

las aguas marinas, que con su batir constante terminan por destruir el fuerte acantilado, para originar, a su vez, los correspondientes sedimentos marinos, no podrían haber desarrollado esta labor de erosión, de transporte y de formación de nuevos sedimentos, de no haber existido unos procesos profundos que, con su actividad, hubieran a su vez provocado la necesaria desnivelación y desequilibrio topográfico en la superficie terrestre. Porque, de otra manera, en el caso de haberse agotado la energía del interior de nuestro planeta y, por consiguiente, en el caso de que hubieran cesado los procesos de la profundidad, la continuada acción de los agentes de la dinámica externa, hubiera terminado por igualar los últimos relieves existentes en una corteza que ya permanecería inmóvil y por convertir las superficies de nuestras tierras en rebajadas llanuras, que se tenderían, monótonas, hasta sumergirse suavemente, en su contacto, bajo las aguas marinas. No habría entonces, en aquellas dilatadas playas, escarpados cantiles que erosionar, ni tampoco, tierras adentro, las pendientes necesarias para que las aguas de los ríos pudieran correr rápidas, con suficiente vigor. Con todo ello, la formación de las grandes masas de nuevos sedimentos, al menos de su mayor parte, habría terminado.

A pesar de la brevedad creo que estos simples comentarios son suficientes para confirmarnos en la idea de la gran importancia que alcanzan los mencionados procesos del interior y del gran interés que para el conocimiento mismo de la Tierra y de su evolución, tendría el que pudiéramos acceder a sus profundidades. Pero, de este ideal habremos de olvidarnos, al menos por ahora. Porque, como antes señalábamos, los investigadores de la Tierra han de establecer sus conclusiones del simple análisis y estudio de las estructuras y de los materiales que encuentran a su alrededor, entre los cuales existen algunos que, afortunadamente, fueron gestados a determinadas profundidades, de las que posteriormente ascendieron gracias a la misma acción de las transformaciones y de los esfuerzos actuantes sobre la corteza terrestre, o bien, mediante los procesos de los volcanes, a través de sus chimeneas. El investigador tendrá también que aprovechar cuanta información le proporcionen las trepidaciones sísmicas, los flujos de temperatura, las variaciones magnéticas, eléctricas, gravimétricas y, en general, cuantas variables físicas relacionadas con la constitución o actividad del interior, pueda determinar desde la superficie.

En alguna ocasión anterior comentábamos, a este respecto, que

tal situación de los investigadores de nuestro planeta, podría en algún modo equipararse, a la de un observador que, situado sobre la azotea de un elevadísimo edificio, tuviera por misión la de deducir lo que ocurría en su interior, en cada uno de los distintos niveles que bajo sus pies se articulaban, por la simple observación y estudio de los ruidos y movimientos que hasta él llegaban y por el estudio también de los materiales de su alrededor y de los productos arrojados por las mismas chimeneas del edificio. Cabe pensar que, ante tal situación, podríamos entender y quizás hasta sabríamos disimular, los cambios de opinión y también los errores, que pudiera cometer en sus interpretaciones nuestro supuesto observador, cuya misión calificaríamos, cuando menos, de muy aventurada. Pero si además supiéramos que entre las aspiraciones del tan convencional personaje se encontraba la de deducir, no sólo las actividades del presente, sino también las del pasado, aquéllas que pudieron desarrollar en el interior del edificio otros antiguos habitantes, muchos de ellos ya extinguidos, creo que nuestra calificación para su misión y para sus empeños no sería, probablemente, tan benévola. O quizás fuera más entusiasta y admirativa, si es que nuestra capacidad de imaginación y nuestro espíritu de aventura así nos lo permitían.

Son por consiguiente graves las dificultades que se deducen de la falta del conocimiento directo del interior de nuestro planeta. Sin embargo, y como tantas veces sucede, también en esta ocasión parece que esas mismas dificultades han constituido un poderoso estímulo para incrementar y multiplicar los esfuerzos. Y ha sido de esta manera y particularmente en estas dos, o quizás, tres últimas décadas, cuando el avance en las investigaciones y en los resultados se ha hecho verdaderamente espectacular. Sin poder entrar ahora en la pequeña y a la vez gran historia de lo sucedido en tales últimos años, sólo destacaremos, que los resultados fueron conseguidos gracias al esfuerzo y a la concurrencia de científicos de los más diversos campos de especialización. Cada uno de ellos con sus propias ventajas y con sus limitaciones.

Así, los geofísicos, con una mayor capacidad para la investigación del interior de la Tierra, mediante el estudio de las citadas variables físicas pero, a su vez, fuertemente limitados para introducirse en la lejanía de los tiempos. Los geólogos, reducidos por lo general al estudio de los materiales circundantes, pero que poseen, como compensación, una mayor capacidad para reconstruir los acon-

tecimientos del pasado, mediante el estudio de los datos impresos en las rocas, lo que algunos autores han denominado su memoria geológica. Los geoquímicos, más próximos en sus posibilidades a los geólogos, por tanto que sus puntos de partida lo constituyen igualmente los materiales rocosos a su alcance. Los oceanógrafos, que con sus modernas técnicas de exploración, han conseguido obtener datos de la mayor importancia sobre la corteza más extensa de nuestro planeta, la oceánica, hasta hace no mucho casi desconocida. Y así sucesivamente. Por otra parte, se ha ampliado el espectro de las escalas de las investigaciones, que llegan ahora hasta las de la observación desde satélites y a las de la investigación en otros astros. Y los métodos mismos se han hecho cada vez más afinados y minuciosos. Para reconstruir, por ejemplo, el conjunto, el significado y la misma historia de formación de los grandes edificios de la corteza terrestre, se acude ahora, en gran parte, al análisis más detallado y exhaustivo de las piezas más pequeñas, las que pudiéramos decir, los ladrillos, de lo que en su día fue una gigantesca construcción.

Con ser de tanta importancia todos estos esfuerzos y trabajos realizados, así como los resultados conseguidos que, como venimos diciendo, han permitido avanzar en estos años y de manera tan espectacular en el conocimiento de nuestro planeta y de su evolución, a nuestro entender, no ha sido de menor importancia y trascendencia el hecho de que, también últimamente y ante la magnitud y complejidad de los problemas planteados, se haya sentido la necesidad de abordarlos mediante el trabajo coordinado, mediante el trabajo en equipos pero, en este caso, en equipos de escala mundial. Ha sido así como a partir del «Año Geofísico Internacional», celebrado en 1957-58, donde realmente se planteó dicha necesidad, se organizaron dos grandes programas de investigación internacional coordinada; el denominado «Proyecto del Manto superior», propuesto inicialmente para el trienio 1962-64, pero que, ante la importancia de los resultados obtenidos y de los problemas todavía pendientes de solución, se prolongó prácticamente hasta el año 1971, y el denominado «Proyecto de Geodinámica», continuación del anterior y en el que todavía estamos.

Entre los grandes resultados conseguidos en estos años se encuentra, y en lugar destacado, la elaboración de una teoría de tanta trascendencia y amplitud como lo es la denominada y ya tan conocida, Teoría de Placas. Para algunos autores, esta teoría, también llamada de la Tectónica de Placas, fue en gran parte el resultado,

precisamente, de la labor coordinada y de los Proyectos de investigación conjunta últimamente realizados. Para otros, por el contrario, nada o muy poco tuvo que ver con tales programas, pues si bien coincidió en el tiempo con los mismos, en realidad, y según ellos, fue consecuencia de la labor personal e independiente de diversos investigadores. Es cierto que a la nueva concepción global se llegó mediante progresivos avances en los conocimientos y sucesivas interpretaciones, publicadas todas ellas en la década de los sesenta y de las cuales fueron autores diversos científicos, cuyos nombres son hoy bien conocidos (Hess, Dietz, Vine, Matthews, Morley, Larochelle, Wilson, Sykes, Mckenzie, Parker, Morgan, Vine, Heirtzler, Hayer, Le Pichon, Isacks, Oliver, Menard, etc.). Pero también deberíamos recordar, que tales hallazgos y avances se produjeron en unos años de especial atención hacia estos problemas y, en consecuencia, en un beneficioso ambiente para tales cuestiones.

Sin entrar, no obstante, en tal discusión y en sus posibles motivaciones, lo cierto es que la dicha Teoría de Placas constituye hoy una nueva concepción sobre el significado y evolución del conjunto sólido de nuestro planeta, de trascendencia y alcance, cuando menos equivalente, al que en su día pudieron tener, en análogo sentido, la teoría de la contracción terrestre, o la de los desplazamientos continentales de Wegener, pongamos como ejemplos. Y, precisamente por éste su gran alcance y significado y porque, al parecer, y al menos para un gran número de investigadores, constituye ya una de aquellas que antes decíamos elevadas cimas del conocimiento humano, en este caso del conocimiento en el campo de las ciencias de la Tierra, la tomaremos como el mejor exponente y ejemplo posible para tratar de saber si es que, con ella, se han conseguido ya superar las dificultades a que nos hemos venido refiriendo, al menos en la cuantía suficiente para poder establecer una doctrina y unos firmes principios de los que, como también antes comentábamos, tan necesitado ha estado, en general, el campo del conocimiento geológico, cuando se ha tratado de interpretar el significado y evolución de las grandes unidades de nuestro planeta.

Este va a ser, por consiguiente, nuestro único objetivo de ahora al referirnos a la Tectónica de Placas y no entraremos, por tanto, en los detalles mismos de la teoría. Lo cual, por otra parte, sería completamente imposible en tan breve espacio de tiempo, porque aun cuando en su forma elemental puede aparecer esta concepción

como de una gran sencillez, y de aquí uno de sus más importantes atractivos, en sus detalles y en sus numerosas implicaciones y consecuencias, se plantean a veces problemas de la mayor complejidad. Como no podría ser por menos, al tratarse de una concepción de tan ambicioso alcance. Aunque probablemente conocida por la mayoría, recordaremos sin embargo ahora, algunas de las ideas fundamentales de la dicha Teoría de Placas, con el exclusivo deseo de que nos puedan servir como base y punto de partida para los comentarios que después haremos.

La litosfera, la capa sólida más externa de la Tierra, es un conjunto rocoso y más rígido, que puede soportar y transmitir importantes esfuerzos durante largos períodos de tiempo sin llegar a fluir. Con una potencia media de unos cien kilómetros se superpone a la denominada astenosfera, capa plástica o semiplástica, en un estado de fusión parcial y capaz de fluir, cuando los esfuerzos son de suficiente intensidad. La capa rígida de la litosfera no es una unidad continua, sino que, por el contrario, se encuentra dividida en una serie de grandes piezas o casquetes esféricos a los que se denominan placas. El número de placas mayores generalmente admitido es el de seis: del Indico, del Pacífico, de las Américas, de Eurasia, de Africa y de la Antártida. Conviene recordar que esta división en placas de la litosfera no corresponde con la clásica de la corteza en sus dos tipos, oceánico y continental, cuyas potencias medias son únicamente de unos 10 y 35 km, respectivamente. Así sucede, que mientras la placa del Pacífico aparece en superficie coronada casi en su totalidad por corteza oceánica, en las restantes placas, una parte lo está por corteza oceánica y otra por corteza continental. Por consiguiente, la división entre continentes y océanos, a la que anteriormente se le concediera una importancia primordial, ha perdido hoy una gran parte de su valor desde el punto de vista dinámico, porque la corteza, en su totalidad, sólo representa el remate más alto, el techo, del conjunto rígido de la litosfera. La zona de posibles despegues y de movilidad de esta litosfera, o mejor dicho, de las placas o piezas que la constituyen, hay que buscarla, por consiguiente, en niveles más profundos, en los de la astenosfera infrayacente.

Las placas litosféricas ni están fijas ni tampoco son permanentes. Por el contrario, estas piezas, del que pudiéramos imaginar como gigantesco armadillo terrestre, se mueven sobre o con la astenosfera y, además, se pueden ir formando y creciendo en uno de sus bordes, a la vez que se van destruyendo, en análoga proporción, en

el borde opuesto. Estos hechos son los que realmente constituyen la base fundamental de la moderna teoría. Las zonas de bordes donde las placas crecen, corresponden, en general, a las llamadas crestas oceánicas, como lo son, por ejemplo, la denominada Cordillera mediana del Océano Atlántico, o la gran estructura que en el Océano Pacífico se dirige hacia el Sur desde las costas californianas. En tales zonas de crestas y a favor de la separación existente entre los bordes de las placas contiguas, asciende material de la profundidad. Este material, de tendencias basálticas en su composición, se va acumulando al tiempo que las placas contiguas se van separando, lo cual es tanto como decir que se va formando nueva litosfera, con corteza oceánica, en aquellas zonas de crestas. Pero como el radio de la Tierra permanece constante, es necesario que este aumento progresivo de los bordes de las ambas placas, se vea compensado por una destrucción equivalente de la litosfera en otros lugares. Esta destrucción sucede, precisamente y como decimos, en los bordes opuestos de las placas que se desplazan. Lo más frecuente es que en tales bordes de destrucción, la litosfera se combe, para terminar sumergiéndose, inclinada, bajo el borde de la placa contigua. Al penetrar en zonas de profundidad creciente y ante las nuevas condiciones, de mayor temperatura y presión, el antiguo borde de placa se va progresivamente destruyendo hasta terminar, finalmente, por desaparecer como tal entidad.

Las zonas donde se produce la destrucción en la profundidad de las placas coinciden con zonas de fuerte actividad en la superficie, como son las de arcos islas y las de formación de cordilleras, bien las de tipo flanqueantes, como es el caso de los Andes, cuando se enfrentan un borde de placa con corteza oceánica y otro con corteza continental, o bien de tipo Himalaya, cuando las dos placas enfrentadas tienen sus bordes coronados por corteza de tipo continental. El cuadro general de la teoría se completa con la existencia de otro tipo de grandes fracturas, como lo son las que, aproximadamente normales a las anteriores, constituyen los otros bordes delimitadores de las placas, y sirven para que estas se desplacen unas con respecto a las otras. Por consiguiente, es de interés destacar, también por lo que luego diremos, que en este esquema evolutivo, las zonas verdaderamente activas y de mayores transformaciones, corresponden a las de los bordes de formación y de destrucción de las placas, en donde, además de generarse estructuras tan importantes como las ya citadas, de las cordilleras submarinas, de los arcos in-

sulares y de las cordilleras de los márgenes continentales, se producen la mayor parte de los fenómenos volcánicos y sísmicos. En los otros bordes de las placas, así como también en el interior de las mismas, la actividad es mucho menor, como así lo denuncia la escasez o ausencia en ellas de volcanes y de terremotos.

Esta relativa sencillez en su esquema fundamental de la Teoría de Placas y su elegante manera de resolver y coordinar muchos de los hechos y fenómenos fundamentales que se observan y que acontecen en la superficie terrestre, ha facilitado su rápida difusión y con ello, la amplia popularidad de que hoy disfruta. Los mismos medios informativos se interesaron pronto por la atractiva concepción y la difundieron ampliamente. Ch. F. Kahle (1974) escribió al respecto que «La tectónica de placas ha recibido posiblemente más atención en la prensa popular que cualquier otro tema en la historia de las ciencias de la Tierra».

Pero la razón de ser de la importancia y trascendencia que ha alcanzado la tectónica de placas no es, lógicamente, la simple consecuencia de su atractivo y de su aparente sencillez, ni tampoco de la amplia divulgación conseguida. Es consecuencia de los grandes valores intrínsecos que contiene porque, en efecto, constituye una concepción que, con visión global, alcanza a dar explicaciones adecuadas, o cuando menos, lo suficientemente convincentes, para muchos hechos. Por otra parte, es posiblemente la primera hipótesis global de las ciencias de la tierra que ha poseído un carácter predictivo, con predicciones que después han podido en gran parte ser confirmadas. Entre los hechos más destacados que pueden explicarse por la tectónica de las placas, recordaremos los siguientes. La en general mayor juventud de la corteza oceánica con respecto a la continental y, a su vez, y dentro de los dominios de la corteza oceánica, la mayor juventud de las zonas contiguas a las crestas y cordilleras submarinas, es decir, a las zonas de bordes de placas productoras de nueva corteza. La existencia de bandas de anomalías magnéticas paralelas a dichas crestas oceánicas. La existencia de bandas de mayor actividad sísmica, en coincidencia, como acaba de indicarse, con los bordes más activos de las placas, es decir, con las de su formación y los de su destrucción, o sea, con las crestas oceánicas, arcos islas y cordilleras marginales. La correlación entre el sentido de movimiento para las placas y el deducido del estudio de los sismos. La contemporaneidad entre los esfuerzos de tensión en las crestas oceánicas, con fallas normales, y los de compresión en los bordes

opuestos orogénicos. La posibilidad de grandes desplazamientos horizontales de la litosfera, lo que, a su vez, explicaría las correlaciones geológicas existentes entre los bordes de placas actualmente separadas, pero que estuvieron anteriormente en contacto. Muchas de las características de los orógenos, como lo son las de la misma polaridad en el desarrollo de los sucesivos acontecimientos y, en parte también, la misma distribución general de las zonas de diferentes tipos de metamorfismo, así como, igualmente, las consiguientes relaciones en el plutonismo y vulcanismo orogénico. El mismo vulcanismo de las cordilleras y crestas oceánicas, sería también consecuencia lógica del mecanismo propuesto.

En relación con la tectónica de placas se han establecido además modelos sobre la génesis posible de concentraciones minerales, tanto en las zonas de crestas oceánicas, con proceso de hidrotermalismo y rellenos de fracturas, enriquecimientos en los sedimentos y diferenciaciones de las capas procedentes del manto, como en las zonas opuestas, en las de destrucción, es decir, en las llamadas zonas de subducción. Y de estas correlaciones genéticas tampoco se han librado ni las mismas acumulaciones petrolíferas, cuya repartición general podría así estar relacionada con el mecanismo de desplazamiento de placas. El cual mecanismo ha sido también invocado, y como otro ejemplo, por paleontólogos y biólogos, para explicar mejor, junto con los nuevos conocimientos sobre las anomalías del campo magnético terrestre, las extinciones y variaciones en la fauna y flora del pasado.

Podríamos seguir mencionando otros hechos y ejemplos pero, de lo ya indicado, se puede fácilmente comprender y justificar el gran alcance y el interés que la moderna teoría ha despertado en el mundo de los científicos que se interesan por el conocimiento de nuestro planeta y de su evolución. Un gran interés que se ha producido, no obstante que algunas de las ideas contenidas en la tectónica de placas fueron ya iniciadas con anterioridad y, en algunos casos, hasta expuestas bajo formas muy semejantes a las actuales. Así y desde que Humboldt señaló en 1801, probablemente por vez primera, las analogías existentes entre las ambas costas del Océano Atlántico, la idea de los desplazamientos continentales se vino considerando, más o menos implícitamente y en diversas ocasiones (Snider, 1858, Suess, 1908, 1909, Taylor, 1910, Wegener, 1912), con sus consiguientes consecuencias como, por ejemplo, las de colisión posible entre continentes (Argand, 1916, 1924, Staub, 1924, 1928, et-

cétera.). La extensión del fondo de los océanos fue igualmente mantenida, así como la de las crestas oceánicas (Wegener, 1922, Daly, 1926, Du Toit, 1937) y hasta se consideró al Océano Pacífico dividido en una serie de grandes bloques, con movimientos relativos independientes, alguno de los cuales coinciden o se aproximan mucho a los actualmente aducidos (Schwinnner, 1941). De análoga manera, otros autores (Kober, 1923, Umbgrove, 1947), establecieron los primeros rasgos de las bandas tectónicas de las crestas oceánicas y sus correlaciones sísmicas. El nombre de subducción, dado por Amstutz (1951), correspondía a un concepto anteriormente establecido por Ampferer (1911). Y en los modelos de corrientes de convección de Griggs (1939) y sobre todo, de Holmes (1933, 1945), cuyos primeros antecedentes habría que buscarlos, a su vez, probablemente en Hopkins (1839), se encuentran muchos aspectos y detalles que bien pudieran homologarse con algunos de los actualmente admitidos o en discusión.

Pero estas y otras menciones, que igualmente podrían hacerse, no servirían sino para confirmar lo ya conocido, en el sentido de que la mayoría de las grandes concepciones de la mente humana, en su gestación y desarrollo, siguen una secuencia de acontecimientos que en mucho se parece a la que a su vez siguieron y mediante la cual se formaron, los mismos seres humanos autores de tales concepciones. En ambos casos, el nacimiento del nuevo ser o de la nueva concepción, se produce después de un período generador de formas previas e incompletas pero que, aún así siéndolo, constituyen, sin embargo, las etapas imprescindibles para llegar hasta el propio nacimiento. El cual nacimiento, a su vez y a pesar de su dependencia de las etapas anteriores, representa, no obstante, una fuerte interrupción, un brusco salto, en la secuencia de los acontecimientos, puesto que da origen a un nuevo ser, o a una nueva concepción, que ya con propia entidad, se puede encaminar por sí misma hacia el futuro. Vistos así los hechos y por lo que al final de la secuencia se refiere, nos encontramos en la misma línea de pensamiento que la del historiador Thomas Kuhn (1962), para quien el crecimiento de la ciencia no se produciría de una manera continua sino, antes por el contrario, mediante lo que denomina revoluciones científicas, a las que define como nuevos modelos de generalizaciones que, surgiendo bruscamente, constituyen guías directrices para las futuras investigaciones.

El término de revolución científica, aunque quizás utilizado en

ocasiones en un sentido más inmediato, se le ha asignado frecuentemente en estos años a la Tectónica de Placas, a la que se ha considerado, por su categoría y trascendencia, equivalente a las más importantes concepciones que se han venido produciendo y que han constituido cimas dominantes en otras parcelas del saber científico. Un gran entusiasmo se ha despertado entre los seguidores de la nueva Teoría, cuyo número ha ido creciendo rápidamente. De igual manera que el de sus publicaciones, entre las que se encuentran desde las más trascendentes, hasta aquellas otras en las que se denuncian testimonios de placas, o de sus movimientos que, al parecer, se sitúan casi en los mismos alrededores de los puestos de trabajo de sus respectivos autores. Raro es, en efecto, el número de las revistas especializadas en el que no se encuentre hoy algún artículo referente o relacionado con tales cuestiones, como tampoco es infrecuente la aparición de nuevos libros sobre el tema que, aun siendo necesariamente repetitivos en muchas de sus partes, por su labor de recopilación y de síntesis de las últimas ideas, pueden alcanzar a veces valores apreciables, como los que también deben probablemente alcanzar, aunque bajo otros aspectos, para los productores de obras que, como éstas, se refieren a cuestiones de tanta actualidad e interés y, por consiguiente, de tan abundante clientela. Ese mismo interés y entusiasmo es el que ha podido llevar, en ocasiones, hasta posiciones dogmáticas, por parte de algunos de los seguidores más enfervorizados.

Pero todo esto es normal y hasta resulta en cierto modo lógico que así suceda en las épocas de las nuevas ideas y de los cambios y hasta parece ser que, a menor escala y salvando las diferencias lógicas de los tiempos, debió realmente suceder en el mismo campo de las ciencias de la Tierra, cuando surgieron, por ejemplo, determinadas hipótesis o conceptos orogénicos que, sin embargo, perdieron posteriormente su preponderancia y, en ocasiones, hasta su misma vigencia.

Pero el objeto que ahora perseguimos no es hacer historia del pasado ni relación anecdótica de lo sucedido en el presente. Lo que pretendemos ahora es obtener alguna idea sobre la opinión actual acerca de la moderna Teoría y sobre su posible valoración y alcance, cuando la consideramos como concepción global de la dinámica de nuestro planeta, es decir, como principio fundamental para las ciencias de la Tierra. Difícil y arriesgada pretensión la de esta valoración, a la cual, como en los casos anteriores, sólo podremos res-

ponder destacando alguna de las pinceladas del complejo y gran cuadro que se ha venido realizando, que se continúa elaborando y que está todavía por terminar, sobre la Tectónica de Placas. En todo caso, estas pinceladas se referirán a la doble visión que podemos obtener de la Teoría, según la contemplamos en el espacio o desde el tiempo. Nuestras dos preguntas fundamentales, correspondientes a cada uno de estos dos diferentes enfoques, serían entonces: ¿Explica la Tectónica de Placas todos los hechos y aspectos fundamentales que, cuando menos, se observan en las zonas superiores del conjunto sólido de la Tierra? Y la segunda pregunta que podríamos hacernos, sería, a su vez: ¿Es válido para los tiempos más antiguos el modelo propuesto por la Tectónica de Placas?

Para contestar a la primera pregunta debemos referirnos y concretarnos a las estructuras actualmente presentes en la totalidad de las zonas superficiales de la Tierra, así como a sus inmediatas antecesoras. En realidad, la configuración actual de la superficie de nuestro planeta y según la misma teoría, en su mayor parte es consecuencia de los movimientos de las placas litosféricas y de los procesos y deformaciones que se derivaron y que se han venido sucediendo aproximadamente durante los últimos doscientos millones de años. Así, la apertura del actual Atlántico se iniciaría, más o menos, por aquellos tiempos y en los siguientes, antes o después, se fueron generando las cordilleras del gran conjunto denominado alpídico, las cuales, por razón de su juventud, y véase al decir esto cuánto hay de relativo en el mundo de la geología, permanecen todavía enhiestas y vigentes en la topografía actual. Debemos también advertir que la Teoría de Placas ha sido elaborada, fundamentalmente, sobre la base de las observaciones y mediciones recientes y sobre los datos obtenidos de estas estructuras todavía presentes, lo cual es tanto como decir, que todos aquellos méritos que antes aducíamos en favor de la moderna concepción, los que se derivaban de su carácter predictivo y de las mejores explicaciones que conseguía para una serie de hechos y acontecimientos, debemos volver a anotarlos ahora en el haber de la Teoría, cuando la consideramos en el espacio y con ello valoramos los hechos de reciente génesis geológica. Pero, por otra parte, alguno de estos mismos hechos no parecen encontrar una explicación suficientemente adecuada con las nuevas ideas o, cuando menos, admiten diferentes y controvertidas interpretaciones. Citaremos alguno de ellos, aunque sólo sea,

como decíamos, para mostrar algunas pinceladas del gran cuadro que se nos ofrece a la vista.

En el interior de los grandes continentes existen amplias cuencas de hundimiento y dilatadas elevaciones, a las que se considera formadas por suaves movimientos producidos preferentemente en la vertical. A pesar de la relativa menor cuantía que alcanzan estas deformaciones y aún admitiendo fenómenos de resonancia tectónica, no resulta fácil correlacionar tales movimientos en la vertical del interior de los continentes, con los que se producen en los bordes activos de las placas, por lo general situados a muy grandes distancias. Por otra parte, alguna de estas amplias depresiones o elevaciones, han proseguido, con sus mismas tendencias respectivas, al hundimiento o al levantamiento, durante muy largos períodos de tiempo, a veces durante centenares de millones de años, y además, parece ser también, que algunas han mantenido una posición fija con respecto a los niveles del manto infrayacente, como así se ha creído deducir hasta de sus mismas características metalogénicas. Una tal continuidad y permanencia no parece estar muy conforme, al menos aparentemente, con los desplazamientos laterales de las placas. Se discute igualmente sobre la formación de las cordilleras intracratónicas, situadas en espacios del interior de los continentes y, por lo general, también a grandes distancias de los bordes activos de placas. Especial énfasis se da, en este caso, al mecanismo de formación de las raíces de estas cordilleras.

En las cordilleras liminares, de borde de placas, las circunstancias son bien diferentes, puesto que ellas representan unidades características y consecuentes con el mecanismo propuesto por la concepción global. Sin embargo, en algún caso, como en los Andes del Perú, se observan estructuras fundamentales de distensión, en lugar de las de compresión, propias de las zonas típicas de subducción. Para explicar esta notable anomalía, así como los movimientos verticales que de tales estructuras se deducen, se ha invocado la relativa rigidez de la corteza continental en tales lugares, lo cual la permitiría flotar intacta sobre la débil corteza oceánica en subducción y así atenuar los efectos correspondientes, hasta convertirlos en simples oscilaciones de los bloques en que aparece aquí compartimentada la corteza continental (J. S. Myers, 1975). Habría de todas maneras que pensar si esta misma compartimentación, no sería motivo de una pérdida de solidez para el conjunto de la corteza continental. Por otra parte, hace falta coordinar, aún para estas mis-

mas cordilleras fundamentales, los abundantes datos que de ellas se conocen sobre sus características tectónicas, con las de procedencia geofísica y en general con los del modelo de subducción. Su misma evolución polifásica, y aún policíclica, debe ajustarse y justificarse, más adecuadamente, con los movimientos generales de las placas. Así como también las explicaciones sobre los posibles mecanismos de emplazamiento de plutones ultramáficos y de los conjuntos ofiolíticos dentro de los orógenos y las relaciones de estos últimos con las toleitas oceánicas.

Ya en las fosas oceánicas, que como es bien sabido, según el modelo de placas corresponden a la zona de penetración hacia la profundidad del borde de placas oceánicas subsidentes y que, por consiguiente, deben ser estructuras sometidas a la compresión, se han encontrado, sin embargo, datos que parecen demostrar lo contrario, como son la existencia de fallas normales y la ausencia de deformaciones de compresión en los sedimentos jóvenes que en ellas se alojan. Por lo que se refiere a las mismas crestas oceánicas, se hace necesario relacionar el metasomatismo térmico de que aparecen afectados algunos niveles basálticos, con la movilidad y renovación predicha por la tectónica de placas.

Otros datos se podrían añadir, pero tendríamos entonces que entrar en discusiones de mayor detalle, no procedentes en la presente ocasión. Bástenos recordar, finalmente, que todavía no existe acuerdo pleno sobre el número de placas mayores que cabe distinguir en la totalidad de la superficie terrestre, pues si bien la mayoría de los autores piensan que son seis, las que anteriormente se mencionaron, otros hacen elevar su número a ocho, al dividir en dos, por ejemplo, la placa de las Américas, así como la del Pacífico, y todavía existen autores que piensan en un número más elevado. Y si no se ha llegado a un acuerdo sobre el número de las placas mayores existentes, menos puede haberlo por lo que se refiere al número y a la posición de las llamadas por algunos microplacas, piezas menores que situadas por lo general en los límites de las grandes placas, sirven, en muchos casos, de elementos de gran utilidad y comodidad para completar el gigantesco rompecabezas y sus diferentes movimientos. De todo lo cual resulta obvio decir, que tampoco ha de encontrarse coincidencia plena sobre la posición exacta que ocupan, en algunos casos, los bordes mismos de placas bien definidas, como sucede, por ejemplo, con la cresta delimitadora entre Alaska y Asia, que pue-

de situarse hasta en tres lugares diferentes, según los autores que consideremos.

Con estos breves comentarios quizá podamos hacernos ya una idea, aunque sólo sea aproximada, acerca de la contestación que podríamos dar a la primera pregunta de las dos que nos habíamos planteado, es decir, a la que se refería a la posible validez de la Teoría de Placas cuando la contemplamos en el espacio, ante el conjunto de rasgos y hechos, del pasado geológico reciente y actuales, que predominan hoy en la superficie de nuestro planeta. Parece entonces que los datos existentes proporcionan un balance positivo a favor de la Tectónica de Placas, si bien sucede, igualmente, que todavía existen cuestiones de importancia por coordinar y hasta algunas otras, que parecen estar en cierta contradicción con el nuevo modelo. Pasaremos entonces a la segunda cuestión planteada. A la pregunta que nos hacíamos, sobre la posible validez del mecanismo de las placas cuando lo contemplamos bajo la distancia de los tiempos.

Se ha escrito por Robertson (1972), «que las especulaciones acerca del origen de la Tierra constituyen uno de los más viejos pasatiempos intelectuales del hombre». Pero no debemos asustarnos, porque no vamos a entrar ahora en tal pasatiempo ni en tan complejas cuestiones. Consideremos, por consiguiente, constituido ya nuestro planeta y veamos cuáles son algunas de las más destacadas opiniones, por lo que se refiere a la posible vigencia del mecanismo de placas para los tiempos más antiguos de la historia geológica de la Tierra. Pero antes recordemos la división que actualmente se sigue para estos tiempos, así como también el esquema de los principales acontecimientos que entonces sucedieron, de acuerdo con algunos de los modelos más aceptados.

Los nombres de cada Eon, o grandes lapsos de tiempo en que se divide actualmente la historia de la Tierra son, de más antiguo a más moderno, los siguientes.

Catarcaico, de los — 4.500 a — 3.900 (3.800) millones de años.

Arcaico, de — 3.900 a — 2.600 millones de años.

Proterozoico, — 2.600 a — 1.000 (600?) millones de años, y

Fanerozoico, de los — 1.000 (600?) millones de años hasta la fecha.

Los nombres de estos grandes períodos han sido a veces sustitui-

dos o cuando menos adjetivados, con calificativos especialmente buscados para destacar determinados aspectos de cada Eon.

Por lo impresionante de los nombres utilizados y, al tiempo, como un ejemplo, mencionaremos unos que recientemente les han sido asignados (R. ST. J. Lambert, 1976). Al Cataarcaico se le denomina «Fase caótica», a los primeros tiempos del Arcaico, «Fase anárquica» y a los siguientes, dentro del Arcaico, de la «Tectónica de escorias». A los del Proterozoico, de la «Tectónica de piel» y a los del Fanerozoico, de la «Tectónica de Placas». Y no se trata, ciertamente, de nombres puestos al azar, en un mundo de ciencia ficción. El autor explica las razones. Así dice que «caos» se ha escogido para indicar el estado de total desorden de los acontecimientos en la fase más antigua; «anarquía», es un estado bordeando el caos; «escorias» se ha escogido para designar pequeñas unidades protocontinentales, y «piel» para indicar una litósfera uniforme. Como se ve, el estado de la Tectónica de Placas lo reserva para la fase final, la de los 1.000 - 600 millones de años últimos, aunque admite precedentes del mecanismo para las fases anteriores. Pero no adelantamos las opiniones al respecto. Recordemos antes los principales acontecimientos que pudieron ocurrir durante estos tiempos tan lejanos.

De acuerdo con las ideas contenidas en alguno de los modelos de evolución más aceptados actualmente y aún con los riesgos de toda simplificación, podemos destacar lo siguiente. Refiriéndonos primero a los acontecimientos del conjunto sólido de la Tierra se piensa que, durante el Cataarcaico, se debió producir, por diferenciación, una primera corteza terrestre, de composición metabasáltica y de relativo poco espesor. Al tiempo se formarían bandas de montañas volcánicas producidas probablemente, por la ascensión hasta la superficie de productos diferenciados, procedentes de grandes profundidades. Habría un intenso volcanismo y el paisaje de entonces recordaría al actual lunar, por lo que algunos autores han denominado también al Cataarcaico como «Estadio lunar». Para los tiempos siguientes, los del Arcaico, se debió producir, también por diferenciación, una segunda corteza, que se emplazaría por debajo de la anteriormente formada durante el Cataarcaico. El fondo de esta segunda corteza coincidiría aproximadamente con la posición actual de la superficie de Conrad, y se situaría a unos 18-20 kilómetros de profundidad media. Entretanto, la corteza primeramente formada, por el fuerte calentamiento, experimentaría trans-

formaciones metamórficas bajo facies granulíticas. Se producirían también grandes masas granítico-neísicas. Granulitas y especialmente otras rocas de más bajo metamorfismo, las que se encuentran en los denominados «Greenstone belts», se situarían preferentemente en las zonas altas del conjunto arcaico, íntimamente asociadas y constituyendo, por esta razón, lo que algunos autores han llamado la «paradoja cratónica». Las tendencias generales que se acusan durante estos tiempos de la historia más antigua de la Tierra, corresponden a las de un engrosamiento sucesivo de la corteza, con el correlativo descenso de la astenosfera, disminución de la temperatura y disminución, también progresiva, del vulcanismo básico, así como de la intensidad del metamorfismo regional. Se formaron amplias depresiones, más definidas al final del Arcaico, en las que se depositaron principalmente productos volcánicos que, posteriormente, irían alternando con sedimentos terrígenos, de primitiva geoquímica, los cuales tomarían un predominio progresivo en el tiempo. Al final del Arcaico estarían ya constituidos dos diferentes tipos de corteza: oceánica, con unos 10-15 kilómetros de espesor, y continental, que alcanzaría una potencia media de unos 25 km.

El final del Arcaico, diacrónico según varios autores, marcaría probablemente una de las más importantes discontinuidades en la historia de la Tierra. En los tiempos primeros del Proterozoico se añadiría todavía una tercera corteza, inferior a las anteriores y cuyo límite basal correspondería a la discontinuidad de Mohorovicic. Pero la mayoría de los aspectos estratigráficos, petrológicos y tectónicos del Proterozoico se asemejaron más a los del Eon siguiente, es decir, a los del Fanerozoico, que a los que dominaron en los anteriores tiempos. Los mismos geosinclinales se hicieron más lineales y, al parecer, fue desde entonces cuando se empezaron a diferenciar los sedimentos de eugeosinclinal y los de miogeosinclinal. La atmósfera primigenia del Arcaico, procedente principalmente de la desgasificación del manto terrestre y, por consiguiente, de características reductoras, mediante la fotólisis del vapor de agua en la alta atmósfera y sobre todo, mediante la fotosíntesis orgánica, se fue enriqueciendo en oxígeno. Por consiguiente, la vida, aunque fuera en sus formas primitivas, se desarrolló ya durante el Proterozoico, como se ha podido confirmar por el hallazgo de abundantes fósiles pertenecientes a diversas microbios, que alcanzaron una amplia distribución geográfica en aquellos tiempos. Los testimonios de vida para el Arcaico son,

por el contrario, muy escasos y discutidos y se refieren, principalmente, a la presencia de estructuras estromatolíticas, composición isotópica del carbono de la materia orgánica encontrada y sobre todo, a la relativa complejidad alcanzada por los microorganismos de los términos primeros de Proterozoico, lo que hace suponer la existencia de alguna forma inicial de vida para los tiempos anteriores. Finalmente, el Fanerozoico corresponde ya a los tiempos que pudiéramos decir «históricos» para la geología, con fósiles abundantes y con materiales y estructuras mejor conocidas. El final del Fanerozoico comprende los tiempos de los ciclos alpidicos antes comentados.

Después de este rápido boceto sobre los tiempos más antiguos de la historia de la Tierra, podemos buscar ahora la respuesta a la segunda pregunta que nos hacíamos, la de saber si el mecanismo propuesto por la Tectónica de placas es válido para aquellos remotos tiempos, los que podríamos decir de la «prehistoria» de nuestro planeta. Cuestión que, como las anteriormente tratadas, es también prácticamente imposible de discutir ahora en sus variantes y detalles porque, de una parte, el conocimiento sobre estos lejanos tiempos, ha avanzado fuertemente en los últimos años y porque puede decirse que, tales temas, constituyen hoy uno de los campos de mayor actualidad para las investigaciones geológicas. Y de otra parte también, porque al coincidir este avance con el de los conocimientos de la Teoría de placas, se ha abierto una nueva dimensión para extrapolar y confirmar, en cuanto fuera posible, las ideas de la nueva concepción global. Por consiguiente, nos limitaremos ahora únicamente a mencionar las conclusiones obtenidas al respecto por algunos destacados autores, para así tratar de orientarnos sobre la posible contestación que podríamos dar a la pregunta que nos hemos planteado.

En fechas tan próximas a las del enunciado de la Teoría de Placas como el año 1969, Martín, H., de sus estudios en los terrenos antiguos del Sur de Africa, y Anhanesser y otros, llegan a conclusiones negativas sobre la cuestión. En 1970, McGlynn y otros son de análoga opinión, en tanto que Ringwood supone que mientras los procesos derivados de las translaciones laterales, con extensión de los fondos oceánicos y establecimientos de zonas de subducción, son preferentes para los tiempos más recientes, para los tiempos más antiguos predominarían los transportes verticales, con fusiones fraccionadas. En los años 1971 y 1973, una serie de autores se

muestran partidarios más decididos de la extrapolación del mecanismo de placas a los tiempos del Precámbrico, en tanto que otros presentan todavía ciertas reservas. Así, Glikson (1971) admite una tectónica primordial de placas, de tipo arco insular, para el Arcaico, Hoffman (1973) supone el principio de la tectónica de placas en el Proterozoico, Talbot (1973) también lo admite para el Arcaico, pero bajo la forma de arcos islas y microcontinentes. El mismo Anhaneser, que anteriormente se había opuesto a la idea, en este año presentó otro trabajo en el que, por el contrario, se mostraba partidario de la extensión del mecanismo de placas al Arcaico, aunque no parecía pensar de igual manera por lo que se refería a la formación de las bandas de rocas verdes («greenstone belts»). También en 1973 Bridgwater y otros admiten que para los tiempos del Proterozoico, algunos elementos de Groenlandia, como el conjunto móvil Nagsugtoquidiano, pudo producirse por el dicho mecanismo, en tanto que el conjunto Ketilidiano no lo sería. Windley (1973) considera más probable que en el Arcaico predominasen los movimientos en la vertical, tipo Ramberg, mientras que los de placas lo serían durante el Proterozoico. Shackleton (1973) encuentra muchas razones para dudar que durante los tiempos precámbricos existiera tectónica de placas, aunque reconoce que existen también algunos hechos que parecen confirmarlo. En definitiva, no se decide por una u otra opción. Den Tex, en 1974, escribe que la tectónica de placas presenta una serie de dificultades cuando se la extrapola a los tiempos más antiguos de la historia de la Tierra, y que una importante contrapartida para explicar los hechos de entonces se podría establecer, sobre la base de convección penetrativa y diapirismo, tanto en el manto superior como en la corteza inferior. En 1975, Bak y otros llegan a la conclusión de que una placa litosférica existiría en el oeste de Groenlandia para los tiempos del Proterozoico, y el ruso Glukhorskiy, en este mismo año, de sus estudios en el escudo de Aldán, llega a análogas conclusiones, aun para los tiempos del Arcaico antiguo. Los estudios continúan y las publicaciones sobre tales temas prosiguen y así, en este mismo año de 1976, y como simples ejemplos, Kevin Barke y otros, Tarney y otros y Katz, admiten la tectónica de placas para los tiempos del Arcaico, mientras que Lambert, el autor antes citado, cuando nos referíamos a otros nombres de los que han sido propuestos para las divisiones de los tiempos precámbricos, de consideraciones sobre los valores del flujo térmico, así como también por otros datos

geológicos, llega a la conclusión de que para los mismos tiempos del Proterozoico, a los que también denomina, según antes dijimos, de la tectónica de piel, la litosfera sería demasiado débil para sufrir prolongados y estables procesos de subducción. Con lo cual y para este autor, la verdadera tectónica de placas quedaría reducida a los últimos mil millones de años, es decir, a los tiempos del Fanerozoico, o a los del Fanerozoico más los del Eocámbrico, según la división que aceptemos.

Si consideramos ahora el conjunto de estas opiniones que acabamos de exponer, sobre la posible validez del mecanismo de placas para los tiempos más antiguos de la historia de nuestro planeta, o mejor dicho, para los tiempos anteriores al Fanerozoico, deduciremos que todavía no se ha podido conseguir una opinión unánime al respecto, lo cual era por otra parte lógico esperar, dada la complejidad y dificultades de ambas cuestiones que se trataban de correlacionar, de la Tectónica de Placas y de la Historia evolutiva de la Tierra durante los tiempos más antiguos. Parece, sin embargo, que existe una mayor tendencia, en los últimos años, a hacer válido el mecanismo de placas para aquellos tiempos más remotos, pero esta tendencia podría en parte ser debida al auge creciente que ha venido alcanzando la concepción global, lo cual motivaría, y en parte justificaría, los mayores deseos de generalización de las recientes ideas y de su extrapolación hacia el pasado. Anotada esta tendencia, podemos concluir, después de este sondeo de destacadas opiniones, que el problema está aún pendiente de solución y que para conseguirla, se precisará, indudablemente, de un mayor número de investigaciones y de datos más abundantes y completos que los actuales.

Comprenderemos ahora que, ante esta falta de acuerdo en las opiniones y ante la serie misma de datos que se vienen presentando en contra del nuevo modelo, puedan existir en la actualidad oponentes a la Teoría de Placas, no obstante su gran aceptación. Sucede además que muchos de los hechos y fenómenos que se invocan y explican según la nueva concepción, pueden encontrar también su explicación según otros modelos. Un autor tan objetivo como Maxwell (1974) escribió a este respecto: «Muchas de las mismas relaciones geológicas que ahora se vienen utilizando para establecer tales «pruebas» —refiriéndose a las que se aducen en favor de la Teoría de Placas—, se han usado para demostrar la «verdad incuestionable» de, al menos, otras cuatro hipótesis tectónicas mayores, dentro de la vida profesional del autor. Cualquiera hipótesis que ofrezca movimientos late-

rales en la corteza terrestre de algunas decenas de cientos de kilómetros, o extensos y repetidos movimientos en la vertical de una parte de la corteza, puede explicar la mayoría de los «hechos» relacionados con la orogenia y la epirogenia».

Siguiendo nuestra costumbre, sólo mencionaremos ahora, como ejemplos, algunos de los oponentes a la nueva concepción. En primer lugar, y no sólo por su destacada personalidad científica, sino también por su constante oposición, desde un principio, citaremos a V. V. Belousov. En sus diversas publicaciones ha presentado una serie de importantes objeciones a la Teoría, en particular por lo que se refiere a la génesis de los orógenos, principalmente de los más antiguos y a la explicación de los movimientos verticales, de tanta importancia en su consideración para la dinámica cortical. Piensa que una hipótesis global no puede ignorar los hechos fundamentales de la geología continental y que, por consiguiente, una hipótesis basada en procesos de desarrollo en la vertical como, por ejemplo, la elaborada por él mismo con anterioridad, explica más satisfactoriamente tales realidades. Posturas análogas, contrarias a la Tectónica de Placas, han sido, por otra parte, bastante frecuentes entre los autores rusos; quizás porque las ideas de la nueva concepción proceden del exterior, quizás también porque en las escuelas rusas han existido figuras destacadas, creadoras ellas mismas o partidarias de modelos diferentes. Tal situación, sin embargo, ha ido cambiando en estos últimos años.

Otros autores, como Khudoley, K. M. (1974) y Smiley, C. J. (1974), por el estudio de la distribución en el pasado de las zonas de carbonatos, evaporitas y tillitas, así como por la distribución también de determinados grupos de fósiles, llegaron a concluir que las masas continentales han debido permanecer aproximadamente en las mismas posiciones que en la actualidad, al menos desde el principio de los tiempos del Mesozoico. Desde otros campos de la investigación, el distinguido geofísico Harold Jeffreys, en diversas publicaciones presentó conclusiones análogas, en el sentido de considerar imposibles los grandes desplazamientos continentales, por tanto que los conocimientos actuales sobre las propiedades mecánicas de la Tierra, y también de la Luna, sugieren que no son factibles ni la convección en el interior de la Tierra, ni la extensión por miles de kilómetros del fondo de los océanos, ni consiguientemente tampoco los movimientos de la Tectónica de Placas. También Wesson, P. S. (1974), de consideraciones sobre la anelasticidad

dad en los distintos niveles del manto, llega a deducir que la convección, imposible en las zonas más profundas, es cuando menos dudosa para los niveles más superficiales. Considera que hay más fallos en la nueva hipótesis de los que razonablemente pudieran ser aceptables.

Algunos autores, después de la correspondiente crítica a la nueva concepción y de destacar los puntos que en ella estiman como especialmente débiles, elaboran y presentan sus propios modelos, con los cuales consideran superados tales inconvenientes. Así, Dillón, L. S. (1974), quien analizando abundantes datos geológicos, biológicos y geofísicos, no explicables en su criterio por la Tectónica de Placas, para la que, por otra parte, tampoco encuentra un mecanismo adecuado, propone un modelo que se basa principalmente en el vulcanismo, origen principal de la extracción, hacia el exterior de la Tierra, de volátiles y del agua de los océanos, así como también generador de las grandes deformaciones que ocurren en la corteza.

Pero otros investigadores, que se oponen igualmente a la Teoría, acuden para explicar los hechos y, sobre todo, las causas originadoras de los mismos, a ideas o hipótesis que, aunque actualizadas, han tenido valor preferente en tiempos anteriores. Así, por ejemplo, A. A. Meyerhoff, H. A. Meyerhoff y R. S. Briggs (1972), quienes después de analizar y criticar fuertemente diversos aspectos de la Tectónica de Placas, se muestran partidarios de la contracción, motivada por el enfriamiento terrestre que, suponen, habría disminuido exponencialmente en el transcurso de los tiempos. Ambos Meyerhoff son, además, autores bien conocidos por sus abundantes y extensas publicaciones, contrarias siempre a la nueva concepción a la que, sin embargo, y según escriben en 1974, no se debe ignorar, porque piensan, de acuerdo con Whiteman (1970), que los estudios sobre tectónica a escala global no son simples ejercicios académicos, sino estudios que pueden tener interés para el futuro de la humanidad. Así, y como un ejemplo al respecto comentan, que el potencial mineral posible de una cuenca oceánica de 150-200 millones de años de antigüedad, como podría ser la del Atlántico a partir de su última apertura, según propone el modelo de placas, lógicamente tendría que ser mucho menor que si se tratase de una cuenca de 1.000-4.500 millones de años de antigüedad, como sugieren otras concepciones.

Pero existen también oponentes actuales que son, a su vez, seguidores de las ideas más opuestas a las de la contracción de

nuestro planeta, es decir, que defienden los supuestos de la expansión terrestre. Este es el caso, por ejemplo, del distinguido Profesor australiano S. W. Carey quien, en su misma publicación del pasado año (1975), continúa discutiendo y explicando, de acuerdo con tales ideas expansionistas, aspectos y datos que se invocan como fundamentales en la Tectónica de Placas, tales como los de paleomagnetismo, flujo térmico, sismicidad general y particular de las zonas de Benuioff, fosas marinas y sus sedimentos, evolución de los océanos, etc. La asimetría de la expansión de la Tierra, que alcanzaría mayores valores para el hemisferio sur, sería la causa principal, para este autor, de la acumulación preferente de las masas continentales en el hemisferio norte. Piensa también Carey que la expansión terrestre habría quizás experimentado una aceleración exponencial con el tiempo.

Estos pocos ejemplos nos pueden proporcionar, sin embargo, una idea de la actual situación por lo que se refiere a la oposición existente contra la Teoría de Placas. Fuertes, podríamos decir que hasta apasionadas controversias, se han producido con tal motivo en diversas ocasiones, de alguna de las cuales hemos sido testigo presencial. Escribía Khale (1974) que en las ciencias existe más una lucha *contra* las ideas que *por* las ideas, y aunque pensamos que tal aserto no debería gravitar exclusivamente sobre el campo científico, pues es planta que prospera y florece en muy diversas latitudes de la actividad humana, sí pensamos que en este caso que nos ocupa ha podido ser y aún continúa siéndolo, uno de los principales motores para tan intensa actividad.

Pero entre estos ejemplos de criterios opuestos a la Tectónica de Placas que acabamos de mencionar, además de las ideas en ellos contenidas hay algo que, sin duda, ha tenido que llamar preferentemente nuestra atención. Como bien sabemos, el modelo de placas admite que la longitud del radio terrestre no ha variado; es por ello por lo que, al no variar tampoco la extensión de la superficie de la Tierra, toda formación de nueva corteza oceánica debe compensarse con una destrucción equivalente en otros lugares. Sin embargo, y como acabamos de indicar, existen aún partidarios de todo lo contrario. Para algunos, el radio de la Tierra ha disminuido en el transcurso de los tiempos; para otros, ha debido aumentar. A esta supuesta disminución o aumento de la longitud del radio terrestre atribuyen dichos autores, además, el origen o causa primera de los procesos generadores de la compleja dinámica del interior de nues-

tro planeta. Y ante tales contradicciones sobre cuestión tan fundamental, no cabe duda que se nos ha de plantear todavía una nueva y urgente pregunta. Si es que el nuevo modelo de placas, a pesar de todo su contenido y de su mayoritaria aceptación, no dispone aún de razones suficientes para salir al paso de tales contradicciones y para explicar, al mismo tiempo y con toda nitidez, las causas originadoras del elegante mecanismo que defiende. Una concepción que es calificada de global y considerada ya como Teoría, debe sin duda atender, y preferentemente, a tan importante requisito, si quiere, además, consolidar firmemente su posición. Recordemos, a tal respecto, por ejemplo, que las tan atractivas ideas de las derivas continentales, de Taylor-Wegener, encontraron en su tiempo las mayores dificultades para ser aceptadas, en la falta de unas causas que pudieran explicar adecuadamente los desplazamientos propuestos.

Sin embargo, es cierto que, para explicar el mecanismo de la Tectónica de Placas, se han invocado ya diversas causas. Aunque, quizás demasiadas. Un rápido resumen de las ideas más importantes mantenidas al respecto, nos permitirá hacernos mejor cargo de la actual situación.

La mayoría de los autores consideran que las causas generadoras y los procesos correspondientes tienen lugar en las zonas del interior de la Tierra, preferentemente en el manto, quizás con alguna participación del mismo núcleo terrestre. En este grupo, una de las ideas más defendidas corresponde al de las corrientes de convección por calentamiento, con células que, para algunos, quedarían restringidas a la astenósfera, para otros alcanzarían la profundidad del límite de los batismos, es decir, los 700 km., y aun para otros, ocuparían toda la extensión del manto terrestre. Particularmente en este último caso, sería posible admitir una transferencia energética hacia el manto desde el núcleo externo y aun, para algunos, desde el mismo núcleo interno. La interfase manto-núcleo externo, con sus especiales características y labilidad, jugaría entonces un papel importante. A su vez, la transferencia hacia los niveles más superficiales podría efectuarse según diversos modelos de circuitos. Algunos estiman también que en el manto superior podrían coexistir e interferir dos escalas diferentes de células de convección.

Otros autores piensan que las causas generadoras del mecanismo de placas hay que buscarlas igualmente en el interior de la Tierra, pero según otro tipo preferente de procesos. El modelo fundamental que proponen es el de los denominados penachos térmicos, especie

de columnas de material más caliente del manto, de pocos centenares de kilómetros de diámetro, que desde la interfase manto-núcleo se elevarían hasta llegar a afectar a la misma litosfera. En esta unidad más superficial del conjunto sólido terrestre, producirían abombamientos, fracturaciones y el consiguiente vulcanismo. Algunos piensan que tales columnas térmicas podrían, a su vez, ser las iniciadoras de corrientes laterales posteriores, coincidentes con la extensión, en forma de penacho, experimentada por tales columnas en sus niveles más elevados. También se han considerado como posibles motivadoras de la partición inicial de las placas litosféricas, a partir de los puntos denominados de triple unión. Tales ideas sobre la existencia y características de los penachos térmicos, han sido y siguen siendo muy discutidas y hasta se ha propuesto, para explicar la diferente antigüedad de las islas volcánicas alineadas tipo Hawaii; de cuyo estudio procede la idea, un modelo que pudiéramos decir antagónico, pues supone que las masas de material astenosférico residuales de las erupciones volcánicas, por su mayor densidad se hundirían en la mesosfera, donde constituirían columnas fijas y de crecimiento hacia la profundidad, que actuarían como verdaderas anclas gravitacionales.

Algunos autores conceden, por otra parte, especial importancia a los movimientos de las propias placas litosféricas, los cuales podrían provocar a su vez y por arrastre, desplazamientos de la astenosfera infrayacente. Los movimientos propios de las placas litosféricas estarían motivados, bien por su deslizamiento a favor de los planos inclinados marginales a las crestas oceánicas, bien por el efecto de cuña producido en estas crestas por las sucesivas intrusiones de materiales profundos, o, también, por la mayor densidad que, por enfriamiento, alcanzaría la placa en sus zonas más antiguas y alejadas de las crestas originadoras. Esta mayor densidad provocaría o facilitaría la subducción en tales bordes de placas.

Finalmente, se han emitido también hipótesis por las que se supone que las causas primeras de los desplazamientos de las placas, habría que buscarlas en el exterior de nuestro planeta. Serían consecuencia de la interacción de las atracciones lunares y solares en el conjunto sólido terrestre, particularmente en las zonas de transición de fases dentro del manto. El movimiento estaría generado por acumulaciones asimétricas de los esfuerzos en los límites de placas.

Estas explicaciones sobre las causas generadoras de la tectónica de placas y algunas otras no mencionadas, podrían ser ciertas, por

sí solas, sucesivamente y hasta conjuntadas. Pero cuando tales supuestos se dan por separado y como explicaciones en su mayoría independientes, desigualmente aceptadas y frecuentemente discutidas, quiere ello significar que la solución final está todavía por conseguir o, cuando menos, por esclarecer en toda su magnitud y complejidad. Quiere decir que la moderna concepción, a la que hemos dedicado una gran parte de nuestro tiempo de ahora, con el único y exclusivo deseo de tratar de conocer su verdadero valor como concepción global de la dinámica de nuestro planeta, para así saber si es que con ella se ha conseguido ya uno de esos hitos que decíamos señeros para el conocimiento humano, se presenta todavía como una concepción que, no obstante su indudable importancia y trascendencia y los éxitos ya alcanzados, requiere aún de muchos esfuerzos para completar su contenido y, en todo caso, para conseguir su universal aceptación.

Y si pensáramos ahora en los motivos que pueden justificar esta situación actual, para una concepción tan ampliamente seguida como entusiásticamente defendida, nos percataríamos de que tal situación se debe deducir, no sólo de su relativa juventud, sino también de la persistencia de las mismas dificultades que al principio señalábamos, de aquellas que, según decíamos, han marcado, desde siempre y con impronta hasta ahora indeleble, el desarrollo de las ciencias de la Tierra. Y si para abreviar las explicaciones acudiéramos al similitud del nuestro ya familiar observador, símbolo de los investigadores que a tales afanes se dedican, tendríamos que decir que, a pesar de los impresionantes avances conseguidos en sus observaciones, todavía se encuentra confinado por la superficie de la Tierra que, cerrándose sobre sí misma, le impide descender al interior del viejo edificio sobre el que habita, para así poder investigar, directamente, los procesos que allí acontecen. Esos mismos procesos del interior que, indudablemente, tanta importancia alcanzan y que son los causantes, o están en íntima relación, con la movilidad, del tipo que sea, que afecta a la litosfera y, consiguientemente, a la misma corteza terrestre. Por otra parte, la bruma de los tiempos continua desdibujando, para la visión de nuestro observador, los acontecimientos del pasado, tanto más cuanto más alejados se encuentren. No es, por consiguiente, ninguna casualidad, que hasta para esta misma moderna concepción de la Tectónica de Placas, los puntos más débiles correspondan a las causas generadoras de la profundidad y a su extrapolación hacia los tiempos del pasado.

Al llegar a este final y después de todo lo dicho, quizás podríamos sentirnos inclinados por la incorporación al numeroso grupo de los entusiastas e incondicionales seguidores de la moderna Teoría, o quizás podríamos pensar también, que todavía es pronto para adoptar una actitud única, una exclusiva línea de pensamiento, por lo que se refiere a la tectónica del conjunto de nuestro planeta y a sus causas y procesos generadores. En este caso admitiríamos, probablemente, que el mejor método a adoptar, ante tales circunstancias, continúa siendo el de las hipótesis múltiples, con la contemplación de los hechos en sí mismos, despojados de los prejuicios que pudieran imponerles nuestra teoría preferente, o nuestra hipótesis de trabajo, como Chamberlin nos recomendó, ya desde 1890. Pero si siguiéramos esta actitud de menor espera, en manera alguna deberíamos dejarnos llevar por un excepticismo hacia el momento presente de las ciencias de la Tierra y hacia sus posibilidades para el futuro. Porque, antes por el contrario y precisamente ahora, en estos mismos años, estamos viviendo momentos preferentes por lo que se refiere al desarrollo de los conocimientos sobre nuestro planeta. Debido, de una parte, al extraordinario avance, que decíamos, en los métodos de trabajo y en los resultados. Debido también a la coordinación, a escala mundial, de los esfuerzos. Debido, igualmente, a las mismas ideas aportadas por la concepción de la Tectónica de Placas que, sin duda alguna, han abierto, cuando menos, un nuevo mundo de sugerencias y de posibilidades para el campo de las ciencias de la Tierra.

De otra parte, las mismas dificultades que existen en este campo, constituyen un estímulo y a la vez un reto para el espíritu. Cuando las posibilidades de nuevos descubrimientos y de aventuras sobre la superficie de nuestro planeta se han ido reduciendo, tan drásticamente, quedan todavía otros dominios, como estos de las ideas científicas, donde poder ejercitar el afán del descubrimiento y la emoción de la búsqueda de lo desconocido. Y, en tal sentido, el campo de las ciencias de la Tierra es hoy uno de los más prometedores. Constituye además, este campo, un adecuado marco para poder practicar la tan necesaria humildad científica, al comparar la modestia de nuestros esfuerzos y resultados, con la grandiosidad y complejidad de los problemas, que tanto en el espacio como en el tiempo, se encuentran planteados.

Y termino estas palabras agradeciendo la atención prestada, al tiempo que agradezco también, al ilustre Académico D. Florencio

Bustinza Lachiondo, la lectura del discurso de contestación, que fue redactado por mi maestro D. Francisco Hernández-Pacheco, a quien, penosa enfermedad, le ha impedido asistir al presente acto. En estos momentos, tan emotivos para ambos, le envío desde aquí mi más cariñoso y agradecido recuerdo.

ORIENTACIÓN BIBLIOGRÁFICA

La bibliografía sobre los temas a que se ha hecho referencia, en particular para la Tectónica de Placas, es muy extensa. A título de simple orientación se indican algunas obras en las que, además, se puede encontrar una bibliografía muy completa.

- COX, A. (1973). *Plate tectonics and geomagnetic reversals*, W. H. Freeman, San Francisco.
- GLEN, W. (1975). *Continental drift and plate tectonics*. Merrill, Columbus, Ohio.
- HAMBLIN, W. K. (1975). *The earth's dynamic systems*. Burgess, Minneapolis.
- JACOBS, J. A., RUSSELL, R. D. and WILSON, J. T. (1974). *Physics and Geology*, 2nd ed. Mc Graw-Hill. New York.
- KAHLE, C. F. (1974). *Plate Tectonics. Assessment and reassessments*. The American Association of Petroleum Geologists.
- LE PICHON, FRANCHETEAU ET BONNIN (1973). *Plate Tectonics*. Elsevier. Amsterdam.
- SULLIVAN, W. (1974). *Continents in motion*. Mc Graw-Hill. New York.
- WYLLIE, P. J. (1971). *The dynamic Earth*. J. Wiley. New York.
- WYLLIE, P. J. (1975). *The earth's mantle*. Scientific American, 232 (3). 50-63.

DISCURSO DE CONTESTACION

DEL

EXCMO. SR. D. FRANCISCO HERNÁNDEZ-PACHECO
Y DE LA CUESTA

LEIDO POR EL

EXCMO. SR. D. FLORENCIO BUSTINZA LACHIONDO

Excmo. Señor Presidente,
Excmos. Señores,
Señoras y señores:

Acabamos de escuchar el magnífico discurso del Prof. Alía Medina «Sobre los procesos del interior de la Tierra» y en el que, entre otras, se ha referido a cuestiones tan interesantes y de tanta actualidad como la de la Tectónica de Placas.

El Prof. don Francisco Hernández-Pacheco, Presidente de la Sección de Naturales de esta Real Academia, ha preparado el discurso de contestación, pero debido a su estado de salud se ve imposibilitado de estar aquí por lo que se me ha designado para que, en su nombre, dé lectura a dicho discurso.

Pero antes de cumplir ese encargo, quiero, también por mi parte, destacar del Prof. Alía, la ejemplaridad de su labor docente y de su labor investigadora a las que se consagra con fervorosa devoción, lo cual unido a sus excelsas cualidades humanas, bondad, humildad, sencillez, rectitud, cordialidad y siempre dispuesto a ayudar, le hacen uno de los profesores más prestigiosos de nuestra Facultad de Ciencias y entrañablemente querido por sus discípulos y colaboradores.

Y ¡cuánto entusiasmo ha tenido que derrochar el Prof. Alía!, porque sin esa *hormona del alma*, no hubiera podido realizar sus largos y penosos recorridos de exploración e investigación por el desierto del entonces Sahara español, siempre con escasos recursos y teniendo que padecer muchas incomodidades y penalidades; pero sus desvelos y sacrificios se vieron coronados con diversos descubrimientos, entre los que destacaré el importante hallazgo en 1947, por primera vez, de yacimientos de fosfatos sedimentarios en aquel territorio.

En apoyo de la importancia de dicho hallazgo, recordemos someramente que el fósforo es elemento esencial para la vida, ya que

entra en la constitución de los nucleótidos, de los polinucleótidos y de los ácidos nucleicos componentes esenciales de los genes, y del ATP o adenosintrifosfato, con enlaces ricos en energía, y que es la moneda energética universal que interviene en multitud de procesos bioquímicos como dador de energía y de ácido fosfórico y del AMP cíclico que también participa en muchos procesos biológicos. El elemento fósforo entra también en la composición de los fosfolípidos de las membranas celulares. Hay fosfoproteínas, tales como las caseínas de la leche y de la soja. La fitina (inosito hexafosfato de calcio y de magnesio) es material de reserva fosfatada, que existe en los cariósidos de las gramíneas y en muchas semillas. El fósforo es también elemento esencial para la formación de los esqueletos óseos y de los dientes.

En el metabolismo de los glúcidos son esenciales los procesos de fosforilación y entre la amplia gama de sus derivados que contienen P mencionaré: el éster de Robison (glucosa -6-P), el éster de Cori (glucosa -1-P), el éster de Neuberger (fructosa -6-P), el éster de Harden-Young (fructosa -1-6-DiP), Ribulosa -5-P, Ribulosa -1-5-DiP, ribosa -5-P, sedoheptulosa -1,7 DiP, sedoheptulosa -7-P, 3-fosfoglicérico, 2-fosfoglicérico, fosfo-enolpirúvico, gliceraldehído -3-P, etc., etc.

Se conoce un antibiótico de amplio espectro antimicrobiano, de estructura química sumamente sencilla y que contiene un átomo de P en su molécula; se trata de la fosfomicina o L-cis-1-2-epoxi-propil-fosfónico.

La vitamina B₁₂ o factor antianemia-perniciosa y cuya importancia bioquímica es grande, en su molécula compleja tiene un átomo de P en forma de nucleótido benzimidazólico (5-6 dimetilbenzimidazol-ribosa-3-fosfato), y dicho nucleótido está unido en parte al átomo de cobalto, situado en el centro de un núcleo porfirínico.

Recordemos también que algunas vitaminas actúan como coenzimas esterificadas con el ácido ortofosfórico o con el pirofosfórico. Así: la vitamina B₁ o tiamina, actúa como coenzima al estado de Pirofosfato (TPP), en la descarboxilación de cetoácidos como el pirúvico; la vitamina B₂ o riboflavina, actúa como coenzima al estado de riboflavina-fosfórico (FMN) o al estado de FAD (Riboflavina-fosfórico-fosfórico-Ribosa-adenina) en las llamadas flavin-enzimas que intervienen en la transferencia de electrones y de hidrógeno. Las coenzimas del ácido nicotínico también tienen P en forma de NAD o NADP y entran en la constitución de las deshidrogenasas (tales

como la málico-deshidrogenasa, láctico-deshidrogenasa, isocitrato-deshidrogenasa, etc.). La coenzima del ácido pantoténico es la llamada Coenzima A, tiene en su molécula tres grupos fosfóricos y en forma de acetil coenzima A interviene en reacciones de transacetilación, biosíntesis de ácidos grasos, etc.

El consumo anual mundial de fosfatos de calcio se eleva a muchos millones de toneladas, que se emplean para la preparación de fertilizantes, tales como los superfosfatos, superfosfatos enriquecidos, etcétera, y para preparar el fósforo rojo empleado en la fabricación de cerillas, en pirotecnia, etc., y para fabricar los ácidos ortofosfórico, metafosfórico, fosforoso, polifosfóricos, glicerofosfórico y la multitud de sales derivadas de ellos, de aplicaciones medicinales o industriales, que no voy a analizar.

Es evidente que los fosfatos de calcio naturales constituyen materia prima de excepcional interés y, por lo tanto, el descubrimiento de nuevos yacimientos de fosfatos de calcio sedimentarios, con elevada riqueza en P_2O_5 es de extraordinaria importancia, ya que las necesidades de esta materia prima irán en aumento a medida que la población mundial vaya aumentando, porque paralelamente aumentará el consumo de alimentos, los cuales contienen diferentes compuestos de fósforo y por otra parte irán disminuyendo los fosfatos de los suelos cultivados y de los mares y habrá que incrementar el empleo de abonos fosfatados y paralelamente disminuirán las reservas de fosfatos fósiles conocidos y en explotación.

Les ruego me perdonen si me he extendido demasiado y sin más dilación, procedo a la lectura del discurso del Prof. don Francisco Hernández-Pacheco.

DISCURSO DE CONTESTACION

del

Excmo. Sr. D. Francisco Hernández-Pacheco y de la Cuesta

Procedente de Toledo, donde nació y cursó el bachillerato y siguiendo los consejos del catedrático del Instituto de Enseñanza Media, don Vicente Soriano Garcés, vino a Madrid para estudiar Ciencias Naturales. Fue entonces cuando conocí, como alumno de Geografía Física de la Universidad, a Manuel Alía Medina. Desde entonces hemos continuado las mejores relaciones de trabajo y de amistad y afecto.

Una vez terminados brillantemente sus estudios de la Licenciatura y siendo ya joven catedrático de Ciencias Naturales en el Instituto de Enseñanza Media de Valdepeñas, en sus desplazamientos a Madrid y durante las vacaciones, siguió frecuentando mi laboratorio, donde realizaba los estudios bibliográficos y las consultas correspondientes a los problemas que se le iban presentando sobre la geología de las zonas manchegas, cuyo estudio había ya por entonces iniciado.

Fue por otra parte, en el año 1941 cuando, junto con mi padre y maestro, realicé una primera expedición a las zonas más septentrionales del que entonces se denominaba Sahara Español, país que, en el orden geológico, había permanecido hasta entonces prácticamente desconocido. Después de este viaje comprendimos ambos, mi padre y yo, que para la investigación de aquel vasto territorio, cuya extensión era aproximadamente igual a las tres quintas partes de la de España, se hacía necesaria la colaboración de jóvenes investigadores que, tanto por su formación como por sus mismas condiciones físicas, pudieran desarrollar la dura labor correspondiente al estudio en aquellas tan amplias regiones desérticas. Y fue así como invité

entonces a Alía Medina para que me acompañase en la siguiente expedición, ofrecimiento que inmediatamente aceptó.

En el año 1942 partimos juntos y efectuamos un largo recorrido en camello desde El Aiún hasta Villa Cisneros, con objeto de estudiar la geología y morfología costera en aquel sector. Aparte de los datos recolectados sobre el terreno y de los estudios que realizamos, en este recorrido pude además conocer las condiciones favorables que reunía el joven investigador y que le hacían apto para proseguir las investigaciones en aquellos territorios. En tal sentido transcribiré ahora algunos de los párrafos que escribí posteriormente y refiriéndome a esta expedición, en el prólogo del libro correspondiente a su Tesis Doctoral. Entre otros comentarios y relatos de incidencias de aquel viaje, escribí lo siguiente:

«En los recorridos Alía se muestra entusiasmado; el interés por los problemas científicos crece por momentos. Con constancia, método y buen humor, y este detalle lo juzgué en su justo valor, trabaja incansablemente. Todo, hasta los más pequeños detalles e incidencias, es apuntado y comentado, creciendo su diario, que se convertía en notable volumen de cuartillas.

Ni las largas y rudas jornadas en camello, día tras día, semana tras semana, ni el ventarrón, que con su constancia y fuerza nos hostiliza, ni la comida monótona y en ocasiones escasa y desabrida, ni la escasez de agua, disminuye su interés ni estorban la atención necesaria para apreciar e interpretar los diversos problemas.

Todos los días se hacía el análisis y crítica del recorrido, lo que incrementaba el interés y la persistencia en el trabajo, y como al mismo tiempo se soportaban en excelentes condiciones de salud los recorridos, comprendí, alegrándome por ello, que Alía podía por sus condiciones físicas y debía por su excelente preparación, acometer el estudio de la zona N. de nuestro Sahara.

Y al terminar nuestro recorrido, unos 1.200 kilómetros por el litoral, en Villa Cisneros, propuse a Alía como Tesis Doctoral el estudio fisiográfico y geológico del territorio del Sahara Español situado al Norte de la Sequia-El-Hamra.»

En el año 1943 volvió Alía al Sahara para efectuar dicho estudio. En este mismo año, por mi parte y junto con Carlos Vidal Box y Emilio Guinea, efectuamos también un estudio geológico y geobotánico en las regiones meridionales del territorio.

A la Tesis de Alía Medina le fue concedida la máxima calificación y fue publicada en el año 1945. Después de este trabajo, Alía

continuó a lo largo de los catorce años siguientes estudiando sistemáticamente todo el territorio del Sahara Español, de norte a sur, lo cual constituyó sin duda una muy importante contribución al conocimiento geológico de aquel amplio país

Consecuencia de esta labor fue la publicación de una serie de trabajos sobre distintas zonas y problemas, así como también la elaboración de mapas geológicos parciales o del conjunto del territorio, como el que presentó, ya en el año 1952, en la Sesión del Congreso Geológico Internacional, celebrado en Argel. Fue consecuencia también de esta labor el hallazgo de mineralizaciones de diversa importancia y características. Primero fueron las de minerales de hierro, que localizó en las formaciones devónicas del Este de Smara y que son, a su vez, continuación de los grandes yacimientos situados en las zonas más orientales, las de Tinduf. Después, el descubrimiento de los yacimientos de fosfatos, de tanta importancia para la economía mundial, y que tantas vicisitudes han seguido y han provocado. En las regiones meridionales del entonces Sahara Español fue, posteriormente, el hallazgo de otros tipos de mineralizaciones de hierro, así como también de algunas de radiactivos y de otros elementos.

Pero paralelamente a esta fundamental labor de aquellos años en tierras africanas, Alía Medina aprovechaba parte del tiempo que permanecía en la Península para realizar otros reconocimientos y estudios geológicos sobre diferentes cuestiones. Principalmente en las áreas toledanas y durante el verano, por ser ésta la época menos propicia para los trabajos en el desierto, aunque, según sus propias confesiones, encontraba a veces en sus recorridos, temperaturas que en poco desmerecían a las del Sahara. Fue también, en alguno de aquellos años, cuando realizó una expedición de estudio geológico al territorio de la entonces denominada Guinea Continental Española. Junto con el hoy también catedrático don José M.^a Fúster Casas, recorrieron a pie más de cuatrocientos kilómetros por las zonas del interior de aquel país y obtuvieron los correspondientes datos e interpretaciones, que luego fueron publicados.

Mi último viaje al territorio del Sahara Español lo efectué, como broche de cierre, en el año 1966, junto con Alía Medina, que ya por entonces era también catedrático de la Universidad de Madrid. Pero en esta ocasión, nuestros objetivos fueron únicamente los de realizar un viaje de estudio con un grupo de alumnos de la Licenciatura de Ciencias Geológicas. Volvimos a revivir en aquellos me-

morables días el tiempo pasado, los esfuerzos realizados y las alegrías que también compartimos en nuestro tan lejano viaje común del año 1942.

Creo que este largo período de los trabajos e investigaciones en las tierras de Africa, constituye uno de los aspectos más importantes de la labor desarrollada en el orden de la investigación por Alía Medina. Lo cual no quiere decir que haya sido la única pues, como he indicado, durante aquellos mismos años de su preferente dedicación a los estudios africanos, había iniciado ya algunos otros trabajos en el territorio peninsular. Cuando su actividad y dedicación por las cuestiones africanas fue disminuyendo, paralelamente incrementó su actividad en la Península. Las principales áreas de trabajo han sido entonces, la de la Baja Extremadura, donde localizó y definió una gran estructura a la que denominó Anticlinorio de Olivenza-Monesterio, con sus términos correspondientes y las regiones centrales de la Meseta Ibérica, en las que ha establecido unas nuevas guías para la investigación tectónica, sobre la base del estudio de las correlaciones existentes entre las estructuras del basamento oculto y las que se encuentran, como reflejo, en las coberturas sedimentarias. Ha localizado y definido grandes estructuras de la corteza peninsular como, por ejemplo, la que llamó «Banda estructural de Toledo», conjunto de fracturas mayores que atraviesa la Península, de E. a W. en sus zonas centrales y el «Arco de Teruel-Almansa», paralelo al costero valenciano. En este mismo año de 1976 ha publicado también un trabajo en el que localiza y describe una nueva gran estructura de la corteza terrestre en la Meseta Ibérica, a la que ha denominado «Bóveda Castellano-Extremeña», cuyo eje mayor, con una longitud superior a los 350 kilómetros, se tiende aproximadamente desde Badajoz hacia el NE. La localización de tal megaestructura la ha realizado, apoyándose en parte en las imágenes obtenidas por el satélite ERST-1.

Haciendo un resumen de los trabajos de investigación que ha realizado y de los resultados y méritos con ellos conseguidos, diremos que es autor de más de un centenar de publicaciones científicas, así como también de abundantes informes técnicos, referentes a descubrimientos y localización de yacimientos y de mineralizaciones, como los antes citados de fosfatos y hierros en el Sahara y las de cromo y radiactivos en aquel mismo territorio, de manganeso y niveles asfálticos en la Guinea continental y de radiactivos también

en diversos lugares de la Península. Otros informes se refieren a posibilidades de agua, de petróleo en el Sahara, etcétera.

El Prof. Alía goza también de merecido prestigio en el extranjero y aparte de diversas estancias de trabajo en varios países, ha asistido a numerosos Congresos científicos en los que presentó trabajos que después fueron publicados. También fue encargado por la «Sous Commission de la Carte Tectonique du Monde» para elaborar el Mapa Tectónico del Sahara Español, el cual está actualmente incorporado en la «Carte Tectonique Internationale de L'Afrique», a escala 1:5.000.000.

Entre los cargos que ha ocupado figuran los de Director del Servicio Geológico y Mineralógico del Africa Occidental Española, Jefe del Servicio de Investigaciones Geológicas de la Junta de Energía Nuclear, vocal asesor del Servicio Geológico de Obras Públicas, vocal Secretario del Departamento de Geología de la Fundación «Juan March» y Presidente de la Real Sociedad Española de Historia Natural, en el año de la celebración de su Primer Centenario.

Entre las condecoraciones y distinciones que ha recibido figuran, por sus investigaciones y descubrimientos en el Sahara español, las de Comendador de número de la Orden del Mérito Civil, Comendador con Placa de la Orden de Africa y el nombramiento de Hijo Predilecto de Toledo y por los trabajos e investigaciones realizadas en la Junta de Energía Nuclear, la de Comendador de la Orden de Isabel la Católica.

Habría que mencionar, igualmente, la labor desarrollada por Alía en el campo de la docencia, pero baste decir que, desde su juventud más temprana, ha venido desempeñándola en los puestos más diversos y desde cada uno de los sucesivos escalones. Desde su primer nombramiento, que tuvo el nada despreciable título de Ayudante segundo interino y gratuito de Institutos de Enseñanza Media, hasta la de Catedrático por oposición de Instituto y de Universidad, en este caso, de Geografía Física y Geología Aplicada, primero, y de Geodinámica Interna, la Cátedra que ahora desempeña, después. En relación con esta labor docente ha dirigido y dirige diversas Tesis Doctorales y Tesinas y ha pronunciado diferentes conferencias.

En el discurso que acaba de pronunciar, el Prof. Alía Medina ha abordado dos de las más importantes y extensas cuestiones de las que tienen planteadas las ciencias de la Tierra y, más concretamente, la Geología. Una, que corresponde a la problemática sobre la

movilidad, deformaciones y procesos que se producen y afectan a las grandes unidades sólidas de la Tierra y, la otra, que se refiere a las causas que motivan el particular y característico desarrollo de la investigación y del conocimiento geológico. Aunque ambas cuestiones son, cada una de por sí, extraordinariamente complejas y extensas, ha sabido sintetizarlas en grado suficiente, para poderlas presentar, convenientemente simplificadas, dentro de los límites de su discurso. Por otra parte, ha encadenado recíprocamente ambas cuestiones, mediante lógico razonamiento.

Desde el siglo XVIII, en el que se inicia con verdadera dimensión científica el saber geológico, esta rama de la ciencia ha venido caracterizándose por el enunciado y coexistencia de variadas y, a veces, muy opuestas soluciones. En ocasiones, además, tal oposición se ha manifestado por una agrupación de las ideas según dos fundamentales y contrapuestas tendencias, como si de la Tesis y de su Antítesis se tratase. Así sucedió, por ejemplo, con los que se denominaron principios del catastrofismo y del uniformismo y actualismo. Por el primero, iniciado por el gran paleontólogo Cuvier, las catástrofes faunísticas que se produjeron en el transcurso de los tiempos, serían reflejo y estarían en correspondencia con las épocas de grandes catástrofes tectónicas que afectarían a la superficie de la Tierra. Para los otros, los partidarios del uniformismo, no debieron suceder tales supuestas catástrofes ni habría una explicación lógica para admitirlas, puesto que, en el pasado, los hechos debieron producirse de la misma manera y con análoga intensidad que en el presente. Otro planteamiento de tendencias antagónicas, lo encontramos también en las llamadas escuelas plutonistas y neptunistas, cuyos respectivos iniciadores fueron, como es bien sabido, los grandes geólogos del XVIII, J. Hutton y A. G. Werner. En tanto que los neptunistas consideraban que la gran mayoría de las rocas se habían formado en el seno del mar, los plutonistas defendían que su origen había que buscarlo en el interior de la Tierra, como consecuencia de la acción del calor sobre los materiales allí existentes.

Algo análogo ha venido sucediendo por lo que se refiere a la problemática de los movimientos y clases de deformaciones que han afectado a la corteza terrestre. Muchas y variadas ideas se han enunciado al respecto pero, en su conjunto, tales diferentes hipótesis se pueden reunir también en dos grandes tendencias o grupos de opinión, el de los Fijistas y el de los Movilistas. En el primero

se incluyen las hipótesis partidarias de la inmovilidad de las masas corticales, en el sentido de que éstas no han debido experimentar desplazamientos laterales, al menos, de importante cuantía. Como ejemplo típico de este grupo tenemos la hipótesis de la contracción terrestre. En el segundo grupo, de los Movilistas, se admite, por el contrario, que las masas corticales han debido moverse en el transcurso de los tiempos, mediante amplios desplazamientos laterales. Ejemplos los tendríamos en la tan conocida hipótesis de los desplazamientos de los continentes, de Wegener y en la misma Tectónica de Placas, a la que anteriormente se ha hecho particular referencia.

En uno y otro campo han militado numerosos científicos y han figurado nombres del mayor prestigio, entre los que podríamos recordar y para lo que va de siglo, los de Stille, Chamberlin, Schuchert, Haarman, Belousov, Meyerhoff, para el grupo de los Fijistas y los de Taylor, Wegener, Argand, Staub, Holmes, Vening Meinesz, Du Toit, y los de los mismos iniciadores de la Tectónica de Placas, para el grupo de los Movilistas. Algunos investigadores, igualmente muy destacados, han cambiado de opinión y, con ello, de grupo, con el paso de los años, como ha sucedido, por ejemplo, con Van Bemmelen, el conocido autor de la hipótesis de las undaciones, quien manteniéndose en un principio dentro del campo de las ideas movilistas, pasó después a las del fijismo para, finalmente, volver a las del movilismo, al correlacionar las ideas de su hipótesis original con las de la Tectónica de Placas. Otro ejemplo lo encontramos en J. Tuzo Wilson, uno de los más entusiastas defensores actuales de la dicha Tectónica de Placas, a cuya elaboración ha contribuido, por cierto, de manera importante. Anteriormente, sin embargo, fue también distinguido partidario del neocontraccionismo.

Todo lo cual nos viene a confirmar en lo que acaba de decirnos el recipiendario, sobre las grandes dificultades que han existido y que continúan existiendo para la resolución de tales problemas, dada su extraordinaria magnitud y complejidad. Circunstancias que justifican la existencia y persistencia de tan diversas como, a veces, tan contrapuestas opiniones. Diversidad y antagonismo que, sin duda, han podido ocasionar momentos de incertidumbre y hasta de cierto desasosiego, para quienes hemos tenido que asistir, a lo largo de nuestra vida, a cambios tan frecuentes como contrastados en las opiniones.

Ciertamente que los problemas son difíciles y también, que muchas de sus parcelas, las más recónditas, habrán de esperar probablemente todavía largo tiempo para ser bien conocidas, pero también es verdad que el avance en los métodos de trabajo y en los resultados, nos va aproximando, y cada vez con mayor rapidez, a modelos y soluciones probablemente más perfectas y cercanas a la verdad, con lo cual, además, se va cercando y reduciendo el campo de las dudas y de las indeterminaciones, donde tan fácilmente pueden surgir y prosperar las opiniones dispares. Es así y por todo ello, que en verdad vivimos años de particular interés para el desarrollo de las ciencias de la Tierra, y que los científicos de las diversas ramas y especialidades interesadas, pueden encontrar ahora circunstancias excepcionalmente favorables para proyectar y realizar sus trabajos. Pero, en todos los casos, sus esfuerzos deben efectuarlos coordinadamente, en equipos bien conjuntados y donde se integren todas las necesarias y diversas disciplinas. Cuando las naciones más avanzadas y con más poderosos medios nos vienen dando tantos ejemplos al respecto, sería lamentable que pensáramos en aislamientos y en exclusivismos, que resultarían tan ingenuos, como gravosos para nuestras reducidas posibilidades. Con motivo de esta contestación, encuentro todavía una nueva oportunidad, para manifestarme e insistir sobre esta cuestión, a la que considero de tanta trascendencia para nuestro desarrollo científico.

Y no me queda ahora sino expresar mis mejores parabienes al nuevo Académico. Con toda la emoción y con todo el cariño que se derivan de nuestras dilatadas relaciones de trabajo y de nuestra continuada y buena amistad de siempre. Y, por qué no decirlo, con todo el orgullo también de quien ve reconocidos y premiados, hasta tal grado, los méritos indudables de uno de sus más destacados discípulos.