

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS
EXACTAS, FISICAS Y NATURALES

DISCURSO INAUGURAL
DEL AÑO ACADEMICO 1982-1983

LEIDO EN LA SESION CELEBRADA EL DIA 27 DE OCTUBRE 1982

POR EL ACADEMICO NUMERARIO

EXCMO. SR. D. ARMANDO DURAN MIRANDA

SOBRE

"EL SABER FISICO Y LA NATURALEZA"



M A D R I D
DOMICILIO DE LA ACADEMIA
VALVERDE, 22 - TELEFONO 221 25 29

1982

I. S. B. N. 84 - 600 - 2812 - 7
Depósito Legal: M. 33.891 - 1982

IMPRESO EN REALIGRAF, S. A. - BURGOS, 12 - MADRID - 29

EL SABER FISICO Y LA NATURALEZA

Hace hoy 61 años —día más, día menos, poco importa— ocupó esta misma tribuna D. Blas Cabrera y Felipe, para iniciar el rito de la palabra inaugural del curso académico, establecido ese mismo año por el entonces nuevo reglamento.

¿Que pretendía la Academia con esta innovación?. Dejemos que el propio D. Blas nos lo diga en su discurso cuando afirma (*) (4/8) “que el interés de este momento radica en hacer la propaganda de la Ciencia, contribuyendo a despertar el deseo de su estudio, tanto para la recluta de sus futuros elaboradores, como para la creación de un ambiente que haga posible su vida”. Para él y hay que suponer que para el resto de la Corporación, “esta festividad académica va encaminada a fortalecer aquel ambiente y no está orientada —sigue diciendo— a dar fé de nuestra vida ante el mundo, cuyo es el objetivo de la publicación de trabajos de investigación realizados en España, y por esto entiendo que debo apartarme de los temas de interés restringido, siquiera pudieran serme personalmente más gratos, y señalar a la juventud, que hace su preparación para sucedernos, los grandes problemas que son como faros que orientan la ruta de los investigadores en el campo de las ciencias físicas”. (4/9).

Treinta y un años después, el P. Enrique de Rafael leía el discurso inaugural (35) bajo el mismo título —Momento actual de la Física— diciendo en él que lo trataba de nuevo para honrar la memoria del que fué Presidente de esta Real Academia. Y efectivamente así lo hace dando una sucinta nota biográfica en la que entrelaza recuerdos personales.

(*) Las referencias bibliográficas se expresan mediante dos grupos de cifras separadas por una barra, el grupo primero se refiere al orden en el que figura en la bibliografía y el segundo a la página o páginas de la publicación.

Ambos discursos contemplan el panorama físico del momento y son gratos de leer si se quiere, con visión histórica, conocer, más que la evolución de esta rama de la ciencia, su situación dentro de la sociedad española en años tan diversos, desde tantos puntos de vista, como son 1921 y 1952.

En la primera de estas fechas, no había nacido todavía la mecánica cuántica y comenzaban los “dorados años veinte” de Gotinga. Einstein no había venido a España —lo haría en el 23— y de lo que nuestro país era en aquella época nos lo dice el propio Cabrera, cuando al darle la bienvenida como Académico corresponsal extranjero en nombre de la Corporación, le dice que espera que al final de su vida “la España científica que hoy encontráis apenas en embrión, haya llegado al lugar que tiene el inexcusable deber de ocupar”.

En el casi tercio de siglo que transcurre hasta 1952, la Física evoluciona rápidamente arrastrando a la Tecnología a un ritmo de crecimiento que permite llegar a las cotas actuales de desarrollo. Con un criterio excesivamente sintético citemos tan sólo tres aspectos de esta evolución: el nacimiento de la mecánica cuántica y su señorío sobre la física, el descubrimiento de la escisión del núcleo y sus consecuencias tanto científicas y tecnológicas como bélicas y la consecución de sistemas de cálculo que han hecho posible en el día de hoy, la resolución de problemas que antes no podían ni tan siquiera ser considerados.

Pocos años después —en 1956— publica Werner Heisenberg un bello libro “Das Naturbild der heutigen Physik” en el que dice (12/18) que “la meta de la investigación no es ya el conocimiento del átomo y su movimiento “en sí”, esto es desligado de nuestro planteamiento experimental. Más bien, estamos desde su comienzo, en el centro del conflicto entre el hombre y la naturaleza, en el cual la ciencia natural es sólo una parte, de tal modo que la división usual del mundo en sujeto y objeto, mundo interior y mundo exterior, cuerpo y alma da lugar a unos términos que no quieren acompasarse creando dificultades. También en la ciencia natural, no es ya la naturaleza en sí, el objeto de la investigación, sino aquel otro que el planteamiento humano presenta, con lo que el hombre, también aquí, vuelve a encontrarse consigo mismo. A nuestro tiempo se le ha planteado el problema inherente a esta nueva situación en todos los dominios de la vida y sólo cuando lo haya resuelto, podrán los hombres hallar de nuevo “la seguridad en las emociones del espíritu” de las que nos habla el proverbio chino. El camino hasta esta meta es largo y penoso y no sabemos cuantas estaciones dolorosas tendremos en él”.

Llama la atención sobre el peligro que supone para el hombre actual haberse econtrado de golpe en primera línea y enfrentado consigo mismo. Compara la situación a la de un capitán de un barco que no supiese que su brújula estaba orientada tan sólo por el efecto de la masa de su propio

buque y no marcarse el norte. Si conoce el peligro puede remediarlo y buscar su posición por las estrellas, de las que Heisenberg dice que son raras de ver.

Heisenberg presenta así el conflicto entre el hombre y la naturaleza. C. F. con Weizsäcker (47/170) nos habla del experimento que, según Kant, es el drama entre los protagonistas: la “razón” y “naturaleza”, añadiendo que según los modernos, debiera sustituirse la “razón” por el “hombre” ya que “nuestra ciencia no conoce otra razón que la humana, y una razón sobrehumana seguramente no tendría necesidad de experimentar”. El objeto en la física y la posición histórica del sujeto son temas que analiza minuciosamente. “La moderna polaridad —nos dice (47/174-175)— entre sujeto y objeto nos sale al paso por primera vez con claridad en Descartes al contraponer la res cogitans a la res extensa. Recordemos su proceso discursivo. Si dudo de todo, entonces sé al menos que dudo, luego que pienso, luego que existo. Cogito, ergo sum. De esta suerte, lo más cierto en mí, la res cogitans, es el sujeto necesario de todo conocimiento”. La naturaleza es concebida por Descartes en forma espacial, “como res extensa, y sujeta al modo de pensar de la mecánica clásica, entonces incipiente. Por tanto, en realidad es introducida como el objeto existente en sí, cognoscible para el sujeto”.

Los conceptos de sujeto y objeto y por lo tanto de sus adjetivos tienen, en la física actual, un valor diferente, al que tenían en otros tiempos y por ello, en el orden de los principios, estamos obligados a revisar muchos puntos de vista.

En definitiva estamos planteando la problemática del hombre actual ante la transformación que, de la imagen del mundo, le ofrecen las Ciencias Naturales y en especial, —y esto es lo que más concretamente nos interesa—, la Física.

El 26 de noviembre de 1941 pronunció el Prof. Heisenberg una conferencia en el Auditorium Maximum de la Universidad de Leipzig, sobre el tema “Die Einheit des naturwissenschaftlichen Weltbildes”. Nadie desconoce las circunstancias de tiempo y lugar y para todos el nombre de Heisenberg tiene el exacto significado de lo que la Física le debe. Esto nos permite sin comentarios pasar directamente a sus palabras (14/3). “Ante nuestros ojos está cambiando la imagen externa de este mundo y la lucha, con los medios últimos por su configuración empeñada, une todas las fuerzas. En tales tiempos el pensamiento sobre las variaciones espirituales en la ciencia pasa por sí mismo a un segundo plano. A pesar de ello las lentas transformaciones en el pensamiento y en los deseos de los hombres no son, para la externa conformación del mundo, menos importantes que los grandes sucesos que se presentan de golpe y, cuando en cualquier dominio espiritual se lleva a cabo poco a poco una continua y profunda transformación, tiene ésta su importancia en el ámbito de la configuración del futuro”. Con estas palabras comienza su conferencia y con ellas justifica el intento de establecer una

unidad en la imagen científica del mundo. Hace una historia de la evolución de los conceptos y de las leyes de las Ciencias Naturales y termina su conferencia de este modo: (14/32) "No estamos ya en la feliz posición de Kepler para el cual la ley que gobierna el Universo era la voluntad de su Creador y que creía encontrarse muy cerca de la comprensión de sus planes creadores, por haber llegado al conocimiento de la armonía de las esferas. Sin embargo el presentir la existencia de una relación en la que en definitiva con nuestros pensamientos podamos penetrar más y más, sigue siendo para nosotros la fuerza impulsora de la investigación".

¿A qué relación se refiere Heisenberg? ¿Presiente una ley que armonice el mundo de la Ciencia? ¿Adivina una unidad formal de expresión? ó ¿piensa en un sistema básico y fundamental?. Estas preguntas surgen de la lectura meditada de su conferencia y son seguramente las mismas con las que cualquier hombre de ciencia de nuestro tiempo, con talante inquisidor, trata de dar satisfacción a su espíritu inquieto.

La palabra naturaleza, de origen latino, trae una próxima reminiscencia a lo que supone nacimiento. "Natura" y "nascere" son términos muy ligados que nos podríamos dar como interpretación de naturaleza y por lo tanto de Ciencias Naturales o Ciencias de la Naturaleza, todo aquello que está relacionado con lo que nace o ha nacido. En un sentido amplio "Naturwissenschaft" representa la Ciencia que, en sus capítulos, abarca la Física, la Química, la Biología y la Geología.

Sin embargo, en todas ellas hay algo de común y es que la ciencia natural ignora el tú y esta circunstancia la hace diferente de la ciencia del espíritu. "Esto se significa con el principio de que los fenómenos espirituales no deben explicarse causalmente, sino entenderse", dice von Weizsäcker (47/178-179) que continúa, "si yo intento como filólogo interpretar el sentido pretendido en un texto por el autor, y como historiador la intención de un hombre al actuar, entonces yo, en cuanto yo, entro a dialogar con un tú. La física no conoce esta modalidad de encuentro con su objeto, puesto que su objeto no se ofrece como un sujeto. Esta comunicación personal es un modo de experiencia que se nos abre respecto del prójimo, no respecto de la piedra, de la estrella y del átomo".

"Mas el hecho de que la Ciencia Natural no conozca el tú nos conduce a una cuestión enteramente distinta: no sobre si se puede experimentar en el hombre, sino sobre si se desea y se debe experimentar en él. ¿Qué hago yo al prójimo al tratarle como mero objeto de pensamiento o de obra?. Me parece que en esta pregunta se condensa todo lo que, con razón, se ha presentado contra la aplicación de la ciencia natural al hombre".

Esta inexistencia del tú para la ciencia natural ¿es tan radical que impida de alguna manera el "diálogo" con la naturaleza?. Prigogine (34/11) siguiendo a Alexandre Koyré habla del "diálogo experimental" que consti-

tuye “la práctica original que se llama ciencia moderna”. Este diálogo lleva la relación hombre-naturaleza a dos acciones: completar y modificar, que exigen una interacción entre teoría y manipulación práctica. La presencia del hombre, de alguna manera, modifica el experimento, y no es posible decir o pedir a la naturaleza todo lo que el hombre quisiera porque las respuestas vienen condicionadas por las propias preguntas.

El asombro ante hechos que no tienen una explicación inmediata —recordemos el rayo para Cajal o la brújula de Einstein— pueden ser el principio de la sabiduría o, al menos, punto de partida para que un investigador de la verdad interroge a los hechos en sí o se preocupe por algo más trascendente que pueda sugerirle la contemplación del entorno natural.

“Este asombrarse —nos dice Einstein (38/3)— parece aparecer cuando un suceso entra en conflicto con un mundo del conocimiento suficientemente arraigado en uno mismo. Cuando este conflicto se vive dura e intensivamente, entonces actúa de un modo decisivo sobre el mundo de nuestro pensamiento. El desarrollo de este mundo del pensamiento es, en un cierto sentido, una continua huída del asombro”.

¿Cómo, cuándo y por qué fué creado el hombre? ¿por qué muere? ¿qué es la naturaleza? son preguntas, entre muchas, que de ésta o parecida forma se ha propuesto el hombre desde que se dió cuenta de que era hombre.

Las preguntas pueden constituir un invariante en el tiempo, las respuestas, sin embargo, dependen de la época en la que han sido dadas o de las circunstancias del que las escucha. No tiene la misma imagen de la naturaleza, el científico o el filósofo, el creyente o el agnóstico, el occidental o el oriental. No significó lo mismo para el hombre de las cavernas que para un fervoroso ecologista actual.

A este cambio en el correr del tiempo dedica C.F. con Weizsäcker un libro —Historia de la Naturaleza— que recoge las conferencias que dictó en Gotinga durante el semestre de verano de 1946, en las que trató del conjunto de la ciencia sobre el que se pregunta si es una realidad o una mera ilusión. Con las ciencias naturales el hombre investiga el mundo material que le circunda, mientras la filosofía le investiga a él mismo en su totalidad, es decir, como alma, como conciencia y como espíritu. “Las ciencias naturales —nos dice (46/24)— se fundan en la separación rigurosa del sujeto que descubre y del objeto que ha sido descubierto. Las ciencias filosóficas tienen la difícil tarea de hacer del sujeto el objeto de su subjetividad”. “Por otra parte —continúa diciendo (46/25)—, las ciencias naturales están hechas por hombres, para hombres, y dependen de las condiciones de todas las producciones intelectuales y materiales del hombre. El hombre es más antiguo que las ciencias naturales. La Naturaleza fué necesaria para que pudiera existir el hombre; él fue necesario para que hubiera conceptos sobre la

Naturaleza. Es posible y necesario considerar las ciencias naturales como una parte de la vida intelectual humana. En este sentido, las ciencias filosóficas son una hipótesis de las ciencias naturales”.

Esta relación entre ambas ciencias puede encontrarse al tratar de comprender la historia de la Naturaleza. La historia se cumple en el tiempo y solamente hay historia donde hay o ha habido transformación y al referir ésta a la Naturaleza, habría que añadir que los procesos que la configuran son irreversibles. Cuando todos los movimientos desapareciesen, por equilibrarse todas las diferencias de temperatura, se llegaría a la muerte térmica, que los sistemas cerrados en la tierra alcanzarán más tarde o más temprano. La llegada de energía radiante a la tierra asegura la continuidad de las transformaciones que garantizan los procesos vitales y alejan la muerte térmica que irremediamente ha de llegar en un día que esperemos sea muy lejano.

Destaca von Weizsäcker una diferencia fundamental entre el hombre y la naturaleza cuando dice (46/28-29) que ésta “sufre la historia, pero no es consciente de ella. Es historia, pero no tiene historia porque no sabe qué es historia. Entonces ¿por qué solamente el hombre tiene historia consciente y experimentada?. Porque solamente él tiene conocimiento y experiencia. Por esto me parece sensato decir que lo que distingue al hombre no es su historia, sino su saber de la Historia. Siempre un ser consciente será de diferente manera histórico que un ser inconsciente. Mirando de qué manera el hombre tiene historia, aprenderemos más de la Historia, y en particular de la historia de la Naturaleza”.

Inevitablemente aparece el tiempo no de un modo abstracto sino dotado de pasado, presente y futuro, no espacializado, sino dotado de historicidad. El pasado fué alguna vez presente y lo que en él aconteció tuvo una realidad, mientras que el futuro, que en algún momento será presente, contendrá hechos que, hoy por hoy, sólo son posibles. “La Naturaleza —nos dice von Weizsäcker— (46/34-35) tiene historia por el hecho de que sus acontecimientos ocurren objetivamente en el tiempo histórico caracterizado por estos acontecimientos. El hombre, además, tiene historia por el hecho de que vive individualmente como sujeto de la historicidad del tiempo (que) supone que solamente haya historia del pasado. La Historia quiere relatar lo que ha pasado objetivamente, sin tener en cuenta si aquello tuvo que pasar. El futuro se puede construir a etapas hipotéticamente, y sólo cuando el futuro sea presente se demostrará si la construcción ha sido exacta. El pasado, sin embargo, se puede investigar sin tales construcciones, puesto que se compone de hechos que tuvieron lugar, bien conociéndolos nosotros o sin conocerlos”.

Lo pasado ya pasó. ¿Qué conocimiento podemos tener de él?. Lo que en nuestra propia vida supone un ayer es, de algún modo, “resucitado” por el recuerdo, recuerdo que la Real Academia define como “memoria que se

hace o aviso que se da de una cosa pasada”. ¿Pero qué memoria o qué aviso se nos puede hacer o puede dárse nos de un pasado tan lejano como el comienzo del Universo?.

Su origen y su historia constituyen un problema que el hombre ha considerado insoslayable. Al fin y al cabo se trata, ni más ni menos, de averiguar qué es lo que le rodea, por qué está inmerso en el mundo en el que se encuentra, cómo ha llegado a la situación actual y, en definitiva, de echar la vista atrás sondeando el tiempo pasado hasta llegar a una especie de origen absoluto.

En la babilónica “Epopéya de la Creación” (48/29) el principio se encuentra en las aguas, la dulce bajo la tierra y la salada en los mares y al fundirse ambas engendran a los dioses y de la sangre de uno de ellos surge la humanidad.

En los mitos escandinavos que se cuentan en el Edda y en el Nuevo Edda (48/31) no había al comienzo, ni mar, ni ola refrescante, ni hierba. Las fronteras de esta nada eran el hielo y el fuego. En un valle “cálido y dulce como un aire sin vientos” las ráfagas ardientes derriten la escarcha en gotas que se llenaron de vida tomando la semejanza de un hombre de cuya carne se formó el mundo y con su sangre las olas del mar y así sucesivamente, van apareciendo de sus despojos las diferentes partes que constituyen el mundo. Finalmente tres dioses hacen al hombre y a la mujer de un fresno y un olmo que encuentran a la orilla del mar, dotándoles de vida y alma.

El principio que Hesíodo describe en su Teogonía (48/30) es el Caos que no hay que entender como desorden, porque si así fuese indicaría que, al menos, habría existido algo, sino como un estado que sólo se puede describir de forma negativa en el sentido de no existir en él las cosas que componen este mundo, mundo que posteriormente surge de ese mismo Caos.

En los textos míticos aparece la determinación del tiempo (48/35) como el punto de partida de la narración y por ello no puede asignársele un momento definido de una duración definida, ya que ello presupondría una limitación. Resulta así que el primer tiempo es y no es tiempo y el caos es y no es ser.

Frente a estos mitos aparece la descripción realmente antimítica (48/43) que el Génesis nos da sobre la creación del mundo. No es el Caos el que produce a Dios sino que es éste el que en el comienzo creó el cielo y la tierra. Surge primero la luz y después las dos grandes luminarias, que en el texto no aparecen como sol o como luna, evitando así su posible confusión con dioses, con lo que, al contar los días y las noches, se introduce el tiempo para el hombre. “Para la Biblia —dice von Weizsäcker 48/49-50)— Dios, es el Dios que separa el bien del mal. El bien es su obra. El mal no es obra suya; es rechazado por El. Sin embargo, el mal es real. El hombre vive haciendo el mal. Ese es el verdadero cuadro del mundo. Por lo tanto, el mito de la

creación tenía que ir seguido por el mito de la caída del hombre, sólo con la caída de Adán y Eva podía comenzar la historia real del mundo, esa historia que es una lucha entre Dios y el hombre, desde su iniciación. El hombre ha desertado de Dios y deserta de El diariamente. El diálogo entre Dios y el hombre, que es la fuerza motriz de la historia, no tiene otro tema que redimir al hombre de esa deserción”.

Por caminos distintos de los que siguieron los judíos, se apartaron los griegos de los mitos primitivos. “En su pensamiento —opina von Weizsäcker (48/51)—, la pregunta “¿de dónde viene el mundo?” se transformó en esta otra: “¿qué es el mundo?”. Para los griegos, la más alta sabiduría consistía no en oír la voz del Dios vivo, sino en ver la inmutable esencia del ser.

Así como en los mitos babilónicos aparecen las aguas en el principio, así para Tales de Mileto el agua es el origen de todas las cosas. Sin embargo hay un matiz fundamental no sólo en el paso del plural al singular, sino en el sentido y en el significado ya que, para Tales, el agua no es un dios, ni un ser que existió, sino algo que está entre nosotros y al ponerla “en el comienzo, explicamos éste, asimilándolo a las cosas de la vida diaria” (48/52). Al comentar Heisenberg (15/1) la hipótesis de Tales, recoge la observación de Nietzsche de ver en ella tres pensamientos fundamentales de la filosofía, el primero la preocupación por encontrar el origen de las cosas, el segundo la exigencia de una respuesta razonable, es decir no mítica, y el tercero la posibilidad de comprender el mundo a partir de un principio unitario.

Y ya después de Tales puede decirse que se pasa del “mythos” al “logos” o, con frase de von Weizsäcker, que “la cosmogonía se ha transformado en ontología” (45/53).

Las abstractas y discutibles respuestas que a las preguntas sobre la existencia y el ser da Parménides, el átomo y el espacio vacío de Demócrito, las ideas y las formas de Platón son, entre otros muchos, unos hitos fundamentales en el pensamiento griego. No es éste el lugar ni yo la persona adecuada para analizar con perspectiva actual lo que hace milenios constituyó una preocupación de filósofos o de científicos, quede sólo la referencia de tres físicos —muchos más podrían citarse— que no por pura curiosidad, no por devoción a la historia, se han adentrado en el mundo de las ideas griegas con la esperanza de un mejor conocimiento de la moderna imagen del mundo y de la ciencia de nuestro tiempo.

Heisenberg (15/1) aconseja echar una mirada a la historia para encontrar en ella muchas ideas que vuelven a aparecer y que permitan comprender mejor las teorías atómicas actuales. Por otra parte al abordar los problemas filosóficos de la Física de las Partículas Elementales (18) alude a Demócrito y a Platón al tratar de la divisibilidad finita o infinita de la materia.

Schrödinger (40) escudriña el concepto de naturaleza en los griegos. Es una experiencia personal que escribe y describe no con un criterio de histo-

riador, sino con el de un apasionado descubridor de nuevos aspectos del conocimiento humano, distintos de los suyos propios de un profesor de física teórica. Aborda el tema con la misma curiosidad con la que se preguntó ¿qué es la vida?. (41)

Finalmente cuando von Weizsäcker (48/11) quiere contribuir al conocimiento de la verdad de la ciencia, a su significado, a sus limitaciones y a sus posibles ambigüedades, “intenta ese trabajo teórico en el campo de la historia; es decir, de aquella historia de la que brota nuestra civilización científica. Tal empeño no podría evitar ser filosofía de la historia”. (48/6) y dentro de ella contempla el pensamiento griego.

Bastan estos tres nombres como muestra de que no sólo de lo actual vive el hombre, sino de la palabra del pasado, palabra que en forma de mito o de teoría ha ido recogiendo el devenir del pensamiento humano hasta el momento que vivimos, momento en el que la ciencia ocupa un lugar preeminente y dominante.

Es largo el peregrinaje hasta el día de hoy. Egipto, Grecia y Palestina han hecho llegar el resultado de la experiencia de milenios en la cosmología y en la filosofía de la ciencia. Sus legados contienen la extensa historia de las civilizaciones que las precedieron cuyos conocimientos decantaron, asumieron y desarrollaron: Egipto puso el acento en la evolución técnica, Grecia en la filosofía del saber y Palestina en la estructura religiosa de la cosmología. El Mediterráneo oriental ha sido el foco de una cultura que trasciende hasta los tiempos actuales.

El cambio de lo helénico a lo helenístico, es decir de Atenas a Alejandría, supone una nueva estructuración de la ciencia, pudiera decirse una modernización, en la que —según Whitehead (50/115)— “la literatura fué reemplazada por la gramática y el pensamiento especulativo por la tradición erudita. (. . .). La particularidad del helenismo es el deleite, el pensamiento especulativo y la literatura discursiva; la de la Alejandría helenística es la concentración, la profundidad y la investigación de tipos especiales de orden correspondientes a temas especiales. Los grandes autores alejandrinos tenían o no tenían razón; Euclides dió o no dió coherencia lógica a su tratado de geometría; la teoría del cielo de Tolomeo era verdadera o falsa, siempre se opusieron directamente Atanasio y Arrio, Cirilo y Nestorio. Los debates más parecidos a los de los teólogos alejandrinos son los de los físicos matemáticos de hoy cuando discuten la naturaleza del átomo; los temas concretos pueden diferir un poco pero los procedimientos y los hombres son idénticos”.

Para Whitehead, el mundo moderno es antes que nada alejandrino señalando que la mentalidad ateniense prevaleció en el intervalo de unos cien años comprendido entre el concilio de Constanza y el saqueo de Roma en 1527. Resume la diferencia entre las mentalidades helénica y helenística diciendo que es la que existe entre especulación y erudición que son necesas-

rias para el progreso, pero que en la historia se presentan como opuestas. “La especulación —sigue diciendo (50/118-119)— al alimentar teorías alternativas, presenta un escepticismo superficial que perturba los prejuicios establecidos, pero recibe su impulso de una fe última y profunda en que, en el fondo, la naturaleza de las cosas puede ser asequible a la razón. La erudición con su atención exclusiva a las metodologías admitidas presenta un conservadurismo superficial de creencias, pero su tonalidad tiende en último término hacía una negación fundamental. (. . .) La especulación pura, aún sin la disciplina de la erudición detallada, ni la de la lógica exacta, es, en conjunto, más útil que la erudición pura no animada por el pensamiento especulativo. El equilibrio correcto de ambos factores en un saber progresivo, depende del carácter de la época en cuestión y de la capacidad de los individuos particulares”.

Tanto la erudición como la especulación, requieren teorías que se basen en la observación de los fenómenos, en la medida de la regularidad con la que se presentan, en la persistencia o recurrencia de los hechos que se toman como ejemplo o que constituyen la base de partida para una hipótesis. Las relaciones entre la Naturaleza y las cosas o las de éstas con aquellas se enuncian como las leyes por las que se rigen los fenómenos naturales.

Cuatro teorías principales distingue Whitehead (50/121) en lo que concierne a las leyes naturales. Cuatro teorías que detalla y analiza y de las que en este lugar sólo cabe el resumen y la referencia a la parte segunda de su libro sobre las “Aventuras de las ideas” (50/113-181).

La ley inmanente, la ley impuesta, la ley como orden de sucesión observado y la ley como interpretación convencional, constituyen cuatro formas de expresión de la ley o de las leyes naturales.

La primera de ellas, parte de que el orden natural expresa los caracteres de las cosas reales que, unidas, componen los entes que se encuentran en la Naturaleza. Se trata con ello de buscar explicaciones y no meras discrepancias sin que, por otra parte, deba esperarse una exacta conformidad de la Naturaleza con sus leyes que, al basarse en las características individuales de las cosas, pueden cambiar al variar éstas. Se da entrada a un punto de vista evolutivo y al atribuir a la inducción sólo una confianza limitada, no se tiene conocimiento del futuro. “La doctrina de la inmanencia —nos dice Whitehead (50/123)— es, sobre todo, una teoría racionalista, que trata de explicar la posibilidad de entender la Naturaleza”.

La teoría de la ley impuesta comprende a los entes que forman los elementos últimos de la Naturaleza como independientes entre sí, aún cuando necesiten entrar en relaciones con otros componentes finales de acuerdo con unas normas de comportamiento que son las impuestas por las leyes naturales. La naturaleza de los componentes no puede descubrirse por el estudio de las leyes que rigen su comportamiento, ni éstas por el exámen de las cualidades o características de aquellos.

La teoría de la imposición lleva consigo un cierto deísmo. Tuvo razón Newton al admitir que la importancia de las leyes impuestas lleva correlativamente la existencia de una divinidad trascendente que las imponga y ésto —según Whitehead (50/124)— es también la doctrina cartesiana. “El sistema cartesiano entero —deísmo, substancia material y ley impuesta— en conexión con la reducción de las relaciones físicas al concepto de movimiento simplificado de carácter espacio-temporal, constituye el concepto simplificado de la Naturaleza con el que Galileo, Descartes y Newton impulsaron definitivamente a la ciencia moderna a su carrera triunfal. Si el éxito constituye una garantía de la verdad, ningún otro sistema de pensamiento gozó de tal éxito en el mismo grado desde que la humanidad emprendió el camino del pensamiento. En trescientos años ha transformado la vida humana, sus pensamientos íntimos, sus técnicas, su conducta social y sus ambiciones”.

La ley como orden de sucesión observado, tiene un carácter descriptivo. Tiene (50/125) “una simplicidad atractiva: mientras las dos anteriores conducían a dudas metafísicas, como la doctrina de las relaciones internas o el problema de la existencia y esencia de Dios, esta tercera teoría evade todas las dificultades”.

Esta forma de enunciar las leyes constituye la teoría positivista que se desarrolla a lo largo del siglo XIX y que llega hasta nuestros días. El positivismo que Ernst Mach, físico transformado en filósofo, desarrolló y cuyas ideas pueden encontrarse en Einstein, ha tenido un gran predicamento entre los hombres de ciencia. Planck (31/225) lo ha combatido tenazmente dando como razón fundamental el hecho de que “niega el concepto y la necesidad de una física objetiva, independiente de la individualidad del investigador”. La ley natural así concebida nos informa sobre las cosas observadas que trata de describir del modo más sencillo. Buscando antecedentes habría que llegar hasta Epicuro.

En lo referente al método científico contienen una verdad fundamental que puede resumirse en la reiteración de la observación hasta averiguar la regularidad en la sucesión de los fenómenos. En este aspecto coinciden Whitehead (50/126) y Planck (31/226) destacando éste que el fundamente sólido que el positivismo da a la física, es muy estrecho y debe ser ampliado para hacer posible la ciencia de la accidentalidad, que comporta la referencia a individuos humanos singulares.

Al negar el positivismo toda posibilidad de llegar con nuestro conocimiento más allá de la agrupación, ordenamiento y descripción de los hechos observados, se cierra la posibilidad del conocimiento de la esencia de la Naturaleza, que está más allá de las observaciones y de la experiencia.

Estas tres teorías de la ley natural no aparecen en la realidad como aisladas en compartimientos estancos. Tienden —digámoslo así— a influirse, a actuar conjuntamente o, mejor dicho, a participar en la expresión más am-

plia y general de una ley natural. No es de ahora esta borrosidad en las fronteras. “La comología de Platón tiende a fundir las doctrinas de la imposición y de la inmanencia, así como la teoría atomista de Epicuro tiende más bien a fusionar las doctrinas de la imposición y de la descripción. (. . .). Lucrecio osciló entre el concepto de ley impuesta y el de azar”. (50/132, 133).

La cuarta teoría sobre la ley natural, en la clasificación que hizo Whitehead, se refiere a la interpretación convencional que define (50/145) como “el proceso por el que la libre especulación pasa a ser una interpretación de la Naturaleza. Se elabora un sistema de ideas completamente independiente de toda observación directa y detallada de los hechos. Una tal independencia de la observación parece caracterizar aparentemente a los Diálogos de Platón, los cuales no llevan señal de ninguna inducción paciente de los hechos y se hallan dominados por la especulación y la dialéctica. También las Matemáticas han desarrollado, en particular en los últimos años, un interés puramente especulativo en ciertos tipos de orden, sin fijar entidad particular alguna que manifieste dichos tipos. Pero más tarde se ha interpretado a la Naturaleza a la luz de dichas leyes matemáticas y parece poderse deducir de ello que la Naturaleza se deja interpretar en forma de leyes, que es lo que nos interesa”.

Hipótesis y modelos planteados desde un punto de vista teórico pueden conducir o reconducir la vía experimental a la comprobación de una posible ley o a un nuevo enunciado de una antigua.

La apasionante aventura de las ideas, diciéndolo al modo de Whitehead, o la consideración de la importancia de la ciencia en el mundo moderno, que desde puntos de vista distintos, pero no dispares, contemplan, entre otros, el autor de “Science and the Modern World” y el de “Zum Weltbild der Physik”, nos lleva a preguntarnos como el científico actual responde a la pregunta que el hombre se ha hecho desde que es hombre, en relación con el origen de lo que le circunda.

El hombre busca las raíces, trata de conocer el principio no sólo de lo que materialmente le rodea, sino de lo que a su alrededor vive incluyendo su propia existencia. “El incesante intercambio de materia inseparablemente unido a la vida —dice Niels Bohr (1/20)— lleva consigo la imposibilidad de considerar un organismo como un sistema bien definido de partículas materiales de modo análogo a la manera de considerar los sistemas por las propiedades físicas y químicas de la materia”. Es éste un tema que apasiona de tal modo, que una vez me impulsó a la audacia de traspasar su umbral, (6) llevado por la mano de la Física. En este mismo lugar, y en ocasión análoga habló Municio sobre “Ciencia y Aristobiología” pidiendo a esta última que, con la Filosofía, “nos saque —si puede— de la duda hamletiana sobre todas esas cosas más que hay en la tierra . . . y en los cielos”. (26/75)

Quede la Biología sólo con la alusión anterior, para volver a la cosmogonía.

Lo que en un principio fue un mito o más tarde una especulación filosófica, adquiere a partir del siglo XVI, con la adopción de una nueva estructura por parte de la ciencia, un rango diferente.

Sería extender en demasía la intención de este discurso entrando en detalles de una evolución del pensamiento del hombre a lo largo de los cuatro siglos y pico que nos separan de Nicolas Copérnico que situó al Sol en el centro del Universo, frente a la toloméica quietud de la Tierra. Baste, por una parte, la referencia de Kepler, que describe mediante leyes las órbitas planetarias y que, en su "Harmonicis Mundi" (43), canta la gloria del Creador y hace —según von Weizsäcker (48/94)— que "en las leyes matemáticas, el hombre, hecho a imagen de Dios, repiensa el pensamiento de Dios. El mundo de Kepler es el de Timeo y no el de Demócrito". No debe faltar, por otra parte, ni la alusión a Galileo que estableció la mecánica como una ciencia matemática, ni la de Newton que la aplicó a los movimientos celestes.

La contribución de Descartes, Newton, Leibnitz y Kant a una cosmogonía científica está descrita por von Weizsäcker (48/105-116) de tal modo que, al referirnos a él, puede permitírse nos no entrar ahora en su detalle para dar un salto en el tiempo y situarnos en nuestros propios días.

¿Qué piensa el científico actual sobre la cosmogonía?

Frente al modelo del "estado estable" que nos presenta un Universo más o menos igual al que ahora habitamos llenándose de nueva materia a medida que se expande, utilizan los astrofísicos otro que llaman "corriente" partiendo de una gran explosión que tuvo lugar al principio, no en un lugar determinado, sino simultáneamente en todas partes llenando todo el espacio y haciendo que toda partícula se alejase de cualquier otra. Llenar todo el espacio puede referirse a un Universo abierto o bien a uno cerrado curvándose sobre sí mismo como la superficie de una esfera. Cualquiera de estas posibilidades no es fácil de entender "pero esto —dice S. Weinberg— no será un obstáculo para nosotros; en el Universo primitivo importa poco que el espacio sea finito o infinito" (44/16). Nada se dice sobre el origen del tiempo, sólo que, a partir de un centesimo de segundo, la temperatura alcanzó el valor de cien mil millones (10^{11}) kelvin, temperatura que no permite que existan ni moléculas, ni átomos, ni núcleos, sólo partículas elementales podrían encontrarse nacidas en la explosión. Así como nada se dice de cuando empieza a contarse el tiempo, sólo se supone sobre el origen de estas partículas —electrones, positrones, neutrinos, antineutrinos y fotones— que se crearon a partir de la energía pura para aniquilarse en plazo corto. Este nacer y morir lleva consigo una secuencia de la energía que, con Sánchez del Río (37/22) puede considerarse como "la cualidad que provoca una modificación

de los entes naturales en su evolución temporal”. Todo parte o termina en la energía y de este balance entre creación y aniquilamiento, puede deducirse que la densidad del Universo era del orden de cuatro mil millones de veces mayor que la del agua. Existían también una pequeña proporción de protones y neutrones, uno de estos por cada mil millones de las restantes partículas elementales. Haber hallado esta relación, —mil millones de fotones por partícula nuclear— midiéndola al descubrir el fondo de la radiación cósmica, ha permitido establecer una de las claves para comprender el así llamado modelo corriente que “brinda un lenguaje común esencial, que permite a teóricos y observadores evaluar mutuamente sus realizaciones o cálculos originarios en el modelo corriente”, dice Weinberg (44/20) en el libro en el que de modo lúcido intenta describir lo acaecido en los tres primeros minutos del universo.

La otra clave para interpretar el modelo corriente fue suministrada por la observación astronómica al poder comprobar de modo fiable el alejamiento de las galaxias. El telescopio de 2,5 m. de diámetro instalado en Mount Wilson permitió a Hubble observar en la nebulosa de Andrómeda, estrellas con luminosidad periódicamente variable de modo análogo a lo que sucede en las Cefeidas, en las que se había podido establecer una relación entre la luminosidad absoluta y los períodos observados en su variación. Como la luminosidad aparente, la medida sobre la pupila de entrada del telescopio, es directamente proporcional a la absoluta, e inversamente al cuadrado de la distancia, puede obtenerse ésta al conocer la razón de las luminosidades. Hubble encontró que Andrómeda se hallaba a 900.000 años-luz de distancia de la tierra, distancia que corregida con las observaciones actuales se eleva al orden de los dos millones de años-luz.

A la determinación de la distancia hay que añadir la observación de Sipher de un corrimiento de las líneas del espectro de las nebulosas, hacia el rojo al alejarse, como la constelación Virgo que lo hace a 1000 km. por segundo, o hacia el azul al acercarse, como Andrómeda a 300 kms. por segundo.

De nuevo hay que citar a Hubble porque, como consecuencia de la medida de la razón de las luminosidades que permitió el cálculo de las distancias a las galaxias y de la determinación de las velocidades con las que se desplazan de acuerdo con el efecto Doppler, estableció que la relación entre ellas es lineal. Medidas y revisiones recientes dan como valor para la constante de Hubble —relación entre distancia y velocidad de alejamiento— el valor de 15 kms. por segundo por millón de años-luz. Partiendo de esta cifra es posible tantear la edad del Universo, asignando el “nacimiento” al momento en el cual las galaxias comenzaron a separarse, es decir cuando su velocidad era nula y admitiendo que ésta aumenta proporcionalmente a la distancia según la constante de Hubble, resulta una cifra de 20.000 millones de años, valor

que debe ser superior al de la realidad, ya que para distancias cortas las fuerzas gravitatorias tienen una mayor participación que hace decrecer la velocidad de expansión. Podría decirse que la edad del Universo está comprendida entre los 10.000 y los 20.000 millones de años, cifras compatibles con los presumibles 4.000 millones de años que tiene la Tierra según se desprende del estudio de la desintegración de elementos radiactivos. Sobre el significado y la transcendencia de las edades del Universo y de la Tierra son esclarecedoras las opiniones de von Weizsäcker (58/131-144) que contempla el problema desde el punto de vista del físico y del filósofo.

Volvamos al tema de la expansión del universo, considerando dos galaxias que se alejan entre sí. En un cierto instante el valor de la distancia que existe entre ellas será el producto de la velocidad de la luz por el tiempo que ésta ha invertido en ir de una a otra a partir de un cierto origen temporal. Esta distancia es la suma de la que existiría entre ellas cuando se empezó a medir el tiempo y la recorrida por una galaxia en relación con la otra a la velocidad de alejamiento y en el mismo tiempo que tardó la luz en ir de la una a la otra. Hallando el cociente entre éste último incremento y la distancia total se elimina el tiempo obteniéndose la razón de la velocidad de desplazamiento a la de la luz. Este valor coincide con el que nos da el efecto Doppler para el cociente entre el incremento de la longitud de onda y el valor de ésta. Resulta así que la longitud de onda aumenta en proporción a la distancia que separa a dos galaxias a medida que el Universo se expande.

Esta expansión tiene una dinámica en la que intervienen las fuerzas de gravitación que es el objeto de la investigación teórica de la cosmología. Leopold Infeld (38/343) (en su contribución con un artículo sobre la estructura del Universo al libro sobre Einstein) da como fecha de su nacimiento el año 1917 cuando éste presentó en la Academia de Ciencias de Prusia su trabajo "Kosmologische Betrachtungen zur allgemeine Relativitätstheorie" que traslada los problemas cosmológicos "del dominio de la poesía y de la filosofía especulativa, al de la física". La solución de Einstein parte de los presupuestos de isotropía y homogeneidad (38/345), propiedades del espacio que indican, la imposibilidad por parte del observador de distinguir, de acuerdo con la primera, una situación privilegiada en cualquier dirección y, según la segunda, un lugar de otro en el Universo. Supone también, en una imagen muy simplificada, que la materia está en reposo y que la distancia entre nebulosas no sufre variación.

El desarrollo de la relatividad general sigue siendo de actualidad para los físicos teóricos por las consecuencias que de ella se han deducido. La física de los agujeros negros, esas criaturas esotéricas que de ella surgen, parece unir, por vez primera, temas tan diversas como la gravitación, la termodinámica y los principios cuánticos. Rindiendo homenaje a Einstein nos habló de ello Alberto Galindo (11) en esta Real Academia.

Infeld (38/346) se pregunta: “¿es posible que los postulados de la isotropía y de la homogeneidad por una parte y la densidad constante de las masas en reposo, por otra, sean simultáneamente válidos?. Una investigación consecuente lleva a la respuesta: no”. No es éste el lugar para profundizar más en el tema ni para detallar la participación que en él tiene Einstein, que tan bien describe Infeld en el trabajo ya aludido, pero sí para dejar constancia de que, simultáneamente en el mismo año 1917, W. de Sitter propuso un modelo basado en el de Einstein pero no de carácter estático ya que permitía prever el corrimiento hacia el rojo.

Esta circunstancia fue lo que llevó a F. Friedmann a estudiar la ecuación de Einstein y a proponer dos modelos o mejor, un condicionamiento al supuesto de un Universo en expansión. Si la densidad media de la materia en él, tiene un valor igual o menor a uno crítico, entonces la expansión continuaría indefinidamente, mientras que si es mayor, se produciría un encorvamiento sobre sí mismo llegando a ser los campos gravitacionales tan fuertes que logren detener la expansión y producir una contracción que conduce a densidades infinitamente grandes. Con los datos actuales esta densidad crítica, proporcional al cuadrado de la constante de Hubble, es del orden de $4,5 \times 10^{-30}$ gramos por cm^3 que redondeando corresponde a tres átomos de hidrógeno por cada mil litros.

La expansión lleva consigo una limitación en el “horizonte”, es decir, en la distancia necesaria para que una señal luminosa haya tenido tiempo de llegar hasta la tierra desde el comienzo del Universo. Al principio el Universo era más pequeño y el “horizonte” se encontraba más próximo que ahora. Al expandirse crecen el tamaño del Universo y la distancia al horizonte de modo diferente, ya que el primero lo hace proporcionalmente a la raíz cuadrada del tiempo, mientras que la segunda depende linealmente de éste. Ello lleva consigo que cuanto más próximos al comienzo sean los tiempos, menor será la parte del Universo comprendida dentro del horizonte.

“El Universo, dice S. Weinberg (44/45-46), se está expandiendo uniforme e isotrópicamente: los observadores de todas las galaxias típicas ven los mismos procesos en todas las direcciones. A medida que el Universo se expande, las longitudes de onda de los rayos de la luz se alargan en proporción a la distancia entre las galaxias. No se cree que la expansión obedezca a alguna especie de repulsión cósmica, sino que es el efecto de velocidades remanentes de una explosión pasada. Estas velocidades están disminuyendo gradualmente por influencia de la gravitación; esta deceleración, parece ser muy lenta, lo cual indicaría que la densidad de la materia en el Universo es baja y su campo gravitacional demasiado débil para hacer al Universo espacialmente finito o para invertir la expansión con el tiempo. Nuestros cálculos nos permiten extrapolar hacia atrás la expansión del Universo, y nos revelan que la expansión debe de haber comenzado hace 10.000 ó 20.000 millones de años”.

Se inició la expansión al final de la gran explosión cuando comenzó a formarse el Universo. ¿Qué noticias tenemos de aquellos instantes?. Hace unos años tendríamos que decir que todo era incierto e hipotético. Hoy podemos hablar de unas ondas emitidas hacia el comienzo del Universo que fueron detectadas y estudiadas por Penzias y Wilson en 1964. Son microondas de 7,35 cm de longitud, independientes de la dirección e invariantes respecto de las horas del día y de las estaciones, que no parecían proceder de la Vía Láctea, sino de una zona mucho más amplia del Universo. Admitiendo que éste constituye un todo que emite como un cuerpo negro, habría que atribuirle, según Penzias y Wilson, una temperatura comprendida entre 2,5 y 4,5 kelvin, que no está en discordancia con la suposición de Peebles de un fondo de ruido remanente del Universo de 10 K. Para él las relaciones nucleares que tuvieron lugar en los primeros minutos, habrían dado lugar a elementos más pesados a costa del hidrógeno, si no hubiese habido un fondo intenso de radiación. No sería hoy posible que el hidrógeno constituya las tres cuartas partes del Universo, si una radiación de frecuencia muy alta, correspondiente a temperaturas elevadísimas, no hubiese destruido los núcleos a medida que se iban formando.

Esta radiación se mantuvo a pesar de la expansión del Universo que fué enfriándose en proporción inversa a su tamaño y cuando alcanzó la temperatura de mil millones kelvin (10^9 K) comenzó la nucleosíntesis. Puede calcularse la densidad de partículas nucleares a esta temperatura y la de los fotones a partir de la fórmula de Planck y como la proporción no cambia, se mantiene la relación de mil millones de fotones por partícula nuclear.

No es posible —la propia estructura del discurso lo impide— entrar en el detalle de la crónica cosmológica de las tres últimas décadas que tan bien describe Steven Weinberg (44/107-114) y que constituye un aleccionador ejemplo de como se desarrolla una investigación en los tiempos actuales.

Siguiendo a este autor intentemos describir lo que sucedió en los primeros instantes comenzando por los más próximos al origen, origen que queda siempre envuelto en el misterio de lo que la ciencia ignora.

Hay que partir de temperaturas altísimas muy próximas al origen, superiores a los cien mil millones (10^{11} K) kelvin, es decir, más altas que la temperatura umbral (temperatura por encima de la cual puede crearse una partícula a partir de la radiación térmica) de todos los hadrones. En estas condiciones las interacciones fuertes tienen un protagonismo y su estudio plantea serias dificultades a los físicos teóricos. Dos respuestas se han dado a la naturaleza de los hadrones. Según una de ellas todo hadrón es tan fundamental como cualquier otro. Esta teoría fue elaborada alrededor de los años sesenta por Geoffrey Chew de Berkeley y es conocida con el nombre de “democracia nuclear”. Hay otra —según Weinberg más cercana a la verdad— que sostiene que no todas las partículas son iguales, unas son efectivamente elementa-

les y las restantes son compuestos de ellas. Se piensa que las partículas elementales son el fotón y todos los leptones, pero ninguno de los hadrones conocidos y, en cambio, se supone que éstos están compuestos por unas partículas más fundamentales llamadas quarks. (44/118-120).

Se introducen así estas nuevas partículas cuya interacción depende de la distancia entre ellas, de tal modo que para separar un quark de otro en un hadrón, se requiere una energía que aumenta con la distancia, es decir que las fuerzas entre los quarks se hacen más débiles a medida que se acercan. Si las cosas suceden así, a temperaturas altísimas los hadrones estarían descompuestos en sus quarks constituyentes y el Universo en sus tiempos primitivos estaría compuesto por fotones, leptones, antileptones, quarks y antiquarks que se comportarían como partículas libres. Al irse enfriando el Universo los quarks o se aniquilaban con antiquarks o se instalaban en un protón o en un neutrón.

Este modelo de quark presenta, para su comprobación, el grave problema de no haber sido posible, con los métodos actuales, descomponer un hadrón en sus partículas elementales. Tampoco en cosmología ha sido posible captar un quark libre residual de procesos del Universo primitivo, que haya permanecido hasta la época presente. Esta inexistencia plantea un serio problema a la física actual que no es el único ya que, entre otros, las interacciones débiles juegan un papel, a pesar de su inferioridad en relación con las electromagnéticas y con las fuertes, en muchos procesos como, por ejemplo, en todos aquellos en los que interviene un neutrino. Pero también hoy se las asocia a la posible transición de fase que pudo haber sufrido el Universo en su estado primitivo.

Dejemos que el propio Weinberg, con la autoridad de exponer su propia teoría, nos hable de ellas. "Pese a la flojedad —nos dice (44/122-123)— de las interacciones débiles, se piensa desde hace tiempo que puede haber una relación profunda entre la fuerza débil y la electromagnética. En 1967 propuse una teoría de campo que unifica estas dos fuerzas y Abdus Salam propuso otra, independientemente, en 1968. Esta teoría predice una nueva clase de interacciones débiles, las llamadas corrientes neutras, cuya existencia fué confirmada experimentalmente en 1973. Recibió apoyo adicional por el descubrimiento, a partir de 1974, de toda una familia de nuevos hadrones. La idea fundamental de este tipo de teoría es que la naturaleza tiene un grado muy alto de simetría, que relaciona las diversas partículas y las fuerzas, pero queda oscurecida en los fenómenos físicos ordinarios. Las teorías de campo usadas desde 1973 para describir las interacciones fuertes son del mismo tipo matemático (teorías de medida no abeliana), y muchos físicos creen ahora que las teorías de la medida pueden suministrar una base unificada para comprender todas las fuerzas de la naturaleza: débiles, electromagnéticas, fuertes y quizá las gravitacionales. Esta opinión se apoya en una propiedad de las teorías de la medida unificadas que había sido conjeturada por

Salam y por mí y fué probada en 1971 por Gerard't Hooft y Benjamin Lee”.

“Para los estudios sobre el Universo primitivo, el punto importante con respecto a las teorías de la medida es que, como señalaron en 1972 D.A. Kirznits y A.D. Linde, del Instituto de Física Lebedev de Moscú, estas teorías muestran una transición de fase, una especie de congelamiento, a una temperatura de unos 3.000 billones de grados (3×10^{15} K). A temperaturas inferiores a la crítica, el Universo fué como es ahora: las interacciones débiles eran débiles y de corto alcance. A temperaturas superiores a la temperatura crítica, la unidad esencial entre las interacciones débiles y las electromagnéticas era manifiesta: las interacciones débiles obedecían al mismo género de ley de la inversa del cuadrado que las interacciones electromagnéticas y tenían aproximadamente la misma fuerza”.

Nos ha hablado Weinberg de las interacciones débiles, pero ¿qué sucede con las gravitacionales, que han regido la física y la cosmología durante siglos?

Cabe pensar que si los campos gravitacionales pueden engendrarse por todas las formas de energía, pudo existir un tiempo, muy próximo al comienzo, en el que, a causa de las temperaturas altísimas, fuesen tan grandes las energías de las partículas en equilibrio térmico, que la interacción entre ellas llevase consigo unas fuerzas gravitacionales tan fuertes que su acción pudiera ser comparable con las otras actantes. Puede ser posible que ésto sucediese a la enorme temperatura de cien millones de billones de billones kelvin (10^{32} K) que pudo haber existido a 10^{-43} segundos después del comienzo. Desde entonces la temperatura efectiva de la radiación gravitacional ha disminuido en proporción inversa al tamaño del Universo que, en su estado actual, debe estar lleno de radiación gravitacional a una temperatura similar, aunque un poco menor, que la de los neutrinos o fotones, tal vez alrededor de un kelvin. “La detección de esta radiación —dice Weinberg (44/126)— supondría una observación directa del más antiguo momento en la historia del Universo que puede ser considerado por la física teórica actual. Desafortunadamente, no parece haber la menor posibilidad de detectar un fondo de 1 K de radiación gravitacional en un futuro previsible”.

“Todos estamos habituados a la idea de un cero absoluto de la temperatura (. . .) de igual modo tal vez tengamos que acostumbrarnos a la idea de un cero absoluto en el tiempo: un momento en el pasado más allá del cual sea imposible, en principio, rastrear ninguna cadena de causas y efectos. La cuestión no está resuelta y puede quedar siempre sin resolver” dice Weinberg (44/127).

A partir de ese cero los hechos se desarrollaron vertiginosamente al principio, hasta alcanzar un ritmo más pausado. Para describirlos resumiremos la serie de fotogramas, no separados por intervalos iguales de tiempo, sino correspondientes a los saltos de temperatura determinados por un factor de

aproximadamente tres, que figuran en la ya citada obra que relata los tres primeros minutos del Universo. (44/91-106).

La primera imagen corresponde a un Universo que se ha enfriado muy rápidamente hasta alcanzar la temperatura de cien mil millones kelvin (10^{11} K) en un tiempo que podría evaluarse (44/115) en una centésima de segundo, si las únicas partículas presentes en grandes cantidades en ese momento fuesen sólo fotones, electrones, neutrinos, y sus correspondientes antipartículas, después de ese cero absoluto al que habría que atribuirle temperatura y densidad infinitas.

El Universo se halla en equilibrio térmico y se rige por las leyes de la mecánica estadística. Las partículas que abundan son aquellas cuyos umbrales de temperatura están por debajo de los 10^{11} K: electrones, positrones, neutrinos, antineutrinos y fotones. La densidad de masa es de tres mil ochocientos millones de kilogramos por litro. El ritmo de expansión es tal que el tamaño del Universo aumentaría un uno por ciento en, aproximadamente, dos diezmilésimas de segundo (2×10^{-4} s). El número de partículas nucleares es pequeño, del orden de un protón o un neutrón por cada mil millones de fotones, electrones o neutrinos. Hay casi tantos protones como neutrones que no se han unido para formar núcleos ya que, si éstos se formaran, se destruirían rápidamente.

Al mismo tiempo que el Universo se expande, se enfría rápidamente a un ritmo tal, que al cabo de un poco más de una décima de segundo (0,11 s.) del primer fotograma, su temperatura es de 3×10^{10} K. Cualitativamente nada ha cambiado, el espacio sigue lleno de electrones, positrones, neutrinos antineutrinos y fotones pero con una densidad menor ya que es del orden de treinta millones de kilogramos por litro. El tiempo de expansión característico también disminuye con el cuadrado de la temperatura y se sitúa en 0,2 segundos (el tamaño del Universo aumenta un 1 % en 0.002 s.). La proporción de neutrones a protones es, aproximadamente, de 2 a 3.

Así se llega al tercer fotograma cuando la temperatura ha descendido a 10^{10} K y transcurren 1,10 segundos desde el origen del tiempo, cuando el Universo nace. Los neutrinos y los antineutrinos comienzan a dejar de estar en equilibrio térmico con los restantes leptones y pueden ser considerados como partículas libres que, como consecuencia del corrimiento hacia el rojo, incrementarán sus longitudes de onda en proporción directa al tamaño de Universo. La densidad total de energía ha decrecido hasta una equivalente en masa de 380.000 veces mayor que la del agua y el tiempo de expansión característico es del orden de los dos segundos. Por haber descendido la temperatura, se aniquilan los electrones y positrones más rápidamente que se recrean a partir de la radiación; sin embargo, es todavía elevada para que neutrones y protones puedan fundirse en núcleos. La proporción de los primeros a los segundos es, aproximadamente, de 1 a 3.

Sigue descendiendo la temperatura que llega a ser 3×10^9 K, cuando han transcurrido 13,82 segundos desde el primer fotograma, comenzando a desaparecer los electrones y positrones que, al aniquilarse, liberan energía que hace más lenta la velocidad de enfriamiento del Universo. Protones y neutrones pueden fundirse en núcleos de deuterio que, al chocar con protones o neutrones dan respectivamente, el helio tres (H_e^3) o el tritio (H^3) que, con un neutron el primero o con un protón el segundo, dan lugar a un núcleo de helio cuatro (H_e^4) que es mucho más estable. Para esta cadena se parte del deuterio que a la temperatura de tres mil millones kelvin se destruye casi al formarse, por ello no queda asegurada la formación de núcleos más pesados. La proporción de neutrones a protones es, aproximadamente, de 1 a 5.

El instante siguiente en el que se estudia el Universo, corresponde a una temperatura de mil millones kelvin (10^9), que es sólo 70 veces más caliente que el centro del Sol. Desde el primer fotograma han transcurrido tres minutos y dos segundos. El Universo está compuesto principalmente por fotones, neutrinos y antineutrinos, estos dos últimos más fríos que los primeros, aproximadamente con las tres cuartas partes de su temperatura.

Los neutrones libres comienzan a desintegrarse dando origen a protones cuya relación con los primeros aumenta hasta una proporción de 6 a 1. Los núcleos de tritio y de helio tres se mantienen, los de deuterio no han alcanzado, todavía, la estabilidad necesaria para dar origen a un número grande de núcleos más pesados. Hace falta que la temperatura descienda en un 10%, para que los núcleos de deuterio puedan mantenerse unidos y sean el origen de otros elementos. Esto ocurre tres minutos y cuarenta y seis segundos después de la primera imagen y cuando la temperatura es de $0,9 \times 10^9$ K.

Pasa el tiempo, continua el enfriamiento y la expansión y al transcurrir treinta y cuatro minutos y cuarenta segundos, la temperatura es sólo de 3×10^8 K, los electrones y positrones se han aniquilado casi completamente liberando energía que aumenta la temperatura de los fotones que es un 40% mayor que la de los neutrinos, la densidad de energía ha disminuido haciendo que su equivalente en masa valga 1,1 referida al agua y que el tiempo de expansión característico (aproximadamente cien veces el tiempo necesario para que el Universo aumente su tamaño en un uno por ciento) sea de una hora y cuarto. Todavía está muy caliente para que se formen átomos estables, para ésto tienen que transcurrir 700.000 años más y entonces comenzará el Universo a ser transparente a la radiación y al desacoplarse ésta de la materia, pueden crearse galaxias y estrellas.

“Después de otros 10.000 millones de años, aproximadamente, los seres vivos —nos dice Weinberg (44/100)— comenzarán a reconstruir esta historia. Esta descripción del Universo primitivo tiene una consecuencia que puede ponerse a prueba inmediatamente en la observación: el material que quedó después de los tres primeros minutos, del cual se formaron originariamente

las estrellas, estaba formado por un 22 a un 28 por ciento de helio y todo lo demás era hidrógeno. Como hemos visto, este resultado depende del supuesto de que hay una enorme proporción de fotones con respecto a las partículas nucleares, lo cual a su vez se basa en la temperatura comprobada de 3K del actual fondo de radiación cósmica de microondas. El primer cálculo de la producción cosmológica de helio que hizo uso de la temperatura de la radiación medida, fue llevado a cabo por P.J.E. Peebles en 1965, poco después del descubrimiento del fondo de microondas por Penzias y Wilson. Un resultado similar obtuvieron, independientemente y casi al mismo tiempo, Robert Wagoner, William Fowler y Fred Hoyle. Este resultado fue un notable éxito para el modelo corriente, porque por entonces ya había estimaciones independientes según las cuales el Sol y otras estrellas, en su origen, estuvieron compuestos en su mayor parte de hidrógeno, ¡con un 20 a 30 por ciento de helio, aproximadamente"!.

Parece, por tanto, que el modelo corriente ofrece un marco adecuado para la explicación coherente de lo acaecido en el principio del Universo. Puede no ser totalmente cierto, pero, al menos, es una buena aproximación que, en cualquier caso, debe ser tenido en cuenta. Queda la duda sobre el supuesto de un Universo homogéneo e isotropo, es decir, el llamado principio cosmológico, en los primeros instantes, cuando la radiación y la materia estaban en equilibrio. Esta duda afecta a las hipótesis sobre el comienzo o sobre el futuro para el que el modelo corriente no tiene la certeza de una expansión indefinida ya que puede condicionarse a que la densidad cósmica sea mayor o menor que un cierto valor crítico que puede evaluarse (44/144-145), con los datos actuales de la constante de Hubble (15 km. por segundo por millón de años-luz), en $4,5 \times 10^{-30} \text{ gm/cm}^3$, que corresponde a 0,0027 partículas por litro, según se indicó anteriormente al referir a Friedmann. Si fuese menor, la expansión continuaría sin un final previsible, las reacciones termonucleares irían cesando lentamente y los fotones cósmicos de radiación y los neutrinos seguirían reduciendo su temperatura en proporción inversa al tamaño del Universo. Si, en cambio, la densidad cósmica superase el valor crítico, el Universo sería finito y al cesar la expansión, se iniciaría una contracción. Tomando como posible ejemplo una densidad cósmica de un valor doble al del crítico y asignando al Universo una edad de 10.000 millones de años, se mantendrá la expansión durante 50.000 millones de años más, iniciándose después una contracción que hará que el Universo, pasados otros 50.000 millones de años, alcance, en lo que al tamaño se refiere, la situación actual y al cabo de otros 10.000 millones de años retorne a su origen en un estado de densidad infinita.

El Universo tendrá, cuando su expansión llegue al máximo, el tamaño doble del actual y la temperatura del fondo de microondas corresponderá a 1,5 K. A partir de ese instante y al comenzar la contracción la temperatura se elevará y al principio no habrá motivo de alarma, pero después. . . Deje-

mos que Weinberg nos haga una descripción casi apocalíptica de lo que puede suceder. “Cuando el Universo se haya contraído a un centésimo de su tamaño actual, —nos dice (44/130-131)— el fondo de radiación empezará a dominar el cielo: el cielo nocturno será tan cálido (300 K) como el cielo actual durante el día. Setenta millones de años más tarde el Universo se habrá contraído otras diez veces y nuestros herederos y descendientes (si los hay) hallarán el cielo intolerablemente brillante. Las moléculas de las atmósferas planetarias y estelares y del espacio interestelar comenzarán a disociarse en sus átomos correspondientes y los átomos se disolverán en electrones libres y núcleos atómicos. Después de otros 700.000 años, la temperatura cósmica será de diez millones de grados: entonces las mismas estrellas y los planetas se disolverán en una sopa cósmica de radiación, electrones y núcleos. La temperatura se elevará hasta diez mil millones de grados en otros 22 días. Los núcleos comenzarán a desmenuzarse en sus protones y neutrones constituyentes, deshaciendo toda la obra de la nucleosíntesis estelar y cosmológica. Poco después empezará la creación de electrones y positrones en gran número en los choques entre fotones y el fondo cósmico de neutrinos y antineutrinos, recuperará la comunión térmica con el resto del Universo”.

“¿Podemos realmente llevar esta triste historia hasta el fin, hasta un estado de temperatura y densidad infinitas? ¿Se detiene realmente el tiempo tres minutos después de que la temperatura llegue a mil millones de grados? Obviamente, no podemos estar seguros. Todas las incertidumbres que encontramos al tratar de explorar el primer centésimo de segundo, vuelven a acosarnos cuando consideramos el último centésimo de segundo. Sobre todo, el Universo entero debe ser descrito en el lenguaje de la mecánica cuántica a temperaturas superiores a los cien millones de millones de millones de millones de millones de grados (10^{32} K) y nadie tiene idea de lo que ocurre entonces. Por otro lado, si el Universo no es realmente isotropo y homogéneo, entonces toda nuestra historia puede perder su validez mucho antes de que tengamos que abordar los problemas de la cosmología cuántica”.

En esta descripción que nos ha hecho Weinberg hay problemas planteados, hay dudas, hay interrogantes, pero quizá destaque su posición honrada que le hace decir que “cuanto más comprensible parece el Universo, tanto más sin sentido parece también” (44/132) y es que “para los seres humanos, es casi irresistible el creer que tenemos alguna relación especial con el Universo, que la vida humana no es solamente el resultado más o menos absurdo de una cadena de accidentes que se remonta a los tres primeros minutos, sino que de algún modo formábamos parte de él desde el comienzo”.

Esta integración en un principio conduce a algo más que a un cientifismo, una fe en la ciencia cuyo significado para el mundo moderno puede resumirse según von Weizsäcker (48/12) en que la fe en la ciencia desempeña el papel de religión dominante de nuestro tiempo y que la importancia

de la ciencia sólo puede, al menos hoy por hoy, evaluarse en términos que expresan una ambigüedad.

Ciertamente puede decirse que “nuestro tiempo no posee ninguna otra religión dominante” (48/13) como lo fue el Cristianismo en la Europa medieval, Cristianismo que ha hecho lo que hoy llamamos Europa. Prescindiendo de la comunión de los creyentes cristianos actuales, como hace T.S. Eliot (10/196-197), puede decirse que si mañana el Asia se hiciese cristiana, no por eso se convertiría en una parte de Europa. “Un europeo —sigue diciendo— puede dudar de la verdad de la fe cristiana y, sin embargo, lo que dice y fabrica y hace, será todo proveniente de su herencia de cultura cristiana y dependerá de la cultura para su significado. Solamente una cultura cristiana podría haber producido un Voltaire o un Nietzsche”. Sin dudar de esta influencia y contemplando el momento actual —dice von Weizsäcker (48/13)— que “tal vez estemos viviendo en un mundo no-religioso; pero es psicológicamente improbable que el puesto que ha llenado la religión en el alma del hombre medio pueda quedar desocupado”. Para él es el cientifismo, es decir la fe en la ciencia, quien lo ocupa ahora.

¿Puede ofrecer la ciencia algo comparable a una fe, una iglesia organizada y un código de conducta?. Es una pregunta que hace después de señalar que éstas parecen ser, como exigencias mínimas, los elementos indispensables de una religión.

Al contestarla en sus tres aspectos, destaca que el factor decisivo de la fe no es la creencia, sino la confianza. La primera significa la actitud intelectual consistente en un asentimiento y no en un conocimiento, mientras que la segunda es (48/13-14) “una cualidad, penetrante y difusiva, de la personalidad, que no queda limitada a la mente consciente; un sentimiento de seguridad que nos capacita para obrar justamente de aquel modo en que deberíamos hacerlo si aquello en lo cual confiamos se encontrara claramente ante nuestros ojos. Lo que da su fuerza a la fe religiosa no es primariamente la satisfacción intelectual de la creencia, sino la satisfacción moral de la confianza (y aquí la palabra “moral” debe entenderse en el sentido más amplio posible). “A esta confianza en la ciencia, propia de creyentes, “que está asumiendo en nuestro tiempo gran parte del papel antes desempeñado por la fe religiosa” le llama von Weizsäcker (48/15) “cientifismo”.

Esta religión de la ciencia que tiene su fe no tiene, en cambio, su iglesia organizada como una estructura, aún cuando los hombres que cultivan la ciencia se comportan de un modo que parece que adoptan una posición sacerdotal que les permite reconocerse unos a otros por la comprensión de una verdad común. Resalta von Weizsäcker (48/15) la identidad de los valores de las constantes atómicas calculados en secreto en los diferentes países, expuestos en 1955 en la primera Conferencia de Ginebra. Esta concordancia no aparece en las teorías sobre la sociedad que en aquellas naciones se sustentan.

“El físico soviético y su colega del Oeste —nos dice— se encuentran unidos por un vínculo que ninguna disensión puede alterar: están unidos por una verdad común”, la común verdad de la Ciencia.

El tercer elemento que analiza es el código de conducta formado por las reglas que la ciencia da apoyándose en las leyes de la naturaleza o por los modos y maneras de utilizar los artilugios que la técnica brinda. “Técnica —dice recientemente (45/66)— significa crear medios y utilizarlos con vistas a un fin. La técnica como finalidad en sí puede ser útil en una fase del desarrollo, al igual que el instinto de juego ha aportado sin duda una contribución esencial al nacimiento de la cultura humana. El hombre es, en cierto sentido, al animal que juega: “homo ludens”. Pero el hombre no puede subsistir si no alcanza a comprender la diferencia entre juego y seriedad: a ello se le llama ser adulto. Hacer todo lo que técnicamente sería posible es, a fin de cuentas, un comportamiento no técnico. El uso de la técnica exige la capacidad de renunciar a cosas técnicamente posibles caso de que éstas no sirvan al fin perseguido. Exige dominio de sí mismo. La técnica, en cuanto factor de la cultura, no es posible sin la capacidad de ascetismo técnico”.

En los últimos años tenemos algunos ejemplos de una toma de conciencia sobre la postura que debe adoptarse para no realizar lo que es éticamente rechazable aunque técnicamente sea posible. El manifiesto de Gotinga del 58 o la decisión de P. Berg de efectuar un embargo temporal de su actividad investigadora en la recombinación del DNA para pensar en sus experimentos teniendo en cuenta el impacto social y los riesgos potenciales, están referidos al tratar sobre el quehacer científico y su contexto (5/73-89) en la reunión sobre “Ciencia y Anticiencia” que ha editado Alberto Dou.

El cientifismo considerado como fe en la ciencia, no constituye estrictamente una religión ya que, “si fundamenta su confianza —nos dice von Weizsäcker (48/22-23)— en la esperanza de que la ciencia, por su propia naturaleza, sea capaz de suministrarnos una guía suficiente para los asuntos humanos, es una falsa religión. Su fe, llevada hasta ese punto, no es sino superstición. El papel de sacerdote no sienta bien al científico y los buenos científicos lo saben; el código científico de conducta necesita como fondo una ética que la ciencia misma no puede proporcionar”.

El mundo moderno es el producto de un proceso de secularización, imposible, por otra parte, de describir “como desprovisto por completo de toda relación con un mundo religioso”. (48/150). Este proceso, del que aquí sólo cabe la referencia elogiosa, lo desarrolla von Weizsäcker (47/261-268) (48/145-167) partiendo de la teología de la secularización de Friedrich Gogarten. El mundo moderno, en tanto que resultado de la secularización del cristianismo, en ciertos aspectos, es y en otros no es, un mundo cristiano. Este mundo moderno hizo suyo el atributo de infinitud que en la filosofía cristiana corresponde a Dios, mientras ésta considera al mundo como finito y de

este modo seculariza la infinitud. De alguna manera se deifica y entonces no nos habla de los aspectos divinos, ni rinde culto a Dios.

Si es así que el mundo moderno puede entenderse como el resultado de una secularización del cristianismo, no es extraño que el origen cristiano de la ciencia occidental haya interesado a los filósofos “no sólo —según Prigogine (34/54)— para intentar comprender cómo pudo encontrarse estabilizado el discurso sobre la naturaleza autómatas y estúpida, sino para poner al día una relación más esencial entre la ciencia y la civilización occidental”. Tomemos un solo ejemplo, el de Alfred North Whitehead, “uno de los pocos grandes filósofos de nuestro tiempo” en la opinión de von Weizsäcker (48/11). Para él la labor de los sabios no tendría esperanza si no existiese “la convicción inexpugnable de que el detalle de cada suceso, puede ser puesto en correlación con sus antecedentes de una manera totalmente definida, como aplicación de los principios generales”. Esta convicción, sigue diciendo, “no parece que tenga otro origen que una fuente: la insistencia medieval sobre la racionalidad de Dios, concebida con la energía personal de Jehová y con la racionalidad de un filósofo griego”. (52/12).

La búsqueda del origen de la ciencia conduce por caminos múltiples a una problemática que sigue preocupando al hombre. “La naturaleza que deja al hombre cara a Dios —dice Prigogine (34/58)— es también la que un lenguaje único —no las mil voces matemáticas que en ella percibía Leibniz— basta para describir. Esta naturaleza, despojándose de lo que permitía al hombre identificarse por su participación en la antigua armonía de las cosas, es también aquella a la que una cuestión bien concebida puede hacerle afirmar, de un solo golpe, la verdad única que la colma”.

¿Podemos tomar la ciencia como una verdad absoluta?. Contesta von Weizsäcker (48/166) cuando dice que “en verdad el rasgo virtualmente más impresionante de la ciencia es que exige de sus discípulos que estén siempre dispuestos a revisar incluso las doctrinas científicas más generalmente aceptadas. La vida de la verdadera ciencia es una vida de constante autocorrección. Esto debe ser aún más verdadero con referencia a la actitud científica ante el amplio campo de la vida humana, en el cual la ciencia, como sabemos, no tiene, al menos hoy por hoy, la respuesta de las cuestiones más candentes”.

Y ya al llegar al final de este intento de querer contemplar algo de la Naturaleza a través del prisma del saber físico, debo adoptar el talente humilde que hizo exclamar a Newton, al final de su vida: “no sé cómo me considera el mundo, ante mí me represento como un niño que juega en la playa y se alegra, de vez en cuando, al encontrar una piedra más pulida o una concha más hermosa que las demás, mientras, delante de él, permanece el gran océano de la verdad inexplorada”.

BIBLIOGRAFIA

No es posible detallar, con carácter exhaustivo, una reseña que cubra el tema en su totalidad ni siquiera en muchos de sus aspectos parciales, porque mucho se ha escrito y mucho desconoce el autor, que sólo ha pretendido, sin la minuciosidad del especialista, esbozar los trazos que puedan conformar el perfil de una preocupación que está más allá del quehacer diario de la propia profesión.

Algunas de las publicaciones reseñadas han sido citadas en el texto, otras han servido, algunas durante muchos años, para formar ese substrato sobre el que se desarrolla la inquieta pesquisa de la verdad y todas ellas han contribuido, en mayor o menor grado, a la elaboración de este discurso.

1. BOHR, Niels, "Atomic Physics and Human Knowledge". John Wiley, New York, 1958.
2. BUPP, Fritz, (editor), "Werner Heisenberg und die Physik unserer Zeit" Friedr. Vieweg, Braunschweig, 1961.
3. de BROGLIE, Luis. "Sabios y Descubrimientos". Espasa-Calpe. Buenos Aires. 1952.
4. CABRERA, Blas. "Momento actual de la Física". Discurso inaugural del Curso 1921-22. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Madrid. 1921.
5. DOU, Alberto. (Editor). "Ciencia y Anticiencia". Ed. Mensajero. Bilbao 1978.
6. DURAN, Armando, "De la Biología a la Física". Discurso en su recepción en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Madrid, 1975.
7. EDDINGTON, Sir Arthur. "La Filosofía de la Ciencia Física". Editorial Sudamericana. Buenos Aires, 1946.
8. EDDINGTON, Sir Arthur. "L'Universo in Espansione". Nicola Zanichelli. Bologna. 1934.
9. EINSTEIN, Albert; INFELD, Leopold, "Die Evolution der Physik" Rowohlt. Hamburg, 1956.
10. ELIOT, T.S. "Notas para la definición de la cultura". EMECE. Buenos Aires. 1949.
11. GALINDO, Alberto, "Agujeros negros: dinámica clásica, muerte cuántica". Conmemoración del Centenario de Einstein. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Madrid, 1979.
12. HEISENBERG, Werner, "Das Naturbild der heutigen Physik". Rowohlt Hamburg. 1957.
13. HEISENBERG, Werner. "Diálogos sobre la Física Atómica". B.A.C.
14. HEISENBERG, Werner. "Die Einheit des naturwissenschaftlichen Weltbildes". Johann Ambrosius Barth. Leipzig, 1942.

15. HEISENBERG, Werner. "Die Physik der Atomkerne". Friedr. Vieweg Braunschweig. 1949.
16. HEISENBERG, Werner. "Encuentros y conversaciones con Einstein y otros ensayos". Alianza Editorial. Madrid. 1979.
17. HEISENBERG, Werner. "Los nuevos fundamentos de la ciencia física". Editorial Norte y Sur. Madrid. 1962.
18. HEISENBERG, Werner. "Problemas filosóficos de la física de las partículas elementales". Real Academia de ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 1969.
19. HUYGHENS, Christian. Abhandlung über das Licht (1678). Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften n^o 20 Dritte Auflage. Wilhelm Engelmann. Leipzig. 1913.
20. JACOB, Francois. "La logique du vivant". Gallimard. 1970.
21. JORDAN, Pascual. "Anschauliche Quantentheorie". Julius Springer Berlin. 1936.
22. JORDAN, Pascual. "Die Physik des 20. Jahrhunderts". Friedr. Vieweg Braunschweig.
23. MAGIE, William Francis. "A source book in physics". McGraw-Hill New York, 1935.
24. MARCH, Artur. "Das neue Denken der modernen Physik". Rowohlt. Hamburg. 1957.
25. MONOD, Jacques. "Le hasard et la nécessité". Editions du Seuil. Paris 1970.
26. MUNICIO, Angel Martín. "Ciencia y Aristobiología" Discurso inaugural del curso 1980-81. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Madrid. 1980.
27. NEWTON, Sir Isaac. "Optics: or a treatise of the Reflections, Refractions, Inflections and Colours of Light". Fourth edition. William Innys. West-End of St. Paul's. 1730.
28. ORTEGA Y GASSET, Jose. "Bronca en la Física". Obras completas. Tomo V.
29. ORTEGA Y GASSET, José. "Vicisitudes de las Ciencias". Obras completas. Tomo II.
30. PALACIOS, Julio. "De la Física a la Biología". Publicaciones Insula. Madrid. 1947.
31. PLANCK, Max. "La conoscenza del mondo fisico". Einaudi. 1943.
32. POINCARÉ, Henry. "El valor de la Ciencia" Colección Austral. Espasa Calpe. Madrid. 1963.
33. POINCARÉ, Henry. "Ciencia y Método" Colección Austral. Espasa-Calpe. Madrid. 1962.
34. PRIGOGINE et STENGERS. "La Nouvelle Alliance". Gallimard. 1979
35. RAFAEL, Enrique de. "Momento Actual de la Física". Discurso inaugural del Curso 1952-53. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Madrid. 1952.

36. RUSSELL, Bertrand. "El impacto de la ciencia en la Sociedad". Aguilar. Madrid. 1952.
37. SANCHEZ DEL RIO, Carlos. "Sobre el concepto de energía". Discurso inaugural del curso 1979-80. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Madrid. 1979.
38. SCHILPP Paul Arthur. Editor. "Albert Einstein als Philosoph und Naturforcher". W. Kohlhammer Verlag. Stuttgart. 1955.
39. SCHRÖDINGER, Erwin. "Ciencia y Humanismo". Editorial Alhambra. Madrid. 1954.
40. SCHRÖDINGER, Erwin. "Die Natur und die Griechen". Rowomlt. Hamburg. 1956.
41. SCHRÖDINGER, Erwin. "What is life". Cambridge University Press. 1944.
42. SZILASI, Wilhelm. "¿Qué es la Ciencia?". Fondo de Cultura Económica. México-Buenos Aires. 1949.
43. WARRAIN, Francis. "Essai sur L'Harmonicis Mundi ou musique du monde de Johann Kepler". Tome I. Fondements mathématiques de l'harmonie. Tome II L'harmonie planétaire. Hermann. Paris. 1942.
44. WEINBERG, Steven. "Los tres primeros minutos del Universo". Alianza Editorial. Madrid. 1980.
45. von WEIZSÄCKER, Carl Friedrich. "El problema de una ética del mundo actual". UNIVERSITAS Vol. XIX, num. 2, pag. 65. 1981.
46. von WEIZSÄCKER, Carl Friedrich. "Historia de la Naturaleza". Rialp. Madrid. 1962.
47. von WEIZSÄCKER, Carl Friedrich. "La imagen física del mundo". Traducción de Zum Weltbild der Physik. B.A.C. Madrid. 1974.
48. von WEIZSÄCKER, Carl Friedrich. "La importancia de la Ciencia". Editorial Labor. Barcelona. 1972.
49. von WEIZSÄCKER, Carl Friedrich. "Zum Weltbild der Physik". 7^e Auflage. S. Hirzel Verlag. Stuttgart. 1957.
50. WHITEHEAD, Alfred North. "Aventuras de las ideas". Compañía General Fabril Editora. Buenos Aires. 1961.
51. WHITEHEAD, Alfred North. "Proceso y Realidad". Editorial Losada. Buenos Aires. 1956.
52. WHITEHEAD, Alfred North. "Science and the Modern World" The free Press. Macmillan. 1967.
53. ZUBIRI, Xavier. "Naturaleza, Historia, Dios. Madrid. 1944.