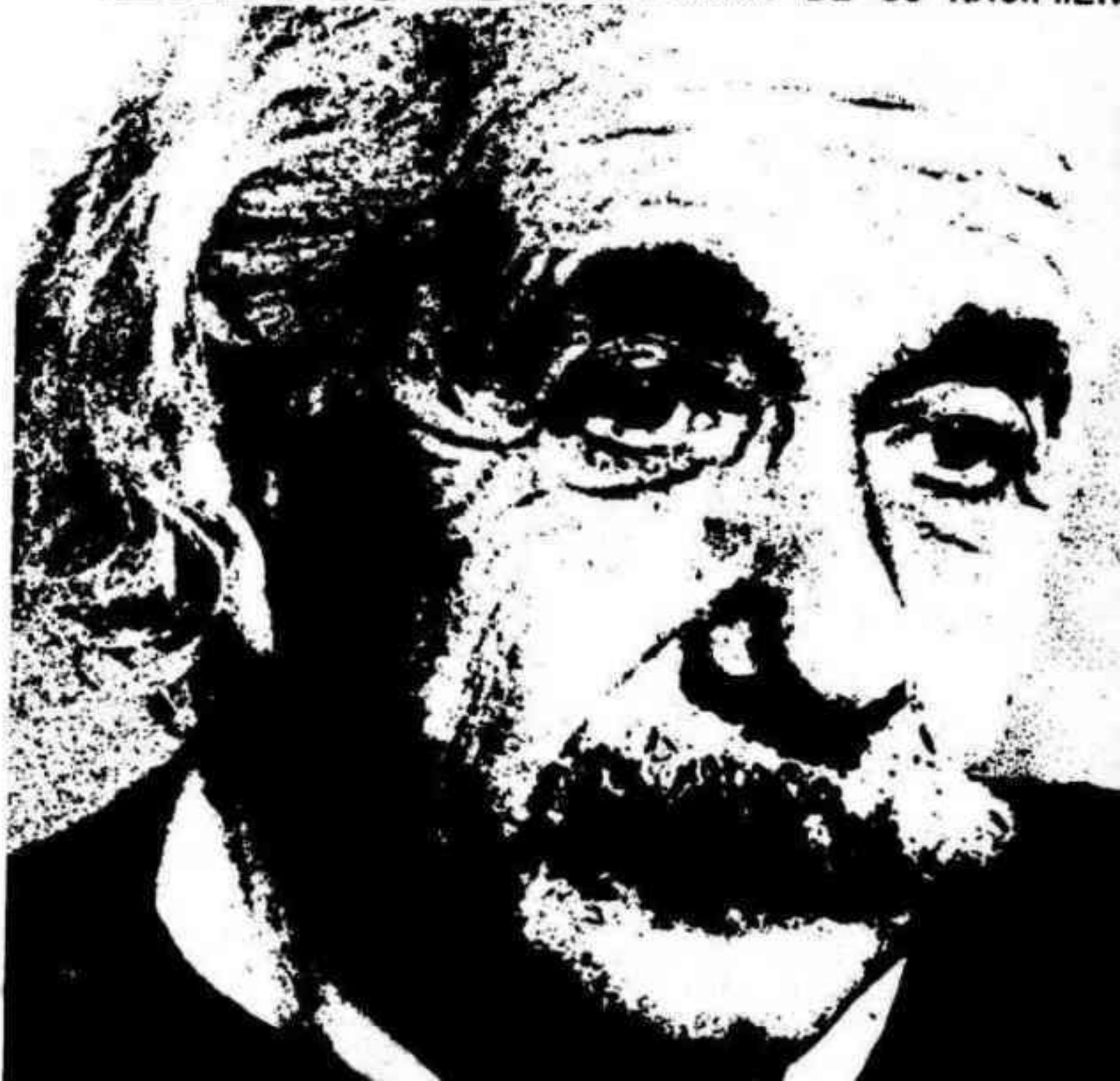


REVISTA ASTRONOMICA



Einstein

CENTENARIO DE SU NACIMIENTO



№ 209/10

ABRIL -
SEPTIEMBRE



Einstein CELEBRANDO SU NACIMIENTO



Nuestra Portada

Albert Einstein en una imagen que revela la bondad y sabiduría. Reproducida bajo autorización del "Centro Editor de América Latina".

Reproducción: Ferro

REVISTA ASTRONOMICA



Fundador: CARLOS CARDALDA

Organo de la Asociación Argentina
Amigos de la Astronomía

SUMARIO

EDITORIAL

Einstein 4

HOMENAJE A ALBERT EINSTEIN EN EL CENTENARIO DE SU NACIMIENTO

por le Dr. Fernando P. Huberman 6

ALBERT EINSTEIN

por el Ing. José Babini 9

INFLUENCIA DE EINSTEIN EN EL CAMPO MATEMATICO

por el Dr. Luis Santaló 22

EINSTEIN Y SU TEORIA DE LA RELATIVIDAD

por el profesor Dr. Desiderio Papp 41

ALBERT EINSTEIN, EL GENIO

por el Ing. Daniel Anselmo Garcia 51

LA CREACION DEL UNIVERSO

por Wasley S. Krogdahl 59

BIBLIOGRAFIA COMENTADA LA FISICA AVENTURA DEL PENSAMIENTO

por Alejandro Di Baja 65

NOTICIAS DE LA ASOCIACION

69

Comisión Directiva

PRESIDENTE

Dr. Fernando P. Huberman

VICE-PRESIDENTE

Ing. Cristián Rusquellas

SECRETARIO

Prof. Luciano Ayala

PRO-SECRETARIO

Sr. Juan Alberto Morteo

TESORERO

Sr. Federico Friedheim
Bustillo

PRO-TESORERO

Sr. Guillermo E. Lucke

VOCALES TITULARES

Sr. Carlos Antonioli
Sr. Alejandro Di Baja
Dr. Fernando Larumbe
Dr. Angel Papetti
Sr. José María Requeijo
Ing. Benjamín Trajtenberg

VOCALES SUPLENTE

Sr. Jorge Luis Ferro
Sr. Adolfo Steinberg
Sr. Mario Vattuone

COMISION REVISORA DE CUENTAS

Esc. César R. del Río
Cont. Jorge Fiel
Sr. Carlos E. Gondell

REVISTA ASTRONOMICA Nos. 209-210

CORREO
ARGENTINO
SUC. 8 (B)

FRANQUEO PAGADO

Concesión N°. 3467

Tarifa Reducida

Concesión N°. 8945

ABRIL - SEPTIEMBRE DE 1979

TOMO LI

AG ISSN 0044 - 9253

REGISTRO NACIONAL DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL N°1197081

La Dirección de la Revista, no se responsabiliza por las opiniones vertidas por los autores de los artículos publicados o por los datos contenidos en ellos.

DISTRIBUCION GRATUITA A LOS SEÑORES ASOCIADOS

Patricias Argentinas 550 (1405) Bs.As - T.E. 88-5506

DIRECTOR: Sr. José M. de Feliú

SECRETARIOS: Sr. Carlos Rúa y Sr. Eduardo De Tomasso

SECRETARIA ADMINISTRATIVA: Sra. Carmen B. de Castellanos

REDACTORES: Sr. Alejandro Di Baja (h) - Sr. Carlos Gondell
Dr. Angel Papetti y Sr. Carlos Rúa.

TRADUCTORES: Sr. Alejandro Di Baja (h) - Dr. Angel Papetti y Sr. Mario Vattuone.

ASESOR ARTISTICO: Sr. Jorge Luis Ferro.

DIAGRAMACION: Sr. Alejandro Di Baja (h)

CORRECCION: Sr. José M. de Feliú.

CANJE: Encargada: Sra. Dorá Martínez

FINANZAS Y PUBLICIDAD: Sr. Federico Friedheim Bustillo

Editorial

Einstein



Con motivo del centenario del nacimiento de Albert Einstein, el 14 de marzo de 1879, la Asociación Argentina Amigos de la Astronomía adhirió a la recordación con la organización de una conferencia que estuvo a cargo del ingeniero don José Babini, destacado científico y prestigioso historiador de la ciencia, pronunciada el 21 de abril pasado, y cuyo texto se publica en este número.

La Revista, órgano oficial de la Asociación, no ha querido quedar ausente de rememoración tan significativa, a fuer de repetir el homenaje entre dos organismos afines y dependiente el uno del otro. Por eso este Editorial destinado a tan sentida evocación.

No vamos a referirnos aquí a la personalidad y obra científica de tan preclaro físico-matemático. Después de todo lo que tan acertada y justicieramente se ha dicho de él en ese terreno en todo tipo de órganos periodísticos, academias, instituciones, etc. nuestra conferencia sería redundante y, probablemente, menos justa y cabal. Pero fue tan variada e importante su personalidad que hay otros ámbitos, tan elogiosos para él como el científico, y a estos vamos a referirnos en breve espacio.

Albert Einstein fue singular e indiscutido humanitario, en el exacto sentido del término y, como consecuencia lógica, un sincero pacifista -y eso en la época trágica que le tocó vivir-, signada por dos espantosas guerras mundiales. Sobre la segunda merecen recordarse dos episodios significativos: una carta y una manifestación de arrepentimiento por haberla escrito. El arrepentimiento se originó en que atribuyó en aquella una intención que no tuvo: la de aconsejar a un gobernante abreviar la guerra mediante el desarrollo de un arma atómica. Nadie podría negar ahora cuál fue la real intención que guió su pluma... ¿Habría tenido consecuencias menos espantosas que hubiera sido el enemigo el que hubiera llegado primero a fabricarla y emplearla? En cuanto al arrepentimiento por haberla escrito y enviado, nació solamente de un error de interpretación -estamos seguros- y con la sola intención de achacarse una culpa que no tuvo. Su pacifismo tan extremado nació de su humanitarismo también extremo.

Según escritos y referencias de quienes lo conocieron y trataron puede trazarse un retrato moral del insigne genio que se nos ocurre ajustado a la realidad con breves sentencias: Fue un hombre que nació judío y no adhirió ni practicó religión alguna; su panteísmo se redujo al conocimiento de Dios y el Hombre; concibió a Dios como una creación de la mente humana y mantuvo al Hombre en la excelsitud de una creación de Dios.

Glosando una sentencia de Virgilio, oída al pasar y repetida ahora de memoria -por lo que la referencia podría no ser del todo fiel-, diremos que: mientras los ríos corran incesantes, las montañas hagan su sombra en el suelo y las estrellas brillen en el cielo, deberemos estar agradecidos a quienes nos legaron enseñanzas y ejemplos.

Sin duda, el nacimiento de Albert Einstein, aquel 14 de marzo, fue uno de los "momentos estelares de la Humanidad" que Stefan Zweig no tuvo ocasión de incluir en su interesante libro, sólo por razones de oportunidad...

EL DIRECTOR

Homenaje a Albert Einstein en el centenario de su nacimiento

palabras iniciales por el Dr. Fernando P. Huberman

Palabras pronunciadas por nuestro presidente, Fernando P. Huberman en el acto central en homenaje al gran sabio que se llevó a cabo en nuestra sede social el día 21 de abril de 1979.

Este es nuestro primer acto del año 1979. Se trata de un año particularmente significativo para nosotros porque el 4 de enero de 1929, es decir, hace 50 años, un grupo de entusiastas aficionados a la astronomía encabezados por don Carlos Cardalba dió vida a esta Asociación y fué precisamente hace 50 años en este mismo mes de abril que se publicó el primer número de Revista Astronómica la cual se ha publicado, con los altibajos que la situación económica nos ha planteado, ininterrumpidamente, durante 50 años.

Rendimos hoy homenaje a Albert Einstein quien en el sentido en que nosotros definimos la profesión no fué un astrónomo pero que su influencia en el entendimiento que tenemos del Cosmos es comparable a la de Isaac Newton quien bajo los mismos estándares tampoco fué un astrónomo.

Dijo Einstein una vez "tengo muy poca paciencia para ocuparme de aquellos científicos que toman un trozo de madera, buscan el lado de menor espesor y taladran un montón de agujeros precisamente donde hacer agujeros es fácil"; la característica del trabajo científico de Einstein fué precisamente taladrar donde la madera era más dura.

Al hacer su ingreso en nuevos territorios científicos Albert Einstein se vió en la necesidad de tener que abandonar la seguridad que le daba la doctrina científica establecida en aquel entonces, más aún, tuvo que cambiar la estructura básica del pensamiento científico. Esto es mucho más de lo que la mayoría de los científicos están preparados para hacer. Esta es una forma de describir a Albert Einstein pero solamente una, porque detrás de ese talento científico se esconde un ser humano, un gran ser humano, en muchas formas un individuo peculiar, con las debilidades de todos los seres un temperamento muy especial y sobre todo el don particular de su simpatía. Por eso la vida

de Einstein tiene una cualidad dramática que no descansa exclusivamente en la teoría de la relatividad. Está entremezclada en compleja e intrincada relación con una serie de acontecimientos históricos cruciales de su tiempo: la primera guerra mundial, el surgimiento del nazismo en su Alemania nativa, la segunda guerra mundial, el desarrollo y el uso de la bomba atómica, el sionismo que dió origen a una nueva nación. Dentro de este marco extraordinariamente complejo de actividad científica y social está la figura de este genio científico que dió al mundo las teorías General y Especial de la Relatividad, que cambiaron la percepción que el hombre tenía del Universo y de sí mismo.

Este año, en el centenario de su nacimiento Gobiernos, Instituciones, Universidades, el periodismo de todo nivel a través del mundo, están celebrando el acontecimiento. Se han emitido estampillas postales conmemorativas. Se han realizado actos en todas partes del mundo. En el próximo mes de noviembre será lanzado al espacio el observatorio astronómico orbital Albert Einstein. Pero quizás el homenaje más importante a su figura es uno que no fué planificado. Se trata del renacimiento de sus teorías científicas. John Wheeler físico de la Universidad de Texas y premio Nóbel de Física, lo explica en la siguiente forma: "Durante su primer medio siglo de vida, la teoría general era un paraíso para los teóricos, pero un infierno para los experimentalistas. No existía teoría más difícil de probar, la física se movió hacia otros conceptos, particularmente estructura atómica que podían ser verificados con mayor facilidad. La grandeza de las teorías de Einstein reside en que son cada vez más relevantes, apesar de los tremendos avances que ocurrieron desde su muerte". Estas pruebas de las que nos habla Wheeler provienen de todos los campos de la ciencia. Sería muy largo hablar del significado que la relatividad tiene en la física nuclear moderna, por ejemplo, ó la importancia que la relatividad tiene en los viajes espaciales que se están realizando en estos años. Pero un cúmulo tremendo de información relativística proviene de la Astronomía. En los últimos años, desde el comienzo de la década del 60, los astrónomos nos han presentado un universo enteramente nuevo, con la ayuda de una tecnología que en los tiempos de Einstein era simplemente una utopía.

Tenemos ahora poderosas radio antenas capaces de ver fuentes de energía completamente desconocidas para la astronomía clásica. Tenemos selectores de frecuencia que tienen un poder de resolución que no se soñaba años atrás. Tenemos satélites artificiales que nos permiten escrutar el espacio más allá de los perturbantes efectos de la atmósfera terrestre. Tenemos relojes atómicos que miden tiempos con precisiones increíbles, que atrasan o adelantan no más de un millonésimo de segundo al mes.

Todos hemos oído hablar del nuevo universo que se nos ha presentado gracias a ésa tecnología. Los cuasars, por ejemplo, fuentes de las que se originan inmensas cantidades de energía. Los pulsar ó estrellas neutrónicas, que son los cadáveres de estrellas masivas con densidades que sobrepasan la imaginación humana, Estrellas gigantes con vo

lúmenes que también sobrepasan nuestra imaginación. Los agujeros negros con campos gravitatorios de tal magnitud que la luz no puede escapar de ellos. Para entender estos fenómenos los científicos deben recurrir invariablemente a la pieza maestra de Einstein: Su Teoría General de la Relatividad, la teoría que formuló en el año 1916 y que da una explicación completa pero matemáticamente brillante y elegante de la fuerza más débil y más enigmática que tiene la naturaleza: la fuerza de la gravedad. Como consecuencia, la teoría general disfruta hoy su gloria mayor y Einstein, un genio en su propio tiempo, sigue siendo una fuerza intelectual poderosa para nuestra generación. Y la autoridad con que la teoría ha permitido descubrir este nuevo universo nos permite predecir que lo seguirá siendo para generaciones futuras.

Porque la concepción de este universo está basada en la obra de su genio, es que la Asociación Argentina Amigos de la Astronomía se adhiere a la fiebre Einsteniana de 1979 y le rinde este modesto homenaje. Para hacerlo la Asociación Argentina Amigos de la Astronomía tiene el honor y el privilegio de contar con una de las figuras más destacadas de la cultura nacional. Me refiero al Ingeniero José Babini. El Ingeniero Babini que inició su carrera como matemático pronto se dedicó a la filosofía e historia de la ciencia y la inclinación a esas áreas lo transformaron en un escritor, un excelente escritor argentino, caracterizado por un estilo conciso, y una hermosa calidad interpretativa. Los artículos, trabajos y ensayos publicados por Babini son difíciles de enumerar. El último "Aristóteles y los Animales" lo ví publicado el día de anteayer en la sección del diario Clarín titulada, Nación y Cultura. Entre sus libros debo mencionar la "Historia sucinta de la Ciencia", la "Historia de la Ciencia Argentina", la "Biografía de los infinitamente pequeños", "Arquímedes", "La evolución del pensamiento científico en la Argentina". En colaboración con Rey Pastor escribió "Historia de las matemáticas" y en colaboración con Aldo Mieli y Desiderio Papp escribió ese magnífico tratado en 12 volúmenes que publicó Espasa-Calpe titulado "Panorama General de la historia de la Ciencia". Fué decano de la Facultad de Química de la Universidad del Litoral y en 1955 de acuerdo con los cambios políticos de aquel año fué nombrado Decano de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. Se desempeñó en ése cargo hasta la normalización académica que tuvo lugar en 1958. Allí tuve el honor y el placer de conocerlo. Posteriormente fué Director Nacional de Cultura. Miembro de numerosas Instituciones, es un asiduo colaborador de ésta Asociación, donde en reiteradas oportunidades ofreció su siempre excelentes conferencias. Con el profundo placer que significa presentar una persona por la que se siente un afecto muy especial, tengo el honor de ceder la tribuna de ésta Asociación al Ingeniero José Babini.

Albert Einstein

por el Ing. Jose Babini

Conferencia dictada en nuestra Asociación el 21 de Abril de 1979, durante el acto de homenaje al sabio con motivo del centenario de su nacimiento.

La presente versión, suministrada por la S.C. de Cursos y Conferencias, fué corregida por el autor.

Esta simpática Institución ha tenido siempre para Albert Einstein una consideración, una estima y una veneración especial. Ya, cuando hace casi un cuarto de siglo, falleció Einstein, la Institución organizó un par de conferencias a cargo de dos físicos argentinos, Collo y Loedel Palumbo y la Revista publicó un interesante trabajo del astrónomo y físico argentino Gaviola, donde se hacían conocer detalles de la vida y obra de Einstein.

Yo no puedo traer acá datos como los que trajeron esos hombres, porque no soy físico, pero sí puedo traer los recuerdos de una época en que la figura de Einstein ya empezaba a convertirse en una especie de símbolo, sobre todo, por los trabajos de Rey Pastor, mi maestro, que conocía muy bien la Teoría de la Relatividad y la difundió extraordinariamente bien en conferencias y en actos, en alguno de los cuales yo tuve cierta participación. En esa época, yo seguía como aficionado, en parte por mi profesión de profesor de matemática, la vida y los trabajos, sobre todo la Relatividad restringida, de Einstein, pero no tuve el placer de conocerlo porque cuando Einstein estuvo en Buenos Aires, que fue en el año 1925, yo estaba haciendo mis primeras armas como profesor de matemática en la Universidad del Litoral, casi a 500 km. de Buenos Aires, y si bien se pensó al principio que Einstein recorrería o visitaría las Universidades nacionales, no fue así, porque solamente visitó Buenos Aires, La Plata y Córdoba. Con todo, traté de seguir la trayectoria general de la vida de Einstein, y recuerdo que me interesó una encuesta que una revista científica europea había iniciado entre científicos, acerca de la obra de Einstein, y recuerdo también como dato más bien curioso, que la primera respuesta fue de un físico francés, físico de laboratorio, que lanzó una diatriba en contra de la Teoría de la Relatividad de Einstein,

dando la razón previa, es decir la condición previa, "prealable" como decía él en el título de la contestación, de que nuestra organización cerebral no permitía llegar a incluir la teoría de Einstein.

Por suerte no todas las contestaciones fueron de tan peregrina conclusión, y entre las respuestas o los artículos sobre Einstein que esa revista publicó, apareció un artículo que me interesó especialmente y que era de un matemático alemán, que se refería a las analogías que encontraba entre el pensamiento de Einstein y el de Spinoza, el célebre filósofo holandés del siglo XVII. En ese artículo trataba de demostrar que tanto Spinoza como Einstein iban tras una armonía universal, que el hombre trataba de penetrar mediante la ciencia más afín con esa armonía, que es la matemática. Y así como Einstein había fundado el Universo sobre una sólida estructura matemática era el único camino, el único posible criterio de verdad, que permitiría dar cuenta de aquella armonía universal y sobre la base de esa construcción Spinoza se había lanzado a una aventura bastante audaz, de confeccionar sus Principios de Filosofía y su Ética sobre la base eucladiana, es decir siguiendo el mismo proceso metodológico que había seguido Euclides en su geometría, es decir, sobre la base de definiciones, axiomas y teoremas; y al mismo tiempo reconocía Spinoza que no podía hablarse dentro de esta armonía universal de un Dios creador, sino de un Dios que encarnaría los elementos funcionales del Universo, así como las propiedades geométricas encarnan la esencia de la figura geométrica; y por tanto, que había un profundo fondo matemático tanto en la teoría de Einstein como en estas concepciones, vuelvo a decir audaces, de Spinoza.

En realidad la analogía entre Einstein y Spinoza puede llevarse a otros campos. En el campo de la conducta humana tanto Einstein como Spinoza fueron intelectuales puros en el sentido que defendieron la función de la inteligencia, me refiero a un libro que en esa época tuvo bastante resonancia. "La trahisora de las claves", es decir "la traición de los intelectuales" del pensador francés Benda, que decía que la inteligencia es una especie de fiscal de la acción humana, es quien juzga la acción humana y por lo tanto las acciones humanas deben ser siempre nobles y justas para que la inteligencia pueda aprobarlas y es en este sentido que Einstein y Spinoza fueron intelectuales pues corrieron riesgos hasta con peligro de sus vidas; ambos fueron amenazados, fueron perseguidos, tuvieron que luchar, sobre todo Einstein, contra las fuerzas del poder y contra las asechanzas del medio, pero siguieron manteniendo su línea de conducta en defensa de las ideas nobles y justas, es decir, manteniendo su función de intelectual. También Einstein y Spinoza fueron solitarios, otra condición que en general caracteriza al intelectual. Quizá convenga traer al recuerdo otra figura de gran solitario que también puede considerarse intelectual: Leonardo. En las escasísimas noticias que Leonardo da de sus propios pensamientos, una de ellas está en los

consejos que da a los pintores, donde emite esta estremecedora opinión: "Cuando eres solo, eres todo tuyo, aun con un solo amigo, eres la mitad tuyo", es decir, una manera excelsa de pregonar la soledad.

Si bien a Einstein la soledad no lo llevó como a otros solitarios a desprenderse de lazos familiares, las trabas de familia no lo llevaron a olvidar que su función era la de buscar esa armonía universal que trató de lograr a través de la matemática, a través de la física, a través de la música, pero manteniendo cierta convivencia humana siempre que no lo trabara en esas funciones de la búsqueda de sus ideales en el sentido trascendente. Voy a transcribir una frase de él, respecto de su situación frente a los demás, frente a la convivencia. "Mis propias circunstancias exteriores han desempeñado un papel inferior en mis pensamientos y en mis sentimientos. Mi apasionado interés por la justicia social y por la responsabilidad social, se ha opuesto siempre de modo extraño a mi marcada ineptitud para toda asociación directa con los hombres y las mujeres. Soy caballo de arnés individual, no apto para ir en yunta o acoplado. Jamás he pertenecido en realidad a ningún país, a ningún estado, ni a mis amigos y hasta a mi propia familia. Esos vínculos fueron siempre acompañados por un vago sentimiento de separación y por un deseo de retirarme a mí mismo, deseo que ha crecido con los años. Es indudable que esta separación a veces es amarga pero no lamento haberme desligado de la comprensión o de la simpatía de los demás; pierdo algo, pero en cambio me libero de las costumbres, de las opiniones y de los prejuicios de los demás, pues de ningún modo pienso fundar mi serenidad de espíritu sobre bases tan vacilantes". Aquí se ha notado una contradicción aparente entre un Einstein, con la conciencia social siempre vigilante, y su repugnancia a ponerse en contacto con los demás; su modo de actuar de constante luchador en favor de la fraternidad humana y de la igualdad social, con su carácter de esplendido solitario, enemigo de toda norma social convencional. Es que en realidad no había tal contradicción; Einstein era enemigo de las convenciones, de las cosas pequeñas, de aquellas cosas que atan y obligan, a veces en forma tan inhumana, pero siempre pensando en las grandes ideas y en las grandes obras. Einstein sabía que "la preocupación por el hombre y por su destino ha de ser siempre el interés principal de los esfuerzos técnicos", (habló de los esfuerzos técnicos porque lo hacía en una conferencia sobre ese tema), pero indica cómo el hombre tiene que ayudar a los demás, y agrega una frase muy interesante: "sólo una vida vivida para los demás vale la pena de ser vivida". Y otra vez recuerdo a Leonardo, uno de cuyos aforismos, muy breves; "Una vida bien lograda, es duradera" es decir continúa, su valor es permanente una vida bien vivida vale la pena ser vivida, es lo que dice Einstein. Pero claro, acá se refería a los esfuerzos técnicos y ese destino o esa vida no aludía a las cosas pequeñas, no se refería a las banales preocupaciones por las apariencias exteriores. Ustedes recuerdan que muchas veces se había sonreído, criticando, satirizado a ese Einstein que daba clase con los pantalones caí

dos o con un pullover viejo, o se habría sonreído con suficiencia cuando él explicaba por qué no usaba calcetines: "he llegado a comprender que no hacen falta -decía-; en cambio se rompen enseguida y mi mujer se pasa la vida zurciéndolos". Hay en todo esto una ironía pero al mismo tiempo un acto de bondad, él quiere al mismo tiempo criticar una cosa que le parece inútil y hacer algo que beneficia a los demás.

Gaviola, en un artículo que publicó en "Ciencia e Investigación" cuenta una anécdota que vamos a referir, porque también pone en evidencia este sentido bondadoso y al mismo tiempo irónico que había en Einstein. Cuenta Gaviola que en Berlín Einstein iba iniciar el dictado de un curso sobre Relatividad. Ese curso era para estudiantes avanzados y previamente entrenados, pero el primer día del curso apareció frente a la Universidad una desacostumbrada cola de automóviles y en el aula un público también desacostumbrado de damas elegantes, de diplomáticos, algunos de uniforme, y de figuras exóticas, amén de los estudiantes obligados a ocupar las últimas filas y permanecer de pie. Cuando Einstein entró y advirtió ese público, inició su disertación atacando de lleno el cálculo tensorial, que es un campo de la matemática bastante avanzado que se utiliza en la Teoría de la Relatividad, y empezó a escribir en la pizarra las fórmulas, que son fórmulas larguísimas con índices, subíndices, exponentes, índices a la derecha e índices a la izquierda, una cosa horrible que solamente los entendidos pueden comprender y saber cuál es la finalidad; claro que lo que ocurrió fue que muy pronto el aburrimiento se apoderara de aquel público, parte del cual fué desfilando silenciosamente hacia la puerta, antes de que la clase terminara; y cuando a la clase siguiente Einstein entró, por supuesto el público no era sino de estudiantes, entonces con la mirada al grupo de estudiantes y con su suntuosa habitual dijo, "Bueno, ahora podemos comenzar por el principio".

La analogía entre Einstein y Spinoza puede extenderse también a las ideas de la religión, de Dios y del hombre mismo.

El Dios de Einstein, lo mismo que el de Spinoza, es un Dios que no tiene nada de antropomórfico, es decir que no tiene nada de los hombres. Ese Dios hace recordar una frase muy vieja de uno de los primeros filósofos griegos, Jenófanes, que decía "Hay un sólo Dios supremo entre los dioses y los hombres, que no se asemeja a los mortales, ni por el cuerpo ni por el pensamiento", e irónicamente agregaba: "Si los bueyes, los caballos y los leones tuvieran manos y supiesen dibujar como los hombres: los caballos, dibujarían figuras de dioses semejantes a los caballos y los bueyes, semejantes a los bueyes". Cosa que el mismo Spinoza repetía cuando dice que "Si un triángulo pudiera hablar diría que Dios ha sido o es eminentemente triangular". Y es ese Dios, que no se asemeja a los mortales, el Dios de Einstein. Cuando Einstein va a Estados Unidos en barco recibe un lacónico telegrama del "rabino de Nueva York". "¿Cree usted en Dios?" y Einstein responde: "Creo en el Dios de Spinoza, que se reve

la en la armonía de todos los seres, y no en un Dios que se ocupa del destino y de las acciones de los hombres". Esta negación de un Dios antropomórfico vinculado o igual a los mortales, se refleja también en estudio que Einstein dedicó a la religión. Admite una gradación en las religiones; hay un par de religiones inferiores que son las que llama la religión terror, probablemente pensaba en los primitivos, y la religión superior, que llama religión cósmica, que es una religión que según algunos filósofos no está lejos de la metafísica de Spinoza, en la cual la idea de Dios está enmarcada en la realidad universal, que abarca lo material y lo espiritual; esa realidad es la que la razón descubre a través de la armonía del Universo y que sugiere la presencia de un saber y de un poder trascendentes. Tal idea de Dios solo puede transmitirse de hombre a hombre, a través del reconocimiento de esa armonía universal revelada por la ciencia, por el arte y por la moral, que se convierte así en forma de comunión humana, en el conocer, en el sentir, y en el actuar. Cuando en 1932, Einstein se va a referir a Spinoza porque se cumple el tercer centenario del nacimiento del filósofo, dirá que en realidad, estas concepciones ya estaban en Spinoza, y que Spinoza había sido el primero en señalar la necesidad de extender ese determinismo de los dominios del pensamiento a los dominios de los sentimientos y de las acciones humanas, es decir, va a incluir al hombre en esa realidad universal que se había reflejado en la religión cósmica. Agrega, que este alcance del concepto espinoziano no había sido comprendido debido a que esa comprensión exigía una humildad y una pureza de alma muy notable y estampaba esa frase, que revela lo que pensaba en ese momento Einstein del hombre y de su posible función en el mundo, (recordemos que estamos entre las dos guerras): "El perfeccionamiento de las relaciones causales del comportamiento humano conducirá nuestras acciones a un elevado plano de conducta, que no estará sujeto a las reacciones irracionales de la emoción ciega; nuestro comportamiento será motivado teniendo presente que los seres humanos en sus pensamientos, en sus sentimientos, y en sus acciones no son libres, sino que están sometidos a las leyes inexorables de causa y efecto, como lo están los astros en su marcha". Esta fé en un determinismo tan absoluto válido para las leyes cósmicas como para la conducta humana, era evidente fruto de un científico que en esos momentos había logrado grandes triunfos en el mundo extrahumano, (en la física), que pensaba que podía extender esas posibilidades de triunfo también al mundo de los hombres. Pero en este científico, Einstein, pronto incidirían los sucesos humanos que adquirirían poco a poco en su propia vida una importancia igual que la de los mismos problemas cósmicos. Ve sufrir ese cambio se convirtió en cierto modo en un símbolo de aquella época, aún podemos decir de hoy, entre la confiada esperanza después de la primera postguerra, a la desesperada realidad de la segunda postguerra, que lo obligó a desprenderse de aquel determinismo absoluto, reconociendo que el mundo de los hombres y el mundo de las cosas son esencialmente distintos, que la armoniosa realidad del mundo de las cosas se conver-

tía, en el mundo de los hombres, en una realidad caótica, y que la marcha de los hombres, no es como la marcha de los astros. Por eso en la segunda parte de su vida Einstein, ha sufrido tremendas decepciones. La primera decepción se refiere a su pacifismo. Einstein fue un pacifista de convicciones fundadas no sobre silogismos sino surgidas de profundas vivencias instintivas; fue un hombre que odiaba la guerra por considerarla como un mecanismo descompuesto que atentaba contra la armonía universal. Einstein fue un hombre que tenía de la paz un sentido profundo, no como supresión de la guerra, sino como "una virtud que nace de la fuerza del alma", según frase de Spinoza. Sin embargo Einstein tuvo que llegar a aceptar una idea tan ajena a sus convicciones profundas como es la idea de una guerra justa, y tuvo que pasar de la práctica de un pacifista extraordinariamente activo a la de un combatiente también activo a la de un combatiente también activo reconociendo, como él dice, que "el combate se hace necesario cuando es indispensable para salvaguardar el derecho y la dignidad humana". Einstein, que había luchado permanentemente contra los armamentos y toda tendencia bélica, fue el hombre que al enviar la célebre carta al presidente Roosevelt, en la que se insinuaba que una bomba podía destruir un puerto y las localidades circundantes, oprimió el botón que destruyó Hiroshima. Sin eludir la responsabilidad Einstein reconoció que con esa carta no había sido sino un intermediario, que contribuyó sólo indirectamente a la primera liberación de la energía atómica con fines destructivos.

Por lo demás cuando Einstein a mediados de 1945 conoció a través de los ensayos de Alamogordo el poder destructivo de la bomba, él y otros científicos trataron de disuadir al gobierno de que utilizara la bomba, y que se recurriera a una comisión neutral y en un lugar desierto que hiciera conocer a los japoneses el efecto de la bomba; ese parecía algo humanitaria y de sentido común, pero no prevaleció ni el sentido humanitario ni el sentido común. El dice: "en realidad se ha gastado tanto dinero para fabricar la bomba que se quiso demostrar que esos 2.000 millones de dólares no fueron pura pérdida". Para ocultar su profundo dolor racionaliza la cuestión admitiendo que en realidad la liberación de la energía atómica no ha creado nuevos problemas, pero solamente ha afectado cuantitativamente; el mal está en la guerra y no en la bomba que sólo ha modificado la posibilidad destructiva de la guerra. El mal está en la paradójica paz armada, que Einstein a veces ha satirizado viendo como las numerosas conferencias de desarme nunca lograron que ninguna nación se desarmase, y cuenta o inventa la siguiente parábola. "En un pueblo en que menudean los pillos se mantiene la intranquilidad entre la población pacifista. Un magistrado se dispone a buscar solución a tal estado de cosas, pero encuentra que ningún ciudadano se adviene a que se le impida llevar un puñal en su cintura. Después de muchas cavilaciones, la solución es la siguiente: Determinar la longitud y el filo del puñal que cada ciudadano esta

autorizado a usar".

La otra decepción se refiere al carácter internacionalista que había mantenido durante toda su vida; a la desilusión que le ocasionó la Rusia socialista y la Sociedad de las Nacionales debía agregarse la más dura, la que experimentó frente al desarrollo político del sionismo. El pacifista, judío, y democrático Einstein había abrigado la idea de que la fundación del pueblo judío advendría bajo una atmósfera de paz entre los hombres y entre las naciones. Resonaría en su alma las frases bíblicas de Isaías: "te daré la paz por gobierno y la justicia por dueño, jamás se hablará de violencia en tu patria ni devastación y ruina en tus fronteras. Tus muros se llamará, salvación, tus puertas se llamarán gloria". A Einstein le animaría el pensamiento de un sionismo no político, de un sionismo como idea pura fundado en los viejos ideales del pueblo de Israel, en el ideal de paz de ese pueblo cuya religión le impedía verter sangre, y en su tendencia hacia las tareas de la inteligencia, en la esperanza de que ese ideal y esa tendencia se pusieran al servicio de la humanidad. Para Einstein, la finalidad que debían proponerse los dirigentes del sionismo no debía ser política sino social y cultural.

"La comunidad palestina —sostuvo— debe ajustar su vida social a la de nuestros primeros padres, narrada por la Biblia, pero al mismo tiempo debe desarrollar una vida intelectual moderna, y convertirse en el centro espiritual de los judíos del mundo entero". Según Einstein "una concepción de la naturaleza esencial del judaísmo se opone a la idea de un estado judío con fronteras, ejércitos y cierto modo de poder temporal, por modesto que sea". Pero he aquí que en 1918, cuando se crea el Estado Israelí, no sólo se constituyó con algo más que cierto grado de poder temporal, sino que su creación se desarrolló entre luchas armadas con los pueblos vecinos. Así como la hermosa concepción abstracta de la equivalencia entre la masa y la energía había llevado a la bomba atómica, así la concepción bíblica de paz y amor había llevado a la desolación y la muerte. No obstante todo esto el siguió pensando durante un tiempo en cierto internacionalismo y pensó que un estado mundial fundado sobre la ciencia podía ser una solución.

El mundo de los hombres deparó a Einstein otra decepción, quizás la más profunda para él, la que se refería a sus propias ideas, es decir a sus propias teorías científicas. El presidente Dr. Huberman les ha dicho algo sobre cómo actualmente ciertas concepciones de la teoría, no la general sino la unificación de los campos, que era el gran problema que estudió Einstein, está teniendo otra vez cierto renacimiento, pero nosotros nos vamos a referir a la época de la vida de Einstein, es decir lo que ocurrió en los 20 años anteriores a su muerte.

El año 1919 fue el gran año de gloria de Einstein, cuando se comprobó, con las

fotos del eclipse solar que se habían tomado en Africa y en Brasil, la desviación de la trayectoria de la luz en la proximidad del Sol y los ingleses por primera vez después de la guerra se refieren a un sabio alemán y hacen un gran acto en la Sociedad Real junto con la Sociedad Astronómica, donde se da cuenta de estos éxitos revelados por las placas fotográficas, en cierto modo también para **buscar** un acercamiento con los sabios alemanes. El metafísico y matemático Whitehead ha narrado el desarrollo del acto diciendo: "Formábamos el coro que comenta los decretos del destino". A través del ceremonial muy tradicional y teatral, se cernía una atmósfera de drama, con el retrato de Newton (a quien evidentemente las comprobaciones einstenianas quitaban cierta parte de su aureola) como fondo para recordarnos que la máxima generalización de la ciencia, (es decir la teoría newtoniana de la gravitación universal), acababa de recibir el primer impacto después de dos siglos; ningún interés personal estaba en juego, sólo una gran aventura del pensamiento que llegaba a puerto con toda felicidad. La esencia del drama antiguo no reside en la desgracia, sino en el acontecer fatal de las cosas. Esa fatalidad sin piedad es lo que ocurre a través del pensamiento científico, las leyes de la física son los decretos del destino. Es decir, el destino cambia, y las leyes de la física cambian; pero los decretos del destino cuando se refieren al destino einsteniano corrieron una suerte muy curiosa. Por un lado, la Relatividad, teoría muy abstracta, que no tenía porque salir del mundo específico de los físicos, salió a la calle. Yo recuerdo esa época, en que la gente hablaba sin tener a veces la menor idea de lo que estaba diciendo; o confundían las cosas; había leído el comienzo del libro de Einstein donde se hablaba de Galileo y al comprender la relatividad de Galileo creían que comprendían todo; cuando a veces no comprendían nada. Además muchos autores se pasaban hablando sobre utopías, abstracciones, que en definitiva hacían creer que los sabios eran unos idiotas. Eso evidentemente hacía sufrir a Einstein que alguna vez se refirió a "ese homónimo mítico que me hace la vida particularmente dura"; claro, porque hablaban de Einstein como si fuera un mago o un tonto que admitía cosas imposibles. Esa fue una de las aventuras que efectivamente corrió al principio la Teoría de la Relatividad: apareciendo hasta en caricaturas; es decir: salió a la calle una cosa que en realidad tenía que tomarse con sumo cuidado. Creo que fue en esa época o un poco más tarde que surgió la idea del periodismo científico como remedio. La idea llegó a Buenos Aires y algunos de nosotros trató de hacer algo, pero aquí no se hizo nada, y no sé tampoco si se hizo algo en otras partes. Es la idea de un periodismo controlado en cuanto se refiere a cuestiones científicas que no exagera, o que diga cosas que no salieron de la ciencia, sino de la imaginación más o menos calenturienta de alguien que no sabe ciencia.

En el caso de la física se estaban desarrollando entonces, simultáneamente, otras teorías, algunas concordes con la relatividad, es lo que nos dijo Huberman; efectiva

mente la teoría de la relatividad ha sido un gran apoyo para toda la física nuclear, porque precisamente en la física nuclear es donde se pueden presentar aquellas velocidades para la cual la teoría de la relatividad adquiere influencia. Pero el problema evidentemente no estaba ahí, porque algunas de las conclusiones científicas que estaban asomando iban en contra, no de la Teoría de la Relatividad, sino de los fundamentos filosóficos que Einstein profesaba cuando se salía del gabinete científico para ir en el mundo de la armonía universal, de la concepción general del mundo, y es ahí donde el problema se presentó. Porque resultó entonces que los físicos teóricos se iban desentendiendo de la Teoría de la Relatividad porque habían aparecido nuevos campos, que si bien tienen todo el derecho de ser considerados científicos, de derecho que Einstein reconoce, si se los profundiza para buscar las bases metodológicas o epistemológicas, entonces se halla que se encuentran en contradicción con las concepciones que tenía Einstein de su Teoría de la Relatividad cuando salía del puro campo gravitacional o electromagnético, y se pasaba a otros campos.

Habían nacido los cuanta; lo habían hecho unos cinco años antes de la Teoría de la Relatividad, y Einstein, que era un físico teórico, impulsó el desarrollo de la teoría de los cuanta porque, en fin, era un tema nuevo. Como matemático, como físico teórico, el tema le interesaba, y trabajó en él.

Cuando más adelante advierte que la teoría cuántica no se adapta a sus convicciones fundamentales, y se le pregunta por qué se había ocupado de ella, responde: "es cierto, yo he podido darle un impulso, pero siempre he considerado esas ideas como temporarias, nunca creí que otro las tomara más en serio que yo". Es decir, el afán científico ante un tema nuevo, al que no profundiza en un principio, le impulsó a desarrollar una mecánica estadística que lo llevó nada menos que a formular la teoría del fotón, por lo cual le dieron el premio Nobel; y los fotones no son sino los cuanta de luz!

Pero el problema se presentó cuando la teoría de los cuanta, a la cual contribuyó a desarrollar, fue más allá y entonces manifestó estar en contradicción con su propio principio básicos, casi diríamos metafísicos, da contra su fe en la armonía Universal, que impulsó a Einstein a proseguir por el camino abierto por su Teoría General en la búsqueda de la unificación de los campos, búsqueda en la que empeñó su mayor actividad científica, exponiendo teorías que no tuvieron comprobación experimental, y de los cuales muy pocos físicos jóvenes se ocupaban a su muerte.

Einstein expuso hacia 1929 su primera teoría del campo unificado, al reunir en una misma concepción la explicación de los fundamentos de la gravitación con la del electromagnetismo, obedeciendo a una especie de repugnancia por la admisión de dos campos distintos. Dice Einstein: "la idea de que existen dos estructuras en el espacio, independientes entre sí, un espacio gravitacional, y un espacio electromagnéti-

co, es para mí intolerable". Claro, un hombre que creía en la armonía universal no podía aceptar esa distinción entre la macrofísica y la microfísica.

En los escritos que se le dedicaron con motivo de su 70º cumpleaños, y que él mismo comentó, añadía que en sus intentos de unificación abrigaba la esperanza, no la convicción (acota prudentemente) de que tal unificación no sólo abarcara los fenómenos de la gravitación y del electromagnetismo, sino que diera también la clave de una teoría cuántica completa, es decir que también incluyera los fenómenos subatómicos.

Ese era su pensamiento, pues en ese caso habría unidad. Para un físico que lleva anclado en su espíritu la fe en la armonía universal, y en un Dios que se manifiesta a través de esa armonía, y cuyas leyes el hombre puede captar, y aproximarse a ellas mediante el pensamiento, la situación de la física con esos dos campos, macrofísica y microfísica, regidos por leyes distantes y separadas por un abismo que sólo logra salvarse aceptando consideraciones en las que interviene el azar, es decir, de carácter probabilístico o estadístico, era insostenible.

Einstein ha reconocido que las teorías cuánticas dan cuenta de observaciones empíricas, pero él es un físico del siglo XX que tiene concepciones propias respecto del papel del empirismo en la construcción científica. Cuando le hicieron notar la aparente contradicción de su pensamiento, que se apoyaba al mismo tiempo en un empirismo subyacente y en la reafirmación de ser la física una aventura del pensamiento, y por lo tanto una libre invención del espíritu humano, contestó que esa contradicción no era tal, sino una inevitable y necesaria oscilación del pensamiento físico entre el empirismo y el racionalismo. Aun reconociendo el peligro que representa esa oscilación entre el mundo y Dios, y el riesgo de caer de las fauces del Scila empírico al Caribdis racionalista, se mantiene fiel a su fe en la armonía del mundo, concebido como un enigma que ha de resolverse, a través de una comunión racional, y no a través de las experiencias; y estampa esa estupenda frase que resume tan claramente su pensamiento: "una teoría puede ser probada por la experiencia, pero no hay camino que lleve de la experiencia a la creación de una teoría".

Y esto, para llevar un poco de agua a mi molino, podemos comprobarlo con la historia de la ciencia, sobre todo en la ciencia moderna, donde tienen sentido las palabras experiencia y teoría; es evidente que son las teorías las que mandan. Cuando Galileo descubre la ley de caída, no es la experiencia lo que ha dominado su propósito, tan así es que cuando él realiza la experiencia comprobatoria de la teoría lo hace simplemente para convencer a los incrédulos. Él se fundó sobre una sencilla concepción matemática, pero una concepción matemática es una teoría, no una experiencia. También aquí Leonardo no ofrece una frase: "la teoría es el capitán, la experiencia son los soldados".

La frase de Einstein es exacta. Lo que ocurre es que desde el siglo pasado y en lo que va de éste el empirismo ha alcanzado tal nivel, se ha hecho tan común, que la gente cree que es la experiencia lo que priva, pero sólo cuando después de una experiencia el espíritu teórico del físico da con una teoría que la satisface, se hace ciencia, no hace sino confirmar que es el espíritu teórico el que priva.

Hay un hecho que también debemos señalar: una especie de nostalgia hacia los procedimientos antiguos del trabajo matemático, de la física de Newton. Hasta comienzos de nuestro siglo, la física era de tipo causal, hay causa y efecto; está regida por un armazón matemático que se puede simbolizar, como Einstein lo dice, en lo que se llaman las ecuaciones diferenciales, que exigen continuidad en los procesos; y esto es lo que echan por tierra las teorías cuánticas, al contraponer a la causalidad el principio de indeterminación, a la continuidad los átomos de Bohr, haciendo desaparecer las ecuaciones diferenciales, por que no habiendo continuidad no se puede aplicar la matemática de los números reales.

Nació el año 1927 Einstein escribe un hermoso artículo sobre Newton con motivo del segundo centenario de su muerte; al final formula una pregunta, sin duda sugerida por aquel deseo de encontrar una solución que salvara aquel abismo del azar: "¿Quién se atreverá hoy a resolver la cuestión de saber si esas premisas, la causalidad y el empleo de las ecuaciones diferenciales, de la concepción natural de Newton, habrán de ser definitivamente abandonadas?". Es decir que todavía tenía esperanzas de que la Física se encaminara hacia aquellos principios que él sostenía fundamentales; y que era posible admitir en cierto modo como temporario que no fueron aceptados en la Física de sus tiempos.

Einstein no deja de reconocer los éxitos de la Física de su tiempo, pero en nombre de esa religiosidad cósmica, que no titubea en identificar el Universo con Dios, se alza en contra de aquel positivismo frío, lógico, de la física que sólo acepta las concepciones que obedezcan a la experiencia, y protesta, con la célebre frase: "Dios no juega a los dados", es decir, que Dios haya hecho un mundo en el que rija el azar. Admite sí que el problema es difícil, y lo expresa con otra de sus frases admirables: "Dios es refinado pero no maligno", es decir, el mundo de las leyes naturales puede ser muy complicado, pero no tanto como para engañar al hombre respecto de su propia esencia.

Su fe en la razón, "en esa racionalidad que se manifiesta en la existencia", como dice y su fe en la capacidad del hombre para comprender el mundo, le dicta esa otra frase tan citada, cuyo fondo en cierto modo místico es claro: "lo más incomprendible del mundo es que es comprensible". Parece un juego de palabras, pero no lo es, es una idea profunda, que la podemos casi ejemplificar con nuestra propia vida, con nuestras propias sensaciones. Muchos de ustedes pensarán que el hombre es un ser na-

tural, es decir que vive en la naturaleza, y no lo es; aquí en este ambiente, y en todos los ambientes considerados civilizados, no hay una sola pizca de naturaleza: todo lo que nos rodea, dentro de nuestro cuerpo y fuera de él, es artificial, todo es producto de la técnica. No obstante nosotros creemos que entendemos que la técnica haya modificado el mundo que nos rodea. Y lo mismo sucede con la ciencia en general. Tomamos un tren, y sabemos que va a llegar a un cierto punto según el horario, y el tren llega, y lo tomamos como lo más natural del mundo, lo comprendemos, sin embargo la cosa no es fácil, piensa en la matemática, pero, ¿quién piensa que la matemática está metida en las ruedecillas del reloj, o en la máquina del ferrocarril? lo que sucede es que es tan evidente, que lo comprendamos, o creemos comprenderlo, y ése es el sentido de la frase de Einstein.

Todo nos parece comprensible, pero el hecho de que nos lo parezca, en sí es incomprensible. Los civilizados estamos acostumbrados a vivir entre paredes y a usar relojes, estamos acostumbrados a admirar los progresos de la ciencia, pero no pensamos demasiado en lo que todo eso significa, pero cuando se tiene la mente de Einstein, se ve el problema, y ello lo llevó a decir esa frase que para algunos parece un juego, pero que en realidad tiene mucho sentido.

Volviendo al mismo ejemplo sencillo de antes, cuando Galileo utiliza una regla matemática muy simple para su ley de la caída. ¿acaso eso implica que hay números en los árboles, hay números en las piedras?; no, y sin embargo con los números sabemos cómo caen las piedras. Es algo incomprensible, pero como el resultado es satisfactorio, admitían simplemente que todo está bien.

Esta frase que es una de las que más da cuenta del sentido profundo que tenía Einstein de lo que es el pensamiento y de lo que es esta aventura del pensamiento que es la ciencia.

Si durante la vida de Einstein, el mundo de la política y de la ciencia introdujeron concepciones distintas de las que él sostenía, el concepto que le merecía el mundo de los hombres fue en cambio modificándose dentro de él mismo, pasando de aquella dogmática creencia en un determinismo absoluto, válida hasta para el mundo de los hombres, a una convicción cada vez más comprensiva y humana.

Sin duda, su creencia en una armonía universal extendida a las acciones humanas se fue debilitando cuando empezaron a mostrarse en el Berlín de la primera posguerra los gérmenes del nacional-socialismo y del antisemitismo. Es cuando Einstein declara que en su cátedra de Berlín "se encontraba en la situación de un hombre acostado en un lecho suntuoso lleno de chinches que lo atormentan".

Más tarde, al declinar la presidencia de Israel, ya advierte que desconoce la naturaleza de los problemas humanos. Dice entonces: "los problemas científicos me re-

sultan familiares, pero no tengo ni la capacidad ni la experiencia necesarias para tratar con los seres humanos".

Desde entonces, los problemas humanos le interesan cada vez más, hasta a veces absorberlo totalmente; pero ya no los trata con el espíritu científico de antes, sino ahora con un benévolo interés, aquel benévolo interés que se siente por una suerte más feliz para los demás, interés que lo lleva a veces a acongojarse.

Sin duda, reconoce que en el mundo de los hombres reina la estupidez, la avidez, el miedo, llegando hasta a caer en el ecepticismo; "es más fácil", dice Einstein, "cambiar la naturaleza del plutonio que el espíritu del mal en el hombre". pero pronto se repone, y recobra esperanzas: "no podemos desesperar del hombre, porque nosotros mismos somos hombres"; otra frase sobre la que hay que reflexionar; nosotros somos hombres, formamos parte de la humanidad, ¿cómo podemos desesperar de nosotros mismos?

Y en sus últimos años, después de Hiroshima, reconoce que el verdadero problema está en el corazón de los hombres, y antes de morir encabeza con Bertrand Russell, (al saberse que se había construido la bomba H), al conocido "llamamiento de seres humanos, como seres humanos".

Einstein ha descendido de las cumbres de la religión cósmica al sencillo plano de la vida de cada ser humano. Ha trocado aquella concepción de teórico racionalista, que pretendía ubicar al hombre en un proceso causal universal, en un emotivo llamado de hombre a hombre. Ha sustituido aquella búsqueda, algo ambiciosa, de una armonía universal que abarcara hombres y cosas, por un sencillo intento de penetrar en el corazón de cada uno de nosotros y en estos cambios, reside otra de las grandezas de ese gran sabio hermano que fue Alberto Einstein.

Influencia de Einstein en el campo matemático

por el Dr. Luis Santaló

Conferencia pronunciada en la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad de Buenos Aires. La presente transcripción resultó de la versión grabada oportunamente. Ha sido corregida por el autor y se ha mantenido el carácter coloquial e informal de la misma.

La presente conferencia inauguró un ciclo especial desarrollado en la Ciudad Universitaria de Buenos Aires, con motivo de celebrarse el centenario del nacimiento de Albert Einstein. El Doctor Julio Grattón, Jefe del departamento de Física de la mencionada casa de altos estudios, dió por abierto el ciclo haciendo una breve reseña de la vida y obra de Einstein, destacando los variados campos en los que sus ideas influyeron. Posteriormente presentó al Doctor Luis Santaló, profesor emérito de esa casa de altos estudios, doctorado en Ciencias Matemáticas en la Universidad de Madrid, desde 1939 hasta 1947 investigador principal y vicedirector del Instituto de Matemáticas de la Universidad Nacional del Litoral, y profesor contratado en la Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas de la Universidad de la Plata entre 1948 y 1955, autor de numerosos libros y memorias en revistas especializadas, siendo su especialización la geometría diferencial e integral. A continuación el Doctor Santaló comenzó su disertación ante una concurrencia que desbordó ampliamente las comodidades del aula. El Doctor Santaló dijo:

Agradezco al Dr. Julio Grattón por las palabras pronunciadas y a toda la Comisión organizadora por haberme invitado a inaugurar este ciclo de conferencias que muy acertadamente ha organizado este departamento de Física para conmemorar el primer centenario del nacimiento de uno de los genios que ha marcado un hito divisorio en la historia de la física: La física pre-relativista y la física relativista.

En la división que se ha hecho para tratar las distintas facetas de la obra de Einstein, me ha correspondido a mi tratar el aspecto matemático. Ustedes ven que en el título no dice Einstein como matemático pues en realidad Einstein era un físico cien por ciento, pero sí de la influencia que la obra de Einstein ha tenido en el campo matemático. Para ver mejor esto, para entender todo lo que vamos a decir en esta conferencia, conviene que analicemos un poco la matemática primero para ver donde ubicamos a Einstein dentro de su contexto. El edificio matemático se va construyendo poco a poco por matemáticos, pero con distintas tendencias. No todos los matemáticos trabajan de igual manera, no todos los matemáticos crean matemática con los mismos fines. Entonces, voy a escribir una especie de clasificación de cómo la matemática se va construyendo, o sea las operaciones que hacen los matemáticos para ir edificando esta construcción que es lo que llamamos matemática. Primero una actividad de muchos matemáticos consiste en resolver problemas. Es decir problemas ya planteados por otros, problemas que a veces duran muchos años, que están pendientes hasta que viene el matemático que los resuelve. Problemas cuya importancia -como el vino- se va añejando con el tiempo, de modo que cuanto más viejos, cuanto más ancianos sean los problemas pendientes, más valor para el matemático que los resuelve, porque quiere decir que han pasado por el tamiz de otros muchos matemáticos que no los lograron hacer. Después pondré ejemplos de matemáticos para entender esto.

Otra característica u otra operación de los matemáticos es crear; es decir son los matemáticos creadores, son los que inventan nuevas teorías. Esto tiene la ventaja de que en realidad puede ser una matemática blanda en contrario de la matemática dura de los matemáticos que resuelven cosas que otros no han podido resolver. En vez, los matemáticos creadores a veces empiezan por cosas muy simples que a nadie se le había ocurrido hacer, y si entonces aciertan, y es un tema que tiene importancia, se desarrolla mucho y el autor alcanza fama por haber inaugurado una nueva rama de la matemática.

Si en los que resuelven problemas lo que predomina es el talento, en los creadores lo que predomina es la imaginación.

Finalmente, tal vez menos visible pero yo quiero resaltar que es muy importante, es motivar. La característica sería el ingenio. Es decir, tienen mucha importancia en el desarrollo de la matemática que algunos matemáticos, y otros no matemáticos pero científicos, hayan dado ciertos temas que han motivado para que matemáticos estudiaran ciertas teorías.

Vamos a aclarar esto con algunos ejemplos.

Matemáticos que se caracterizaron por resolver problemas. Por ejemplo se suele citar siempre a Lindemann en el siglo pasado, que es quien demostró la trascendencia de π y con ello terminó con la cuadratura del círculo. Problema de siglos de si se podía o no cuadrar el círculo, Lindemann lo resuelve: π es un número trascendente que no se puede conseguir con regla y compás. Era un problema pendiente de siglos. Sin analizar, porque no es el objeto de la conferencia, cito nada más a otro matemático más reciente Birkhoff, que es el que demostró el teorema Ergódico. Fisicos y matemáticos utilizaban -sin demostración pues era un problema pendiente desde Poincaré- el Teorema ergódico. En 1931-32 Birkhoff da la demostración de este teorema. Birkhoff además había demostrado años antes lo que se llamaba el último teorema de Poincaré, teorema que Poincaré no había demostrado, Birkhoff lo demostró. De esta manera se iban resolviendo problemas, se iban tapando grietas del edificio matemático que habían quedado. Grietas que no habían impedido que el edificio matemático siguiera creciendo, pero había que taparlas. Esto lo hacen los matemáticos resolutores de problemas. Otro para citar un tercero fué Hadamard. Hadamard demostró en su memoria famosa de fines de siglo la distribución de los números primos, que era un teorema que habían enunciado ya Gauss y después Riemann, pero había quedado pendiente. Hadamard para resolver problemas pendientes de ecuaciones diferenciales introdujo la parte finita de integrales singulares. Es decir, siempre problemas pendientes.

Veamos ahora los matemáticos creadores, los que originan nuevas ramas, son los que inician nuevas alas del edificio matemático.

Por ejemplo -está de moda en la enseñanza de la matemática- los conjuntos de Cantor. Cantor creó la teoría de conjuntos. Desde entonces ha tenido un desarrollo exhuberante.

¿Que particularidad tienen las obras de estos creadores?

Que si miramos las memorias iniciales son fáciles. Ahora cualquier estudiante lee las memorias de Cantor y le parecen triviales, elementales. La dificultad no fué resolver algo que estaba pendiente sino la imaginación de crear algo que después ha sido útil. Una cosa que no sirve de nada queda muerta de entrada. Casi todos los matemáticos más conocidos casi siempre han creado. Siguiendo un poco a Cantor, Lebesgue con su teoría de la integral, su definición de superficie y área, etc. inició campos de investigación. Después cualquier libro habla de la integral de Lebesgue; ha tenido enorme repercusión en el futuro. Aquí habría muchos

otros, por ejemplo Sophus Lie en el siglo pasado con la teoría de grupos continuos. En éstos creadores también hay diferencia entre uno y otro, pero por ejemplo Sophus Lie se encontró con todo un depósito, con una mina exuberante de trabajos para hacer. Las obras completas de Lie son enormes, ¿porqué? Encontró que en la teoría de grupos continuos todo era nuevo y relativamente fácil en su época. Después se ha ido ensamblando y complicando, haciéndose cada vez más difícil. Han quedado problemas pendientes que habrá que pasar en limpio.

Motivación: ¿por qué se trabaja en matemática en algunas direcciones más que en otras? Y aquí es importante esto. Unas motivaciones son impersonales, son las aplicaciones. El hecho de que la técnica, la física, la biología u otra ciencia tenga problemas que se puedan tratar matemáticamente hace que se desarrolle el instrumental adecuado para esos problemas. Por ejemplo las ecuaciones diferenciales de la física. Son ecuaciones diferenciales particulares que algún físico o algún técnico las hubo puesto de manifiesto y dijo a los matemáticos: "miren que necesito las soluciones de esta ecuación"

Dentro de la inmensa cantidad de ecuaciones diferenciales que uno puede imaginar, se estudian aquellas que tienen importancia por su aplicación: la ecuación del calor, la ecuación de las ondas, la ecuación de Bessel, todas las ecuaciones diferenciales con nombre nacieron por la necesidad de resolver un problema. Es un incentivo, una motivación para crear matemática.

Y a veces también, ésta es la parte importante, a veces simplemente basta vestir ciertos capítulos de la matemática con un ropaje que los haga atractivos o estéticamente interesantes. Quiero decir esto: la matemática es inmensa, se crea mucho, se tiene material, las bibliotecas están llenas de libros y revistas de matemáticas. Hay que ver cual de estos capítulos sufre más desarrollo, cuales alas del edificio se desarrollan con más intensidad que otras. Un motivo pueden ser las aplicaciones y hay otro motivo digamos estético: que algún matemático o un no matemático sepa vestirlos con un ropaje que los haga interesantes.

Veán que esto es fundamental, gran parte de la matemática que se crea que se va construyendo, es debido a que tiene un lenguaje adecuado que lo hace atractivo a los matemáticos. Como ustedes saben todos los matemáticos defienden a brazo partido la independencia académica: estudiar o investigar sobre lo que se quiere, ¿Por qué? quieren investigar, quieren trabajar sobre lo que les gusta y lo que les gusta debe tener cier

to valor estético. Ningún matemático va a hacer casi nada si le dicen: "usted tiene que resolver este problema, tiene que trabajar en esta dirección"; si no me gusta me sentaré, estaré 8 horas, cumpliré el "full-time" pero no haré nada. El problema está en lograr motivación estética. Esta motivación casi siempre es dar un vestido, un ropaje intuitivo, un ropaje -yo diría- geométrico. En este sentido: miren que cosa curiosa la matemática. Fijense si uno les dice voy a edificar algo, todo lo que pueda, de lo siguiente. Doy tres números a , b y c , tres números reales, con la única condición que cada uno de ellos sea menor que la suma de los otros dos (que sean lados de un triángulo). En principio, si a uno le dicen: a partir de aquí, con estos tres datos nada más construya usted matemática. "Qué voy a construir, está todo hecho!" Pero no, ¡mire usted, ésto es un triángulo! Ya tiene un modelo, ya tiene un vestido de estos tres números a , b y c . Y con este vestido, con este modelo dice: "puedo calcular las medianas m_a , m_b y m_c ; pero estas medianas son combinaciones de a , b y c . Las puedo calcular mediante cuadrados, raíces cuadradas, etc. Las puedo calcular a partir de a , b y c sin introducir nada nuevo, los únicos datos son tres números. Puedo calcular medianas, bisectrices, el radio del círculo inscripto, y después buscar relaciones entre estos números". Efectivamente, durante el siglo pasado y todavía de vez en cuando siguen apareciendo una cantidad enorme de trabajos sobre la geometría del triángulo, una cantidad enorme de matemática. Por ejemplo, para citar una cosa reciente de hace 4 o 5 años, en un artículo se demuestra que la suma de las cuartas potencias de las medianas es igual o mayor que nueve por el área al cuadrado. Digo yo, si no hubieramos tenido esta imagen de que estos tres números reales son los lados de un triángulo y por lo tanto a partir de ellos puedo calcular el área, a nadie se le hubiera ocurrido demostrar esta desigualdad donde m_a es una cierta combinación de a , b y c ; m_b es otro número que puedo calcular a partir de a , b y c ; y m_c también. Si uno, sin tener esta imagen calcula estos tres números, demostrar que las sumas de las cuartas potencias es mayor que nueve veces este otro número -el área- pero que solo es otra combinación que calculo a partir de a , b y c , nadie lo hubiera hecho. Es decir, representar de alguna manera es el secreto de toda la matemática. Lo mismo ocurre, para otro terreno más superior digamos, con la geometría diferencial. En el fondo toda la geometría diferencial es un capítulo de las ecuaciones diferenciales. No es más, lo que pasa es que lo vestimos con ropaje geométrico, entonces decimos tengo una serie de funciones, construyo los invariantes, si no les doy un nom-

bre apropiado tal vez no interese y quede muerto allí. Pero si yo digo esto lo voy a llamar curvatura y va a ser la curvatura seccional porque en el caso de una curva responde a la curvatura; en n-dimensiones es un decir, pero le doy el nombre de curvatura, entonces uno estudia ¿"Y si la curvatura es constante que pasará"? Toma esta ecuación diferencial y utiliza toda la artillería de ecuaciones diferenciales a ver que pasa. En el fondo está estudiando ecuaciones diferenciales, la geometría es un nombre que le da; le digo curvatura pero en n-dimensiones no vemos nada que se curve. Tenemos después geodésicas, ¿qué son geodésicas?: ciertas ecuaciones diferenciales ¿Porqué estudiamos las ecuaciones de las geodésicas y no estudiamos otras? Bueno, porque las geodésicas decimos que son las distancias mínimas de una curva. Bueno pero en n-dimensiones qué quiere decir longitud de una curva, son solo ecuaciones diferenciales. O sea que el hecho de dar ropaje geométrico al maremagnum de ecuaciones diferenciales nos da un criterio de selección para ver cuáles son los invariantes que interesan.

Y en este sentido, por eso me extendí, aquí es donde aparece Einstein en el campo de la matemática. Es que toda la labor de Einstein es haber dado una interpretación, un camino, haber abierto las compuertas para una gran inundación de geometría. Simplemente él se limitó a interpretar con detalle ciertas partes de la geometría diferencial dandoles nombre físico y viendo que tenían aplicación a la física. A partir de esto muchos geómetras del mundo se dedicaron a estudiar geometría diferencial, se abrieron nuevas ramas de la misma.

Quiero advertir una tercer parte aún más sutil, y es que no solo la forma estética o el ropaje dado a la matemática, sino que a veces basta un solo nombre para que una teoría crezca extraordinariamente, y si le falta el nombre queda muerta. En la actualidad todos los matemáticos conocen la teoría de las catástrofes. Catástrofes: la historia es esta, hace 8, 10 ó 12 años un gran matemático francés Thom, estudió singularidades de variedades. Clasificó las singularidades, definió algunos parámetros, clasificó las singularidades que se pueden desdoblar en otras, y a ciertas singularidades que con una pequeña modificación de los parámetros cambian de una forma radical las llamó catástrofes.

Fue un acierto genial en el campo de la matemática. Si se hubiese mantenido la clasificación de singularidades posiblemente los trabajos de Thom no hubieran salido del ámbito de los institutos de investigación matemática. Salió el nombre de catástrofes, y como un reguero de pólvora, en todas partes del mundo matemáticos, no matemáticos, cuer-

dos y no cuerdos, se abocaron al estudio de las catástrofes. Se forma_ ron bandos; los grandes partidarios de las catástrofes que comparan es_ ta teoría con los "Principia" de Newton (a los que lo quieran leer les recomiendo un artículo del año pasado, del '78, de S.Smale -gran mate_ mático- que hace una crítica bibliográfica de un trabajo sobre estas co_ sas; está en el Bulletin of the American Mathematical Society), y otros enemigos de las ctástrofes, entre ellos el capitán, me interesaba decir_ lo, es un licenciado nuestro muy inteligente y muy bueno, Héctor Susman quien está en Norteamérica hace algunos años, y que es el capitán de los enemigos de las catástrofes. Está andando por todo el mundo, es invita_ do a dar conferencias. ¿Por qué?, porque es enemigo de las catástrofes. Si no se hubiera encontrado este feliz nombre de catástrofes, si dijera "Soy enemigo de los puntos singulares" , se hubiera quedado solo. Por ser enemigo de las catástrofes Héctor Susman es uno de los matemáticos jóvenes actualmente más conocido en el mundo. Quiere decir que una pala_ bra sola a veces influye en la historia de una disciplina, por lo menos de la matemática.

Esto es una introducción para ubicar la obra de Einstein en su as_ pecto matemático. Pasemos ahora a Einstein para ir viendo a donde lo co_ mos. Einstein empieza su obra en 1905; tenía 26 años cuando publica su artículo famoso de "electrodinámica de los cuerpos en movimiento" donde sienta sus fincipios de lo que se ha llamado la relatividad espe_ cial. Es curioso que esta primera y fundamental memoria de Einstein es puramente física, prácticamente la matemática que utiliza es matemática de secundaria. Son todos razonamientos físicos muy ingeniosos para jus_ tificar las transformaciones de Lorentz que se conocían recientemente. El genio de Einstein -algunos lo atribuyen a que tenía 26 años y por lo tanto era inexperto y no tenía todo el lastre de la tradición que le pesaba- fué que se atrevió a decir: si señores, estas ecuaciones de Lo_ rentz que a ustedes les extrañan tanto y que Poincaré no compren día, no tienen nada de particular, el tiempo puede ser distinto de un obser_ vador a otro, las varas se pueden acortar, no me extraña nada. Sentó el principio de relatividad, de que las leyes deben ser independientes de que un cuerpo se mueva con movimiento uniforme, y, sobre todo, lo más difícil de entender que no puede una velocidad superar a la veloci_ dad de la luz. La velocidad de la luz es la misma si la emite un cuerpo que está quieto o un foco que se mueve con velocidad. No se suma. Esto naturalmente ningún físico formado lo hubiera admitido. ¿Cómo puede ser que no se pueda superar una velocidad? Y Einstein, esto que extrañaba a los físicos que no lo entendían dice: "no lo entienden pues, yo lo sien_

to por principio". Me interesa señalar que Einstein lo hace así. Verdaderamente como físico expone experiencias teóricas pero razonamientos experimentales.

Es importante señalar que en 1908 todas estas transformaciones las toma en sus manos un matemático Minkowsky - no Einstein- quien es el primero en decir que todo esto se verá mucho más claro si no se separa el espacio del tiempo, si no doy dos maneras de transformarse, el espacio de una cierta manera y el tiempo de otra, sino que voy a considerar el continuo -como decimos ahora, la variedad- espacio tiempo como un solo ente, como una sola variedad de cuatro dimensiones. Y en una conferencia dictada en Colonia en 1908 Minkowsky introduce el espacio-tiempo. Es el primero que dice no tenemos que extrañarnos, no piensa como físico, Minkowsky piensa como matemático, la antítesis de Einstein, a mí todo lo que ustedes dicen de si el tiempo transcurre distinto de un observador a otro, si las barras se acortan con la velocidad, si yo me voy a pasear por el espacio cuando vuelvo mi hermano es mucho más viejo que yo, a mí no me importa decía él, hago matemática, y haciendo matemática considero el espacio tiempo, tomo esta fórmula cuadrática,

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 \quad (1)$$

y digo que las transformaciones según las cuales deben ser invariantes las leyes físicas son las que dejan invariante esta forma cuadrática. Esto es lo que ocurre en la realidad y adelante. Esta memoria o esta conferencia de Minkowsky fue traducida rápidamente a muchos idiomas, y por suerte reproducida también en varias revistas, entre ellas el "Jahresbericht" de la Unión Matemática Alemana, del año 1910. O sea, Minkowsky es en realidad el que tomando las ideas de Einstein -si no hubiera existido Einstein seguro que a Minkowsky no se le hubiera ocurrido estudiar esta forma cuadrática (vean lo importante de la motivación)- deduce las consecuencias de manera matemáticamente natural. Actuó Einstein como un selector para que Minkowsky le diera ropaje geométrico: introduce el espacio tiempo, leyes de transformación, el grupo de Lorentz, etc.

Con todo esto, ya está todo abierto, ha nacido la relatividad especial. Una vez sembrado esto, formulado matemáticamente por Minkowsky pero debido a la obra de Einstein, ocurre un poco algo parecido a lo del triángulo: estudiar todas las transformaciones lineales que dejen invariante ds . Bueno, los misterios de la matemática, estudiar el grupo de transformaciones que dejen invariante ds ha dado lugar a memorias y volúmenes enteros. Estudiar el grupo de transformaciones, los subgrupos,

si son subgrupos invariantes, si no lo son, representación de estos grupos, y sobre todo quince años después con la mecánica cuántica todavía más. O sea los físicos impulsaron a matemáticos a estudiar capítulos importantísimos de la teoría de grupos.

Todo esto iba bien en la relatividad especial. El espacio tiempo era el espacio cuya forma diferencial era (1) lo que se llama en geometría un espacio plano. Ya eran conocidos estos espacios excepto por la signatura y excepto su interpretación física.

Qué pasó desde el año 1905, digamos el 1908 cuando le dió verdadera forma geométrica Minkowsky, hasta el año 1916 para la relatividad general? En historia claro, uno puede hacer siempre conjeturas; puede conjeturar por ejemplo que si Minkowsky que dictó la citada conferencia en el año 1908 y era matemático no hubiera muerto en 1909 pocos meses después, es posible que hubiera hecho la generalización porque el camino estaba abierto. Cuando uno ya tiene idea de la variedad del espacio tiempo, pasar de que esta variedad es plana a que puede ser curva es típico del temperamento matemático, generalizar. Ningún matemático se hubiera detenido a decir tengo un espacio plano y estudio nada más que el plano. Hubiera dicho de manera natural: ¿y si es curvo qué pasa? O sea es muy probable que Minkowsky hubiera dado el salto, pero Minkowsky falleció pocos meses después de su conferencia. ¿Y quién estaba en el mundo matemático? En el mundo matemático de aquella época el que más se podía haber acercado a esto -y es raro que no lo hiciera- era Levi-Civita. En el año 1901 Ricci -italiano- y Levi-Civita, otro italiano, publicaban en *Mathematische Annalen* -por lo tanto bien conocido- su memoria famosa sobre el cálculo diferencial absoluto, diríamos ahora el cálculo tensorial. Por lo tanto en el año 1901 en forma precisa Ricci y Levi-Civita en una memoria famosa dan todo el cálculo tensorial, todo lo que se necesita para estudiar estos espacios. Ya era conocido, pero ellos lo sintetizan un poco más. Ricci en el año 1908 a 1909, cuando esto se debatía ya tenía como sesenta años. No es de extrañar tanto que no se preocupara de la curvatura del espacio tiempo. Ahora, Levi-Civita tenía 36 años y además era autor de libros de mecánica, era más que matemático también especialista en mecánica, era un físico-matemático, entonces él seguramente debería conocer estas cosas de Einstein. ¿Por qué no se le ocurrió pasar del espacio plano a un espacio curvo? No se sabe Levi-Civita falleció en 1941, puede ser que aunque tuviera 36 años en 1908 ya estuviera polarizado y le pareciera que todo esto era absurdo, que el tiempo dependiera del observador y todo esto. Es decir, la idea del tiempo absoluto es innata-

entre nosotros. Tiene que pasar mucho tiempo o una educación en la escuela que me diga: "no no, el tiempo no es absoluto, el tiempo no es absoluto...". No puedo concebir que a un señor que esté en la luna el tiempo le vaya distinto que a mí. Pero esto es lo que anda y hay que admitirlo.

Muy bien, el hecho es que no lo hizo nadie y Einstein en 1916 da su memoria de la Relatividad General. ¿En qué consiste la Relatividad General? vean que conceptualmente es trivial; por eso me extraña a mí que los matemáticos de la época no lo hubieran hecho. Posiblemente no habría geómetras que supieran física. Después de todo, del año 1908/9 hasta el año 1916 en que publicó Einstein, o bien hasta el año 1914 en que Einstein empezó a enunciar su gravitación en memorias en revistas menos conocidas, no pasó tanto tiempo, solo 5 años. El hecho es que la idea ésta tan simple de Einstein fue la siguiente: Las leyes físicas deben ser invariantes frente a transformaciones de coordenadas. ¿Qué pasará si yo tengo no un espacio plano sino un espacio curvo? Einstein dijo: "necesito estudiar espacios curvos, sus propiedades, de cuatro dimensiones, el espacio-tiempo. Y él, físico -y esto no tiene nada de particular- no conocía matemática y tuvo que aprender, tuvo que buscar geometría diferencial. Empezó ya con los libros de Bianchi que eran del siglo pasado. Seguramente se encontró con esta memoria de Ricci y Levi-Civita y la tuvo que estudiar y le costó.

Estudió estas memorias, preguntó a los geómetras seguramente, y dice: "bueno, yo necesito la geometría de una variedad de 4 dimensiones". Y unánimamente, ya que no había otra, le dicen que debe estudiar la variedad de Riemann. La variedad de Riemann quiere decir la variedad que está definida por una forma

$$ds^2 = g_{ij} dx_i dx_j \quad (2)$$

que es una generalización natural de la variedad plana, pero en vez de tener coeficientes constantes tenemos una expresión más general. Pasamos de una suma de cuadrados -salvo un signo- a una forma cuadrática más general. ¿Por qué Einstein tomó una variedad de Riemann? En su época no había más geometría de espacios multidimensionales que las variedades de Riemann. Después, en parte motivados por Einstein, nacieron otras geometrías. Entonces Einstein dijo: para la relatividad especial ya tengo la fórmula; si el espacio es curvo -lo que necesito para explicar fenómenos gravitatorios y movimientos no uniformes- necesito estudiar un espacio tiempo de la forma (2) y para estudiarlo necesito que me den $g_{11}, g_{12}, g_{13}, \dots$ que él llamaba potenciales gravitatorios. Estudiaré la geometría de esta variedad y de esta geometría voy a deducir el comportamiento de la físi-

ca, de la misma forma que de la ecuación de la relatividad especial se deducía que la velocidad de la luz era máxima.

Tengo entonces un espacio de Riemann dado por aquella expresión, necesito que me den los g_{ij} . Los g_{ij} que son simétricos y, por tanto hay 10 incógnitas. Necesito ecuaciones para calcular estas g_{ij} . Cuántas g_{ij} hay?: 10, cuántas ecuaciones necesitaré? en principio 10. Diez incógnitas, diez ecuaciones. Tengo que buscar estas ecuaciones. Qué condiciones quiero para estas ecuaciones? Quiero unas ciertas ecuaciones que si se satisfacen en un sistema de coordenadas se satisfagan en cualquier otro sistema de coordenadas; sino, que contradicción física sería que en coordenadas polares diera que los planetas describieran elipses, y lo estudio en coordenadas cartesianas y resultase que son óvalos de Cassini!

La exigencia de que las ecuaciones fueran tensores era natural. Necesito diez ecuaciones cuyos primeros miembros igualados a cero sean tensores, sean componentes de un tensor. Busca la memoria de Levi-Civita, busca cualquier libro de geometría diferencial de la época y lo primero que encuentra es el tensor que se llama tensor de Ricci; es un tensor que se forma a partir de las g_{ij} que también es simétrico. Lo primero que voy a probar, lo más simple, es ver si estas ecuaciones me sirven. Si no me hubieran servido, me hubiera complicado más:

$$R_{ij} = 0 \quad (3)$$

Estas son ecuaciones diferenciales en derivadas parciales de segundo orden. Frente a esto él prueba, como buen físico quiere estar seguro; Einstein (y esto es característico de los grandes hombres, siempre los que más dudan de la obra son los mismos autores, de modo que Einstein posiblemente llegó a esto de manera natural pero debía estar dudando) inmediatamente dice voy a ver una solución aproximada, desarrollo en serie me quedo con los primeros términos a ver que pasa. Y obtiene la ley de Newton. ¡Se quedó tranquilo! Es la ley de Newton, luego un disparate no va a ser. Pero en segunda aproximación le daba mejores resultados. Pero previamente él se aseguró que no andaba por caminos disparatados cuando en primera aproximación obtenía la ley de Newton. "Digan lo que digan voy bien".

Dice esto cuando no hay ni masa ni energía. Si hay masa y energía, en algún lugar tendrá que aparecer. ¿Dónde lo meto? En vez de cero debo poner algo que también sea un tensor -pues tengo que igualar tensores- e iguala con ciertas componentes, pongamos un tensor, llamado tensor mate

ria-energía, que se calcula según las hipótesis que se hagan de la materia existente:

$$R_{ij} = \alpha T_{ij} \quad (4)$$

Planteado así piensa -estoy siguiendo la memoria de Einstein- muy bien, esto es la energía, y se rige siempre por el principio de conservación de la energía. Cómo se expresa el principio de conservación? Bien la divergencia debe ser cero. La divergencia es la suma de las derivadas de cada componente del tensor. Si esto debe ser divergencia cero, por principio de conservación de la energía, debemos exigir que este tensor que es puramente geométrico también tenga divergencia cero. Calcula la divergencia y no le da cero. "Tengo que añadir algo para que sea cero". Y le añade algo que ahora es lo que se llama curvatura escalar, para lograr que la divergencia de esto sea cero:

$$R_{ij} - \frac{1}{2} R g_{ij} = \alpha T_{ij} \quad (5)$$

Y esto lo iguala al tensor materia-energía. ¿Qué importancia tiene esto? Esto tiene una importancia parecida a la que decía antes de las catástrofes, donde tenía importancia el dar un nombre o el dar un vestido a una idea. El hecho de decir que esto tiene divergencia cero, Einstein como físico dice: esto es el principio de conservación de la energía en el sentido amplio, materia y energía. Los matemáticos dicen no, el hecho de que esto tenga divergencia cero, ya era conocido desde Bianchi en el siglo pasado; en todos los libros de geometría estaba, y es lo que se llama las identidades de Bianchi. Cuando Einstein dice "voy a estudiar el principio de conservación de la energía", está estudiando las identidades de Bianchi, pero viste más, y el matemático se sintió atraído en cierta manera al ver que a estas identidades de Bianchi, Einstein las interpreta como el principio de conservación de la energía. Los matemáticos sienten una satisfacción extraordinaria.

Llegamos así a las ecuaciones de la gravitación. ¿En qué sentido gravitación? Sin explicar demasiado, éste es mi sistema de ecuaciones, mis incógnitas son las g_{ij} , puedo escribir lo siguiente:

$$\left. \begin{aligned} R_{ij} - \frac{1}{2} R g_{ij} &= \alpha T_{ij} \\ ds^2 &= g_{ij} dx_i dx_j \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

y tengo la geometría del espacio-tiempo. Estudiando esta geometría, estudiando las geodésicas, las curvas en el espacio tiempo de longitud mínima, por la ley de inercia, si no hay ninguna fuerza, éstas serán la trayectoria de los puntos libres. Los planetas no tienen ninguna fuerza, desaparece la atracción de Newton; ¿un planeta que está aquí, como se moverá? Por una geodésica siguiendo el camino más corto, pero no en el espacio, sino en el espacio-tiempo. En el espacio tiempo las geodésicas dan estas curvas prácticamente elipses, mejor que elipses porque se adaptan mejor a la realidad

Una diferencia conceptual: es enormemente más fácil esta teoría que la de Newton, mucho más comprensible. Y esto da lugar a otra reflexión, argumentos de simplicidad. Se ha discutido mucho siempre si el universo, la naturaleza, es simple o no lo es. Es decir si Dios ha hecho las cosas simples o los hechos difíciles para complicarnos la vida a los hombres. Bueno, entonces mirando un poco se ve que la idea de simplicidad no está bien definida. ¿Qué quiere decir simplicidad? Para uno que sabe mucho esto es simple, para el que no sabe nada dice: ¡Que barbaridad! Entonces encontramos aquí un ejemplo típico; el que no sabe cálculo tensorial, piensa que hay que ser un genio para llegar hasta aquí, índices, subíndices, supraíndices, ¡qué teoría difícil la relatividad! Es una teoría difícil tal vez para físicos no teóricos; en general va a ser difícil de integrar efectivamente, pero conceptualmente para el que conoce cálculo tensorial las ecuaciones naturales que debo plantear, ya que tengo diez incógnitas, son las (4) porque no hay otras. Pero como quiero que tenga divergencia nula, tengo las identidades de Bianchi que dan (5). Luego estas ecuaciones son las más simples posibles que se pueden plantear para quien conoce cálculo tensorial. La teoría de la relatividad general para quien conoce geometría diferencial es mucho más simple, mucho más natural que la atracción de Newton.

Dos cuerpos se atraen, ¿qué es esta fuerza? Bueno, se discute por siglos, no se puede parar, no hay pantallas. Einstein dice: no hay atracción, simplemente es que en una variedad cualquier cuerpo -ley de inercia- sigue con movimiento uniforme por el camino más corto. Como ustedes ven es mucho más convincente. Después Einstein trata de aplicar sus ecuaciones para estudiar el universo en grande. Y aquí se ve -como adelantó el Dr. Grattón- la importancia de la Relatividad General. Porque para explicar el movimiento de los planetas, puede ser que sea un poco más exacto, pero la ley de Newton va perfectamente. Pero si queremos estudiar las nebulosas que están lejanas a ver que movimiento tienen, si están en espiral, o la edad del universo, o el diámetro, si es cerrado o no

lo es, la ley de Newton no da nada, y la única teoría hasta ahora que da algo es la teoría general de la Relatividad. Por eso en los últimos años los especialistas en relatividad general son los cosmólogos, los que estudian lo que pasa a millones de años luz de distancia. Y esto ya lo empezó Einstein; dice voy a ver si puedo estudiar este espacio tiempo que es el universo en grande. ¿Qué necesito saber? Energía, materia, sentado en su laboratorio no la puede saber, le tienen que dar algún dato entonces dice tendré que calcular ésto aproximadamente. Necesito que me digan la densidad de materia desde nuestro punto de vista. La cuestión es que se puede atribuir una densidad media, y dice, suponiendo que todo el universo de tres dimensiones estuviese como lleno de un polvo -toda la materia que hay pero igualmente distribuida-, resulta practicamente vacío, pero hay materia, no mucha, hay una cierta densidad. Con esta densidad media, busca integrar Einstein sus ecuaciones. Consigue integrar esto en el espacio de Riemann y puede averiguar que es de curvatura constante pero además podemos calcular el radio de la esfera, podemos calcular la circunferencia de la esfera, podemos calcular todo. Es una manera de calcular el diámetro del universo, si es cerrado

Se tiene por primera vez una teoría -acertada o no-, pues la experiencia es muy difícil de aplicar, sobre las estrellas es fácil mentir, nadie puede ir a preguntarles a ellas. Decir que pasará en la nebulosa que está a diez mil millones de años luz... Cierto o no, es la única teoría que permite decir algo. Einstein se encontró -y esto es lo interesante- que cuando él intenta integrar sus ecuaciones para este problema cosmológico suponiendo toda la materia uniformemente distribuida, encuentra que no hay solución del sistema compatible si supone que las son funciones nada más del punto pero no del tiempo. Entonces -estamos en 1916, Einstein empezaba a ser conservador- para él el universo debe ser estático. ¿Cómo este universo en grande va a cambiar con el tiempo? Todo el conjunto debe ser un universo estable y Einstein encuentra que no existe solución estable. Dice: "no puede ser, me equivoque, no puede ser que cambie con el tiempo", es la tradición de Aristóteles. Complica su fórmula y le añade otro término.

$$R_{ij} - \frac{1}{2}Rg_{ij} + \lambda g_{ij} = \alpha T_{ij} \quad (7)$$

y esto es lo que llamó la constante cosmológica. Entonces si, ya esto tiene solución, una solución estable: el universo esférico de Einstein como se ha llamado. Calcula la circunferencia; un rayo de luz que se va para allá y en miles de millones de años vuelve por atrás.

Y aquí viene lo que yo decía en esta historia de la ciencia tan notable, Einstein introduce su constante para lograr obtener su universo estable. Poco tiempo después Eddington dice no, porque se asustan? no es estable pero tiene esta solución inestable. El universo no es estable, cambia con el tiempo, se transforma. Y en el año 1932 Hubble, astrónomo, descubre la famosa expansión del universo. Es decir los astrónomos descubren que el universo no es estable sino que se expande. ¿Qué quiere decir que el universo se expande? Que mirando una nebulosa los astrónomos -estudiando el corrimiento hacia el rojo concluyen- que ella se aleja de nosotros con gran velocidad. Miraban a otra y también se aleja de nosotros a gran velocidad. Miraban a otra y, ¡Que barbaridad! todas se alejan de nosotros. No puede ser, es raro que todas se alejen de la Tierra, ¿es que ocupamos nuevamente un lugar privilegiado en el mundo? En realidad desde el Renacimiento ha decaído un poco esta idea. Lo que pasa es que el Universo se expande. El universo es una esfera que crece de radio y entre cualquier par de puntos al crecer el radio la distancia aumenta. No es que todo se aleje de la Tierra, es que todos nos alejamos de todos. El mundo, el universo, se expande. Esto experimentalmente se observa. Entonces Einstein corriendo dice "Ah, tenía razón, yo" Einstein en su libro "el significado de la relatividad" que ha sido traducido al castellano por Espasa-Calpe -todavía hoy se encuentra- dice: "si yo hubiera sabido en 1916 esto de la expansión de Hubble jamás hubiera introducido la constante cosmológica". No solo no la hubiera introducido sino que además hubiera descubierto teóricamente sin salir del laboratorio que las nebulosas se alejaban. Einstein hubiera descubierto con su teoría que las soluciones dependen del tiempo. Luego el universo se expande. Pero el creador de una teoría es quien menos cree en ella; entonces rectificó la teoría para adaptarla a una idea preconcebida. Desde entonces entre los partidarios de Einstein no se habla más de la constante cosmológica. Pero la constante cosmológica ya estaba introducida; como ven cuesta mucho volver atrás. De manera que muchos otros físicos y astrónomos han seguido manteniendo esto porque a veces es útil. Eddington en su teoría, y otros siguen manteniendo esta constante cosmológica. Se puede prescindir de ella, pero no es necesario prescindir, se puede conservar, una constante pequeña, pero la teoría de Einstein como cuenta en su libro. "El significado de la Relatividad" dice que no, que fue un error. Muy bien, pero ustedes dirán que tendrá que ver esto con la matemática que es de lo que yo he venido a hablar hoy. La cosa es así ya estamos en 1916 se extiende esta relatividad general, se necesita este cálculo tensorial de Levi-Civita y de Ricci, y entonces los geómetras se empiezan a interesar

por el problema y aparecen casi simultáneamente en Alemania H. Weyl y en Francia Cartan que dicen: esto es curioso, vamos a estudiarlo más, y entonces pulen, dan forma matemática a esa teoría. Cartán es el primero que pregunta y demuestra que el tensor R_{ij} es el único tensor que cumple las condiciones de depender nada más que de las derivadas primeras y segundas de los g_{ij} . Einstein sabía esto, pero no sabía si era el único, cabría la duda, él sospechaba que no, buscaba en los libros y no encontraba otro. Podría haber habido otro tensor con las mismas condiciones de simplicidad y por tanto otras ecuaciones de la gravitación. Cartán célebre matemático demuestra que no. Veán que esto es justamente importantísimo porque si hubiera habido otro tensor con las mismas condiciones de simplicidad, entonces hubiera sido un problema grave para Einstein o para cualquiera decidir por cual optarían para las ecuaciones de la gravitación. ¿Qué es lo que hubiera pasado? Pero como sólo hay uno; entonces no hay duda en cuales deben ser las ecuaciones de la gravitación. Por lo tanto ya estamos dentro de la matemática impulsados por Einstein.

Cartán da su memoria en el año 1922 -lo de Einstein es del año 1916 en plena guerra- la guerra terminó en 1918. Así y todo Cartán en su introducción del año 1922 dice no saber si el resultado de que el tensor es único era conocido por otros porque "desde la guerra en los últimos años es muy difícil para nosotros los franceses conocer literatura extranjera". Es decir -como experiencia- que la guerra aunque terminó en el 18, en las reuniones internacionales, en las asociaciones, en la publicación de revistas, en el cambio de publicaciones, se prolongó bastante años más. En el año 1922 todavía Cartán dudaba de que en alguna revista alemana ya habría sido publicado lo que él publicaba, y se excusa por si acaso. Es decir que fue una guerra efectivamente entre naciones. Quedaron resabios por varios años de enemistad y resentimientos entre naciones. La otra ya fue más una guerra entre ideologías. Incluso desapareció mucho más pronto, terminada la guerra hacia el 45, en poco tiempo científicos norteamericanos iban a Alemania, alemanes a otro lugar, porque yo creo -es mi opinión- no quedó tanto resentimiento. En la historia de la humanidad también se ve una diferencia: las guerras entre naciones terminaron, empezaron las guerras entre ideologías, que es otra cosa. El hecho es que tres años o cuatro después de la primera guerra todavía en Francia no conocían mucho de la literatura alemana.

Muy bien, Einstein al llegar aquí no se satisface, y empieza el largo peregrinaje desde 1916 hasta su muerte de encarar el problema del campo único. El problema es lo siguiente: han tenido un éxito extraordina

rio estas ecuaciones, tiene las fórmulas del espacio tiempo, explica la gravitación. Pero Einstein observa que en la física no todo es gravitación. Está el electromagnetismo y hay fuerzas nucleares, campos nucleares distintos que sería lindo de alguna manera geometrizar. Así nació la idea en él de hacer una teoría del campo unificado, una geometría del espacio tiempo que le permitiera interpretar no solo la gravitación sino también de alguna manera el campo electromagnético y los campos nucleares. Y empieza a trabajar. El problema era más matemático que físico buscar distintas estructuras del espacio tiempo. El pensaba físicamente, si no hacía los experimentos con las manos, los planeaba teóricamente. Pero el problema era matemático, es decir el espacio tiempo hemos supuesto que era un espacio de Riemann; ¿no podía ser otra cosa? Y ahí nacieron distintas teorías: por ejemplo, introduciendo los espacios de conexión afín. Son espacios donde no se da una métrica, no se pueden medir longitudes pero se define un paralelismo. Espacios de conexión afín que después han tenido un desarrollo extraordinario, toda la geometría diferencial actual, o gran parte de ella, trabaja sobre espacios de conexión afín, pero el origen sin ninguna duda fue la idea de poder encontrar una estructura para el espacio tiempo que explicara los otros fenómenos además de la gravitación.

Motivados por este problema físico de Einstein, los matemáticos empezaron a trabajar. Weyl ya el mismo año 1919 publica su libro "Espacio, Tiempo y Materia". Inmediatamente después Cartán en el año 1923 publica su extensa memoria sobre espacios de conexión afín. Impulsado por la relatividad estudia estos espacios de conexión afín. Unos y otros lo hacen como nueva estructura matemática del espacio tiempo y para n -dimensiones. Empero la interpretación física no aparecía; se estudiaron otros espacios de Riemann pero de más dimensiones. No existe dificultad alguna, en vez de suponer un espacio tiempo de 4 dimensiones, se suponía que tenía 6 dimensiones para interpretar las otras dos de alguna manera. Al ver que los espacios de conexión afín no daban resultados, ya entonces en manos de geómetras, se fue a la geometría proyectiva. Así aparecieron nuevas estructuras puramente matemáticas como los espacios de conexión proyectiva, conexión conforme, con la idea de dar al espacio tiempo una geometría que se adaptara a la realidad.

En la última teoría del campo unificado, Einstein intentó una mezcla de todas ellas, para ver si de allí salía la interpretación física, que no salió.

Vemos entonces que toda la geometría diferencial, se basa en gran par

te, o nace en gran parte incentivada, motivada por esta hermosa idea de Einstein de geometrizar el espacio tiempo.

Unicamente quiero citar para terminar -todo lo demás son nuevas geometrías- que Einstein en el año 1944 en su búsqueda eterna de nuevas estructuras en el espacio tiempo para ver si conseguía unificar los campos en una sola fórmula, en una sola estructura, ha producido una memoria muy curiosa que no ha tenido ulterior desarrollo. Allí introduce lo que llama espacio de bivectores, que consiste en considerar conjuntos de pares de vectores (Annals of Mathematics, 1944).

Lo cierto es que sobre esto (y nunca pude averiguar si es porque después resulta trivial, si es porque resulta demasiado difícil, o si es porque no tiene aplicación) hay una sola memoria de Einstein del año '44. Estos espacios de bivectores han quedado muertos allí. Si no hubiera sido Einstein el autor se diría que no vale la pena, pero siendo de Einstein, quizás valdría la pena estudiarlos más. Finalmente en el año 1950 publica Einstein la famosa teoría del campo unificado de la que se habló mucho. Es curioso, el mismo Einstein que en 1905 revolucionó la física en pequeño y en 1916 revolucionó la macrofísica, en el año 1950 publica esta teoría del campo unificado que a pesar de la gran propaganda después no ha dado resultado. Pero la idea curiosa es que con la edad parece que siempre les entra a los matemáticos y a los físicos una especie de misticismo. Recuerdo el año pasado cuando celebrábamos aquí la obra de Heisenberg; en los últimos años Heisenberg estaba buscando también también una ecuación única que englobase en una sola fórmula todas las leyes de los campos de la Física. En Heisenberg el principio fue la simetría.

Un poco parecido sucedió con Einstein. Si ustedes leen esta última memoria del año 1950, así como la de 1916 es perfectamente científica, en su memoria del año 1950 ya se ve que predomina la mística. Busca cierto tensor y va a suponer que tenga ciertas simetrías de los índices, por qué?, porque así es más armonioso. Después le impone la condición de una hermiticidad; ¿por qué hermiticidad?, porque claro, los reales y los complejos se deben neutralizar. O sea va ya un poco a la mística. Est a lo largo de la historia ha sido muy común en los matemáticos, los físicos y los filósofos de ir buscando algo trascendente. Einstein, como Heisenberg, buscaba unas ecuaciones de un campo único y las buscaba no con un método científico como había hecho toda su vida, sino buscando ciertas armonías, ciertas simetrías. Ponía ecuaciones por intuición y entonces si resultaban incompatibles les sacaba esto, le añadía aquello, etc. No

se veía un proceso, había gran cantidad de indeterminación. Procedía así un poco al azar quitando y poniendo, buscando simetrías, añadiendo. Puede ser que a veces ésto de resultado, pero en general no. En cambio, tanto en 1905 como en 1916 no hay nada de azar ni de ir buscando, probando y reprobando. Hay una marcha perfecta, con lógica consecuente.

Muy bien, señores, esto es todo lo que se me ocurre decir sobre la obra de Einstein en el campo matemático.

N. de R: en la ecuación (2) y en la segunda expresión de (6) está implícita la así llamada convención de Einstein sobre los índices mudos, debiéndose en todos los casos sumar sobre los índices que aparecen repetidos.

EN 1979 NUESTRA ASOCIACION CUMPLE SU 50º ANIVERSARIO. DURANTE SU TRANCURSO SE EFECTUARA UNA "EXPOSICION ASTRONOMICA INTERNACIONAL", EN LA CUAL ADEMAS DEL APORTE DE LOS OBSERVATORIOS NACIONALES Y EXTRANJEROS, ESPERAMOS NUTRIDA COLABORACION DE PARTE DE NUESTROS ASOCIADOS, PRESENTANDO FRUTOS DE SUS TRABAJOS: FOTOGRAFIAS, INSTRUMENTOS, ETC.

Einstein y su Teoría de la Relatividad

por el Profesor Dr. Desiderio Papp

Un cuento árabe relata cómo un pescador recogió una vez en sus redes una botella. Cuando la abrió, de su interior salió un espíritu que, ante los ojos del pescador estupefacto, empezó a crecer, llegó a dimensiones colosales, y por último llenó el Universo. Este cuento se convirtió en realidad en la Historia de la ciencia de nuestro siglo. Del contenido limitado de dos postulados brotó y creció la Teoría de la Relatividad, tan excepcional en sus alcances que terminó por abarcar todo el Cosmos.

Desde luego, hay muchas teorías cuyo campo de aplicación es todo el Universo. Sin embargo, la jerarquía de la Teoría de EINSTEIN es única y suprema; su dominio es el más extenso que haya cubierto teoría científica alguna. Partiendo de premisas concebidas en nuestra escala, comprende tanto la escala megascópica del Cosmos, como el mundo submicroscópico de las partículas atómicas. Modifica nociones básicas que parecían en la ciencia clásica para siempre incommovibles. Demuestra la relatividad del espacio y el tiempo, llegando a conclusiones completamente ajenas a los datos inmediatos de nuestra intuición. Descubre la fundamental identidad de masa y energía, logrando suprimir la inquietante dualidad que subsistía desde siglos entre la materia ponderable y las fuerzas inponderables. Y como coronamiento de su monumental construcción teórica, EINSTEIN suministra a la gravitación universal, fuerza inexplicada y casi misteriosa en la física clásica, una interpretación geométrica totalmente inesperada y hasta asombrosa. Inaugura un nuevo estilo en el confrontamiento del intelecto con la naturaleza al concebir la gravitación como la geometría no-euclídea del Universo, unificando la cardinal triplicidad espacio, tiempo y materia. Realízase así una de las síntesis científicas más extraordinarias que jamás haya salido del crisol de las ideas de un investigador.

Actualmente, en el centenario del nacimiento de su genial artífice, la Teoría de la Relatividad se presenta como un paradigma ya clásico del poder que ostenta el espíritu en su señorío de la materia. Tales paradigmas equivalen a una honda transformación del sistema conceptual en un extenso dominio del saber y constituyen rarísimos acontecimientos. En los cuatro siglos transcurridos desde el Renacimiento, sólo tres investigadores, COPERNICO, NEWTON y DARWIN, habían abatido la sabiduría del mundo coe

táneo para erigir nuevas catedrales del pensamiento con igual ímpetu y seguridad como ha logrado hacerlo ALBERT EINSTEIN.

Señoras y señores:

En el mismo año en el que nació EINSTEIN, falleció en Inglaterra el gran teórico JAMES CLERC MAXWELL, descubridor de la naturaleza electromagnética de la luz. Su teoría, que integraba, aun en los decenios finiseculares, el frente avanzado de la física, incluía una nueva realidad de capitales alcances solo entrevista por FARADAY. Las ecuaciones de MAXWELL revelaron que no eran los entes materiales partículas, cargas, polos de imanes los esenciales elementos de la descripción de los fenómenos. Lo primordial resultó ser el campo continuo, es decir, el asiento de las fuerzas en el espacio que rodea las cargas o imanes, y cuyas variaciones que se propagan con velocidad finita describen las ecuaciones maxwellianas. Asoma aquí una idea, todavía en germen, que llegará a su pleno y magnífico desarrollo con la obra de EINSTEIN.

Es el destino, a la vez maravilloso y dramático, del conocimiento científico de que un problema resuelto engendre con frecuencia otro que a su vez espera su solución. Parece como si al cubrir una laguna en nuestro saber, se abriera en la proximidad otra, que aguarda ser colmada. Las igualdades de MAXWELL, que ofrecían una magistral descripción de los fenómenos electromagnéticos, que llevaban una incoherencia básica no satisfacían el principio clásico de la relatividad. Es bien sabido que las leyes de la mecánica no hacen distinción entre sistemas en reposo y aquéllos en movimiento uniforme y rectilíneo. Valederas para un sistema inmóvil con respecto al conjunto de las estrellas fijas, las ecuaciones newtonianas mantienen su validez para todos los sistemas en movimientos uniformes y rectilíneos. Las fórmulas simples de las transformaciones galileanas permiten el pasaje de un sistema al otro. Mas, he aquí que estas condiciones no se cumplen en las ecuaciones del gran teórico. En efecto, si las ecuaciones maxwellianas son valederas en un campo anclado en un cierto sistema de referencia, dejan de serlo en un segundo campo dotado respecto al primero de un movimiento inerte. Surge pues aquí, no cabe duda, una turbadora dificultad.

Empero, ¿dónde está anclado ese sistema privilegiado en el que los fenómenos electromagnéticos se conforman con rigor a las prescripciones maxwellianas? Para contestar a esta pregunta, la ciencia clásica tenía en el arsenal de sus conceptos un sistema de referencia absoluto en el éter. La hipótesis de este medio universal omnipresente en el espacio, portador de las ondas luminosas, acompañaba a la física desde fines del siglo XVII, a pesar de que las características físicas del éter parecían irreductiblemente contradictorias. Para no perturbar los movimientos de los astros, su densidad sólo podía ser infinitesimal; sin embargo, para suministrar soporte a las ondas transversales de la luz debería tener la dureza de un sólido.

Mas, cualquiera fuese la naturaleza del éter, si éste como lo suponía MAXWELL era el transmisor inmóvil de las ondas luminosas la propagación de éstas no podía transcurrir de la misma manera en un sistema móvil que en otro en reposo con respecto al medio privilegiado del éter. Por ende, la teoría marwelliana admitía la atrevida esperanza de que los fenómenos luminosos permitieran demostrar la traslación de la Tierra en el espacio, su movimiento (orbital) absoluto con relación al éter. Efectivamente, el propio MAXWELL, un año antes de su temprana muerte, indicó que dos rayos luminosos —uno paralelo al movimiento orbital de la Tierra, otro perpendicular a la misma dirección— deberían ostentar distintas velocidades. Al reunirse los dos rayos, tras haber recorrido iguales distancias, la diferencia indicada se revelaría por un desplazamiento de sus franjas de interferencia. Si bien el gran teórico no creía que el experimento fuese realizable, lo propuso al eminente físico ALBERT MICHELSON.

Mas, evidentemente, MAXWELL era demasiado excéptico. No había contado con el arte experimental de MICHELSON. Secundado por su colaborador EDWARD MORLEY, éste emprendió tras una larga preparación, en 1887, su experimento crucial. Jamás hasta entonces experimento alguno fue realizado con un aparato de medida más sensible que el interferómetro de los dos norteamericanos. Su dispositivo habría permitido observar un desplazamiento de las franjas incluso si la velocidad orbital de la Tierra hubiese tenido la décima parte de su valor real de 30 km./seg. Pese a ello, contra toda expectativa, la comparación de las velocidades de los dos rayos rehusó revelar la diferencia que la Teoría había previsto. Fracaso sorprendente y hasta dramático, máxime cuando los sucesos en los años siguientes no hicieron sino ahondarlo. Fue en vano repetir el experimento en la cúspide de una montaña, retomar lo luego en globo a grandes alturas, efectuarlo después de acuerdo con otras premisas con un instrumental distinto al interferómetro. Mas, ninguno de esta larga serie de ensayos, ni ninguno de los que siguieron llegó a romper el silencio de los hechos. El propio MICHELSON creía poder explicarlo admitiendo el arrastre total del éter por la traslación del globo terráqueo. Pero, esta ya antigua hipótesis estaba vedada por el fenómeno de la aberración de la luz de las estrellas y contradecía también un experimento contundente de LODGE; implicaba, pues, demasiadas dificultades para poder ser aceptada.

Evidentemente, para salir del atolladero había que buscar un nuevo camino. Lo encontraron dos investigadores: el físico irlandés GEORGE FITZGERALD (1892) y luego, en completa independencia de su predecesor, el sagaz teórico holandés HENDRICK ANTOON LORENTZ. Pensaban que sólo un fenómeno compensador, que anularía el efecto buscado en los experimentos michelsonianos, podría reconciliar el fracaso de éste con la existencia del éter cósmico. Admitieron, pues, que, al desplazarse, todos los cuerpos están sometidos a una especie de presión del éter; sufren, en el sentido longitudinal del movimiento, una contracción. De acuerdo con esta idea, suponían que en los experimentos

de MICHELSON el brazo del interferómetro coincidente con la traslación de la Tierra y subyacente a la trayectoria de uno de los rayos se había acortado, compensando exactamente la diferencia de velocidades y eliminando el efecto previsto.

Esta osada hipótesis, propuesta para explicar el inesperado resultado de una experiencia crucial, exigía una base teórica. La aguda inventiva de LORENTZ se encargó de elaborarla. Su tarea implicaba salvar al sistema de referencia absoluto, el éter inmóvil, en el que se verificaba la electrodinámica de MAXWELL. Esta no admitía —como ya anticipamos— el principio clásico de la relatividad, ni las transformaciones galileanas que lo caracterizaban. LORENTZ estableció las fórmulas de la nueva transformación que incluyen como constante la velocidad de la luz en el vacío. La transformación lorentziana deja invariantes, al pasar de un sistema al otro en movimiento inerte con respecto al primero, las formas de las ecuaciones maxwellianas, como las de GALILEO dejaron sin modificación la forma de las ecuaciones de la mecánica newtoniana. Empero, por una importante diferencia, ajena a la ciencia newtoniana, la nueva transformación implica que ni la distancia entre dos puntos, ni el instante de un suceso, posee el mismo valor en los dos sistemas aludidos.

Desde luego, toda tentativa de verificar la contracción lorentziana debía presentarse de antemano ilusoria. Ningún experimento podría ponerla en evidencia. Aun cuando su pequeñez para velocidades corrientes no la ocultara, permanecería escondida porque las varillas métricas que servirían para efectuar las mediciones se contraerían en el mismo sentido y en las mismas proporciones que las magnitudes por medir. De este modo, merced a la virtuosa inventiva de LORENTZ, quedan sustraídos a toda posibilidad de prueba empírica no sólo el movimiento de la materia con respecto al éter, es decir, el movimiento absoluto, sino también la realidad misma del éter cósmico y lo que éste representa y encarna: el espacio absoluto de NEWTON. De este modo, la contracción lorentziana, pese a la indiscutible sagacidad de su autor, recordaba la criatura milagrosa que a la edad de un año ya dominaba tres idiomas; mas, como todavía no podía hablar, no sabía demostrar sus milagrosas facultades.

A esta situación ambigua se refirió el eminente matemático HENRI POINCARÉ al sostener en una célebre conferencia que estaría por surgir una nueva e innovadora mecánica. Palabras proféticas. Corría el año 1904. La hora de ALBERT EINSTEIN había llegado.

El genio debe su origen, cualquiera sea el campo de su creatividad, a la afortunada combinación de los genes en los cromosomas de los progenitores. Mas, no por eso su manifestación ha de ser necesariamente precoz. EINSTEIN no era un niño prodigio. Sus estudios en el gimnasio de Munich distaban de ser excepcionales, aunque su interés por las matemáticas a la par que su pasión por la música se revelaron desde su niñez. Tímido, sensitivo y soñador, se sentía ajeno en un ambiente donde no sólo su inclinación

a lo contemplativo, sino también su ascendencia hebrea, contribuían a aislarlo. Como el negocio paterno no prosperaba, la familia dejó Alemania para trasladarse a Italia; EINSTEIN siguió sus estudios en Suiza, ingresando, con 17 años, en la célebre Escuela Politécnica, en Zurich.

La leyenda de que llevase a cabo sus estudios superiores sin esfuerzo, como un juego, fue desmentida por el propio EINSTEIN. Sin embargo, más que en las aulas del Politécnico, su aptitud congénita para la reflexión encontró el alimento que ansiaba en el silencio de su cuarto al meditar los escritos de MAXWELL, HERTZ y BOLTZMANN, cuyas teorías todavía discutidas permanecían al margen de una enseñanza aferrada a cánones clásicos. También el filósofo e historiador ERNST MACH, que había sacudido la creencia dogmática de que la mecánica puede suministrar la base definitiva del pensamiento físico, contribuyó a orientar las ideas del guturo investigador. Es de sumo grado sorprendente que ninguno de sus profesores en Zurich, ni aun el eminente matemático MINKOWSKI, posteriormente autor de una sugestiva interpretación geométrica de la Teoría Especial de la Relatividad, haya reconocido los dones excepcionales de este estudiante sin par. Cuando EINSTEIN, ya obtenido su diploma, solicitó en el Politécnico el modesto lugar de un ayudante, ninguno de sus maestros estaba dispuesto a aceptarlo. Afortunadamente, tras algunas tribulaciones, consiguió un cargo en la Oficina Federal de Patentes, en Berna.

Sin duda, revisar y analizar solicitudes de patentes puede convertirse en una rutina asfixiante que reprime toda iniciativa del pensamiento. Mas, para EINSTEIN esta tarea abrió un amplio campo de ocurrencias. Durante esos años sus ideas, inciertas e inconexas en sus tiempos de estudiante, empezaron a adquirir claridad y contornos firmes. Es cuando allí, entre inventores prácticos, el joven investigador encuéntrase a sí mismo, llamado a convertirse en uno de los más inventivos teóricos de todos los tiempos.

Así, se acerca el año 1905, año decisivo para EINSTEIN. En un intervalo asombrosamente breve, cuando antes nada hacía prever aún su genio, EINSTEIN da a conocer cinco estudios, nuevos conceptos emergidos casi simultáneamente del hervidero de sus ideas. De esta inesperada pentalogía de teorías sólo mencionaremos tres; una establece las leyes del movimiento browniano que traduce la agitación molecular por los perpetuos e irregulares desplazamientos de partículas suspendidas en fluidos y que ofrece una prueba de visu de la realidad de las moléculas; otra memoria estudia el efecto fotoeléctrico; demuestra que el aspecto energético del fenómeno se explica completamente mediante el concepto del cuanto, en aquel entonces discutido, aportando un decisivo apoyo a la tesis de la estructura granular de la luz; por importantes que sean estas investigaciones, en la retrospectiva histórica parecen accesorias en comparación con su

breve tratado: "Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento", cuyo modesto título no dejaba sospechar sus trascendentales alcances. Sin embargo, iba a fundamentar una nueva visión del mundo físico. Sus treinta páginas contenían la Teoría Especial de la Relatividad.

No es la tarea de esta conferencia exponer la Teoría de la Relatividad. Tan sólo echaremos una mirada en rápida síntesis sobre sus ideas y conclusiones esenciales. Al mencionar los resultados negativos del experimento michelsoniano, hemos insistido en el enigmático silencio de los hechos que motivaron la hipótesis de LORENTZ. Sin embargo, un silencio puede ser muy elocuente, y esta vez lo era efectivamente. ¿Acaso no sugería que el movimiento absoluto de un móvil era algo que no podía ser conocido, un ente desprovisto de contenido, a la par que el éter una hipótesis superflua que sólo servía para materializar el armazón clásico del espacio absoluto?

Sin acudir al experimento de MICHELSON, EINSTEIN había llegado, como veremos enseguida, conducido por sus propias ideas, a negar el concepto del espacio absoluto y hacer caso omiso de la hipótesis del éter. Dando sus primeros pasos hacia su futura teoría, extendió la validez del principio galileano de la relatividad, admitió que todos los fenómenos de la naturaleza, no sólo los mecánicos, dejan sin discernimiento el reposo o el movimiento rectilíneo y uniforme del sistema. Síguese que todos los sistemas inertes son equivalentes para la descripción de las leyes de la naturaleza.

A este primer postulado, EINSTEIN agrega un segundo: la invariancia de la velocidad de la luz en el vacío. Idéntica en todas las direcciones, independiente del movimiento de su fuente y de aquél del observador, la velocidad de la luz es una constante básica. Su privilegio es único en la naturaleza: ninguna señal, ninguna otra forma de energía que no sea electromagnética, puede propagarse tan rápidamente como la luz en el vacío. Su velocidad traza el límite supremo que el Universo concede a la velocidad de transmisión de un acontecer físico. Sobre este privilegio de la luz —el de la invariancia y carácter limitatorio de su velocidad— está centrada la Teoría de la Relatividad, que le confiere la jerarquía de metro patrón universal para la medida del espacio y el tiempo.

Desde luego, ambos postulados introductores de la Teoría son concordantes con los resultados negativos del experimento michelsoniano. De ahí la opinión muy difundida, pero históricamente incorrecta, que vincula el célebre experimento con el nacimiento de la Teoría. Sin embargo, hacia el fin de su vida, el propio EINSTEIN desmintió expresamente dicha versión de la génesis de su labor, subrayando enfáticamente que la influencia del experimento michelsoniano sobre su pensamiento era insignificante. Un admirable documento, sus "Notas autobiográficas", ofrecen una profunda introspección en el desarrollo de su creación científica y aclaran la marcha de las ideas que con-

fluyeron en el origen de su Teoría. Fue la termodinámica —relata EINSTEIN— la que le impresionó, particularmente en sus años juveniles, y la que le pareció ya desde entonces modelo de toda teoría física.

Como es bien sabido, el principio general de esta rama de la física prescribe que las leyes de la naturaleza están establecidas de tal modo que será imposible construir un perpetuum mobile ni de primera ni de segunda especie. Mas, ¿cómo encontrar un principio universal semejante? EINSTEIN lo encontró después de haber reflexionado durante diez años sobre una paradoja con la que ya había tropezado cuando tenía dieciséis años. Se imaginaba una fuente luminosa y un observador capaz de desplazarse con la velocidad de la luz. El observador tendría que percibir el haz de rayos como un campo electromagnético inmóvil en el espacio. Pero no parece, pensaba el joven, que pueda existir semejante cosa ni en la experiencia, ni de acuerdo con las ecuaciones de MAXWELL. Mas, ¿acaso no encerraba esta paradoja un principio universal semejante a aquél de la termodinámica que exige la imposibilidad del perpetuum mobile? Sin duda sugiere el principio de la imposibilidad de que un observador, y más generalmente cuerpo alguno pueda alcanzar la velocidad de la luz. Tal es efectivamente, como ya anticipamos, uno de los capitales asertos de su Teoría.

Insistamos un momento en el hecho que EINSTEIN indica como punto de arranque de sus ideas una paradoja. Nada tal vez podría ser más característico por lo peculiar y lo único de su arte de crear que su convicción de que las leyes de la naturaleza pueden contradecir principios que la razón consideraba firmemente establecidos y, por lo tanto, pueden parecer paradójicas a la razón. Suyas son las memorables palabras escritas en una de sus cartas: "Si el científico no peca jamás contra la razón, no llega a nada que sea significativo", y agrega en otro escrito: "No hay camino de la lógica que lleve a leyes elementales de la naturaleza".

Sin embargo, la paradoja juvenil no se aclaró satisfactoriamente antes de que EINSTEIN hubiera llegado a eliminar el concepto de la simultaneidad absoluta, y en su secuela, el tiempo y espacio absolutos. Sin entrar en su análisis, modelo de sutileza y sagacidad, cabe indicar su resultado. EINSTEIN llega a concluir que el tiempo, es decir la duración, se dilata al pasar de un sistema a otro dotado con respecto al primero de movimiento uniforme; por otra parte, en las mismas condiciones, el espacio, es decir la distancia o longitud, se contrae. Volvemos pues a encontrar la contracción lorentziana.

Esta, sin embargo, recibe en el análisis de EINSTEIN un significado nuevo y profundo. El teórico holandés admitía la existencia de un sistema privilegiado, el éter inmóvil. Una varilla que reposara en este sistema poseería la longitud "verdadera"; sólo desplazándose con respecto al éter se contrae. Mas, EINSTEIN erige como principio la equivalencia de todos los sistemas inerciales: la longitud de la varilla no es

más verdadera en uno que en otro; las contracciones que la longitud experimenta en los distintos sistemas en movimiento unos con respecto a otros, son siempre recíprocas, como lo son también los movimientos. Las mediciones realizadas por cualquier par de observadores serían pues completamente simétricas. Estas mismas conclusiones valen también para la dilatación relativista del tiempo y el aumento de la masa del móvil. Todos estos efectos relativistas, que recibieron muchas y muy variadas verificaciones, se vuelven esenciales —huelga subrayarlo— sólo en sistemas dotados de altas velocidades, comparables a la de la luz.

Empero, ninguna revelación de la Teoría, tiene alcances tan excepcionales como el descubrimiento de la inercia de la energía. EINSTEIN demuestra que un cuerpo, al liberar o al absorber energía radiante, es decir, luz, pierde o, respectivamente, adquiere masa. Mediante una audaz generalización llega luego a concluir que toda clase de energía posee masa. Recíprocamente, toda masa representa la inercia de una cierta cantidad de energía. Esta ecuación asigna a cualquier materia un valor energético interno igual al producto de la masa por el cuadrado de la velocidad de la luz. Tal es la más célebre ecuación de la Teoría, y sin duda una de las más significativas equivalencias que jamás haya descubierto el hombre. De acuerdo con esta ecuación, a un pequeño trozo de materia corresponde una cantidad inmensa de energía. La masa es, pues, energía ultracondensada, y la energía es masa ultradiluida. Entre los innumerables servicios que este descubrimiento rendió —y rinde— a la física, sólo cabe destacar que esta ecuación es la que permite explicar la aparente perennidad de la radiación del Sol y de las estrellas, que convierten fracciones de sus masas nucleares en torres de luz y calor. Es también esta ecuación la que asigna medida a la energía que mantiene unidas las partículas del núcleo, abriendo introspección en los inagotables depósitos de energía ocultos en las profundidades microcósmicas del átomo. Los físicos del átomo trabajan bajo el signo de la equivalencia de masa y energía, como sus antecesores en el siglo pasado lo hicieron bajo el imperio del equivalente mecánico del calor. Sin embargo, la confirmación, a la vez más deslumbrante y horrorosa, la ecuación la encontró a fines de la segunda guerra mundial en Hiroshima; se pudo ver para siempre a las claras que la revolución relativista de 1905 era mucho más que sólo una mutación en el reino platónico de las ideas.

Ahora bien, por admirables e imprevistos que fuesen los resultados de la Teoría Restringida, evidentemente eran incompletos. Su escenario era un universo ficticio, un espacio-tiempo carente de masas gravitantes que sólo conocía movimientos uniformes y rectilíneos. Liberar su creación de estas restricciones, abolir el privilegio del movimiento uniforme, considerar los sistemas acelerados y formular la ley relativista de la gravitación, tal es el objetivo de la generalización de la Teoría lograda por EINSTEIN en diez años de dura labor en la que tuvo que superar obstáculos analíticos. Más de una vez todo su instrumental matemático habría resultado insuficiente sin la

tea de su poderosa intuición que iluminaba su camino deductivo.

Al pasar de la Teoría Restringida a la General, la gravitación deja de ser la fuerza newtoniana que atrae y actúa a distancia, para convertirse en una propiedad métrica del espacio-tiempo. Surge así una idea sin precedentes, ajena a la ciencia clásica. Las masas gravitantes intervienen en la geometría del espacio y en el ritmo del transcurrir del tiempo. La mera presencia de la materia —su cantidad y su distribución— imprimen una curvatura al espacio y confieren una estructura no-euclídea al Universo. Presentando la imagen de un Cosmos finito, aunque carente de límites, abre insopechadas perspectivas a la Cosmología.

Sin duda, la Teoría General es la obra maestra de EINSTEIN y una de las máximas proezas del pensamiento científico. Su hazaña es aún superior a la de su gran predecesor, ISAAC NEWTON. Relegar la ley del olímpico inglés a la categoría de una primera aproximación, perfeccionar lo que parecía perfecto, como lo logró la Teoría General de la Relatividad, es por cierto el más contundente sello del genio de su autor. Sin duda, en todos los casos comparables, la Teoría einsteiniana conduce a resultados muy cercanos a los de la mecánica newtoniana. Mas, puesto entre la espada y la pared por un experimento crucial, la naturaleza se decidió cada vez a testificar —cuando menos hasta ahora— su relatividad, dando razón a EINSTEIN contra NEWTON. La prueba resultó ser a veces espectacular, así sucedió al verificarse que el rayo luminoso deja de ser rectilíneo en el espacio curvo del Universo. Es bien sabido que fue esta esplendida confirmación de la Teoría, más que ninguna otra, la que llegó a centrar repentinamente sobre la personalidad del modesto sabio la enceguedora luz de la fama mundial, confiriéndole una popularidad que jamás rodeó a ningún teórico y que no hizo sino crecer en el curso de los años para convertir al viejo sabio en una figura casi legendaria.

Hoy, casi un cuarto de siglo después de su desaparición, cabe preguntarnos qué clase de hombre era el padre de la Teoría de la Relatividad, protagonista de una de las más audaces hazañas científicas de todos los siglos.

Creador de una obra monumental, EINSTEIN era un incansable buscador de armonías cósmicas, convencido —como antes de él también KEPLER— de que son éstas las que subyacen en las grandes leyes de la naturaleza. Virtuoso violinista, enamorado de las sonatas de MOZART. ¿acaso no definió los grandes logros de la física teórica como las más altas formas de la musicalidad en el reino del pensamiento? En este reino vivía EINSTEIN tan intensamente que sus "Notas autobiográficas", escritas en el pináculo de carrera, nada revelan sobre las muchas peripecias de su vida; nada nos dicen sobre su profesorado en Zurich, en Praga, y en Berlín donde permaneció como miembro de la Academia durante casi dos decenios; tampoco evocan el recuerdo de su Premio Nobel ni de los innumerables honores que se tributaron en los dos hemisferios de la Tierra

a su genio; nada dicen de sus extensos viajes que lo condujeron, propalando sus ideas hasta China y Japón.

Pese a ello sería erróneo identificar la semblanza de EINSTEIN con la de un sabio confinado al mundo de sus problemas teóricos. Consideraba su celebridad universal como una solemne obligación de luchar por la vigencia de valores éticos, compartiendo, hasta lo profundo de su alma, las esperanzas y las angustias de sus contemporáneos. Testigo de dos guerras mundiales, ocupó la tribuna como orador en reuniones pacifistas, hablando y escribiendo en favor del completo y simultáneo desarme de todas las naciones. Constituyó el más amargo conflicto de conciencia para el gran pacifista el que los acontecimientos de la segunda guerra mundial lo obligaran a sugerir, mediante su autoridad moral, la posibilidad del arma nuclear como lo hiciera en sus célebres dos cartas dirigidas al Presidente ROOSEVELT de los Estados Unidos.

Por otra parte, respaldó con su inmenso prestigio el derecho de sus hermanos de estirpe para conseguir en Israel un hogar nacional. Cuando la barbarie hitleriana se apoderó, en 1933, de Alemania, EINSTEIN fue destituido de sus funciones; sus libros fueron quemados en la plaza pública de Berlín; sus pocos bienes, confiscados. Buscó refugio en los Estados Unidos, encontrando en el célebre Instituto de Estudios Avanzados la paz que necesitaba para proseguir su labor. Allá, en Princeton, en ese alto lugar del espíritu, rodeado por la aureola que le había conferido una de las obras científicas más geniales de la historia, el viejo sabio trataba de superar su Teoría General, para establecer una síntesis aún más amplia, que abarcara a la vez la gravitación y el electromagnetismo: la Teoría del Campo Unico. Seguía perseverando en sus esfuerzos hasta en su lecho de muerte, sin alcanzar esta vez la elevadísima meta que se había propuesto. "La búsqueda de la verdad es más preciosa que su posesión", tal fue su último mensaje.

En el alba de la ciencia occidental, el filósofo griego HERACLITO DE EFESO pensaba que en este mundo de incesantes cambios, lo único constante, lo único permanente, es el cambio mismo. Dos mil quinientos años después de HERACLITO, EINSTEIN se dedicó a buscar aquello que permanece invariante, que no cambia en este Universo de incesantes cambios. Buscaba el orden armonioso en el caos fenoménico, la unidad en la multiplicidad, buscaba los absolutos en medio de las relatividades. Para llegar a su objetivo debió romper con hábitos milenarios del pensamiento, descartar postulados aparentemente incommovibles. Demostró, por su asombrosa creatividad científica, que en el reino del conocimiento no hay verdades últimas, verdades eternas. Mas, si la ciencia —según las palabras espirituales de POINCARÉ— aparece a una poesía que la razón teje incansablemente alrededor de lo real, entonces para siempre quedará como la más hermosa metáfora de esta elevada poesía la magna obra de ALBERT EINSTEIN.

Albert Einstein, el genio

por el Ing. Daniel Anselmo Garcia

especial para "Revista Astronómica".

Ocurre generalmente que los grandes hombres, aquellos que sobresalen por sus condiciones excepcionales, ya sean éstas morales o intelectuales, no pueden aspirar al reconocimiento de sus contemporáneos, tal vez porque esas mismas condiciones, apartándose considerablemente de los valores medios de sus pares, los alejan de la comprensión y consideración que merecen.

Albert Einstein es quizás, en tal sentido, una de las notables excepciones de este siglo; no significa ello que no haya sido criticado, discutido y hasta ridiculizado, pero tal vez el hombre común, sediento de lo insólito y acicateado por el alucinante progreso material que ya se vislumbraba en las primeras décadas, ha estado dispuesto aun sin comprenderlo, a dar por cierto todo aquello que se apartara de los cánones normales conocidos. Cuando en 1905, a los veintiséis años de edad, Einstein, a la sazón un simple empleado de la oficina de Patentes de Berna en Suiza, publicó en la revista Alemana "Anales de Física" un artículo titulado "Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento", el mundo científico se conmovió; pero lo extraño, lo que no cabía en los cálculos de nadie, fue que pocos años más tarde su teoría se popularizara de tal forma que el hombre de la calle, sin tener la mas mínima idea de lo que ello significaba, la considerase como algo incuestionable, con esa intuición del hombre común que reconoce al genio. No tuvo en cuenta que el premio Nobel otorgado a Einstein en 1921 lo fuese por su trabajo sobre el efecto fotoeléctrico; para todos era el campeón de una nueva imagen del Universo y sus leyes, y como tal fue recibido ese año por las multitudes en la ciudad de Nueva York. Ese recibimiento que las masas reservan a los vencedores en magnas justas deportivas o audaces y peligrosas expediciones. Es que Einstein era el expedicionario del pensamiento, el explorador del Universo cuyas leyes buscaba desentrañar.

Nacido en la ciudad de Ulm (Wurtemberg) el 14 de marzo de 1879, no

fue por cierto un niño precoz; por el contrario, siempre fue considerado como un chico lerdo, e incluso sus padres tenían ese concepto. Comenzó a decir sus primeras palabras cuando cumplió los tres años de edad; fue un estudiante mediocre que demostró siempre muy poco interés por las materias generales, aunque, según sus profesores, demostraba una ligera preferencia por las matemáticas, asignatura en la cual "es bastante bueno", decían. Su padre tenía en Ulm una pequeña industria electromecánica no muy próspera, y como los negocios declinaban la trasladaron a la ciudad de Munich donde tampoco tuvieron mucho éxito. Cuando Albert tenía dieciséis años sus padres se trasladaron nuevamente, radicándose en Milán, Italia, pero dejándolo a él en Munich para que terminara sus estudios secundarios. Finalmente, reunido con sus padres en Milán, se traslada a Suiza donde intenta ingresar en el Politécnico de Zurich, con muy poca fortuna pues es aplazado en el examen de ingreso por su falta de conocimiento de todas las materias, excepción hecha de las matemáticas. El rector del Politécnico, que vislumbra las condiciones de Einstein, le aconseja realizar un curso preparatorio en la escuela cantonal de Aarau, con lo cual evita el examen de ingreso y puede por fin estudiar los temas que realmente le interesaban. En 1901, a los veintidós años, se casa con una estudiante húngara, Mileva Marisch. Sus nuevas obligaciones le hacen gestionar un modesto empleo en la oficina de Patentes y Marcas de Berna. Su trabajo allí era el de resumir las características de los inventos que se presentaban, a fin de otorgarles la correspondiente patente legal. Ello no le impedía realizar su actividad preferida, la de pensar, para lo cual tenía una capacidad de concentración extraordinaria. Una amiga y biógrafa suya, Antonia Vallentin, expresaba, refiriéndose a esta capacidad: "Nada aparentemente cambiaba en su expresión. A menudo una ligera sonrisa se dibujaba en sus labios. Sus ojos podían seguir abiertos de par en par, pero quedaban tan vacíos y sin luz como los de un ciego. Se podía hacer al lado suyo un gran ruido o guardar un silencio profundo, él no llegaba a sentirlo. Podía permanecer así, ausente, largo rato, o volver en sí rápidamente. Sus retornos eran tan bruscos como sus partidas. Pero era difícil desembarazarse de la impresión de que su presencia entre nosotros era algo así como prestada.

Einstein es el hombre que busca permanentemente la simplificación, la explicación sencilla y uniforme de todos los fenómenos del Universo, la gran síntesis, la imagen de la verdad.

Sin embargo, no deja de comprender lo laborioso y arduo de su propósito, como también la posibilidad de equivocarse una y otra vez el camino, e incluso de no encontrarlo; pero intuye que esa verdad existe, y así lo da a entender cuando dice: "Dios es complicado, pero no es malo". Esto expresa cuán laboriosa ve su tarea pero también cuánta fe tiene en la existencia de la verdad final. Para él las leyes fundamentales de la ciencia deben ser pocas y lógicas, y, por supuesto, verificables por medio de la experimentación.

Hasta el final de sus días lucha por esa gran síntesis, y así insiste una y otra vez en una teoría del campo unificado, que no logra concretar. Considera que el mundo físico es un hecho real y que la imagen que de ese mundo tiene el hombre debe ser modificada una y otra vez. Dice Einstein, refiriéndose a este proceso: "La fe en un mundo exterior independiente del individuo que lo explora constituye la base de toda ciencia de la naturaleza. Puesto que la percepción de los sentidos no proporciona si no indicios indirectos de este mundo exterior, de esta realidad física, esta última no puede ser aprehendida por nosotros más que a través de la vía especulativa. A ello se debe que nuestras concepciones sobre la realidad física no pueden nunca ser definidas. Si queremos estar de acuerdo, según una lógica tan perfecta como sea posible, con los hechos perceptibles, debemos estar prontos a modificar estas concepciones; dicho de otra manera, a modificar el fundamento axiomático de la física. En realidad, si se da una ojeada a la evolución de la física puede comprobarse que, en el curso de los tiempos, este fundamento ha sufrido cambios profundos".

A fines del siglo XIX, la ciencia había encontrado ya, serias dificultades para definir el marco en el cual se desarrollaban los fenómenos de la naturaleza. Galileo, en el siglo XVII, había establecido, que dado un sistema de referencia inercial, es decir, en movimiento uniforme relativo, todos los sistemas que se encontrasen en movimiento uniforme respecto al primero serían también sistemas inerciales; en otras palabras, dos viajeros en movimiento uniforme relativo, unidos a sendos sistemas inerciales, no podrán decidir quién se mueve y quién no, o si, en definitiva, los dos se mueven; pero sí podrán determinar cuál es la velocidad relativa V_r entre ellos. Si uno de los viajeros se desplaza con relación a su sistema con velocidad V , su velocidad respecto al otro viajero será la suma o la diferencia de estas velocidades, según que el viajero y su sistema se desplace en el mismo sentido o en sentidos contrarios. Otro tanto ocurrirá con las distancias del viajero que se desplaza, respecto a su sistema inercial o respecto al sistema del otro viajero. Estas sencillas leyes de adición de velocidades y distancias constituyen la Transformación Clásica. Algo diferente ocurre cuando se consideran aceleraciones y fuerzas; ellas no alteran su valor al referirlas a uno u otro sistema inercial, y de ahí surge el principio de relatividad de Galileo que puede expresarse así: "Si las leyes de la mecánica son válidas en un sistema de coordenadas, entonces también lo serán en cualquier sistema que se mueva uniformemente con relación al primero". Toda la mecánica celeste, construída por Newton, se basó en este principio y en el concepto absoluto del tiempo. Al considerar el comportamiento de la luz surge la primera dificultad; si ésta es una perturbación semejante al sonido es necesario algo que la transmita. Así como las moléculas de aire al apartarse de su posición de equilibrio y propagar esa perturbación a través de su masa, originan el sonido, así algo que se llamó éter permitiría la propagación de la luz. Si esto fuese cierto, no cuesta mucho imaginar lo que ocurriría en sistemas de coor-

denadas inerciales. Einstein, utilizando ejemplos simples, nos acerca al concepto relativista razonando más o menos como sigue: Supongamos una caja transparente que encierra una masa de aire. Un observador dentro de la caja y otro fuera de ella. La caja con su observador, el aire y una fuente emisora de sonido, en movimiento uniforme relativo respecto del observador exterior. Para el observador interior el aire se desplaza junto con él; por lo tanto el sonido tendrá la misma velocidad en todas direcciones; pero, ¿qué ocurre con el observador exterior? Para él la caja y, por lo tanto, el aire que ella contiene poseen una cierta velocidad respecto a su sistema, y por lo tanto la velocidad del sonido será mayor en la dirección del movimiento y menor en sentido contrario. ¿Qué ocurriría en las mismas condiciones si en lugar de la fuente emisora de sonido tuviésemos una fuente emisora de luz? En tal caso tendríamos que considerar dos posibilidades: Que el éter sea arrastrado por la cámara o que la cámara se desplace a través del éter. En el primer caso los observadores debieran encontrar velocidades diferentes según el desplazamiento de los sistemas inerciales, igual en todo sentido para el observador interior y mayor o menor, según el sentido considerado, para el observador exterior. Si, en cambio, el éter es fijo y la materia se desplaza a través de él, para el observador exterior la velocidad de la luz será la misma en cualquier sentido, mientras que el observador interior advertirá que la pared delantera de su caja se escapa de la perturbación luminosa y por lo tanto la velocidad será menor, mientras que la pared trasera se acerca a dicha perturbación y por lo tanto la velocidad de la luz será mayor. Es decir, con cualquier hipótesis la experiencia debe encontrar diferencias en la velocidad luminosa. Ninguna de estas hipótesis pudo ser confirmada por la experiencia; la velocidad de la luz medida en diversas formas y con métodos cada vez más precisos es constante e igual aproximadamente a 300.000 km/s. Ello y las características insólitas que debemos atribuir al éter que, sobre la base de consideraciones matemáticas debe tener una rigidez superior al acero y una densidad inferior al hidrógeno, han terminado por desacreditar al tan mentado éter, que finalmente fue desechado. En definitiva, la luz no es una perturbación de un medio hipotético, es algo "tangibile", tal vez partículas llamadas fotones que se desplazan a velocidad fantástica sin tener en cuenta para nada el sistema de referencia o el estado de movimiento de la fuente emisora. Y aquí llegamos al nudo de la cuestión. Si todos los fenómenos de la mecánica tienen la misma expresión cuando se los refiere a sistemas inerciales cualesquiera, ¿por qué la luz, y en general todos los fenómenos electroópticos y electromagnéticos no habrían de tener igual expresión al referirlos a esos sistemas? ¿Por qué razón la ciencia del siglo XIX esperaba encontrar un comportamiento diferente? Tal vez, porque admitir la constancia de la velocidad de la luz respecto a sistemas inerciales implicaba desechar la transformación clásica, tan sencilla, tan evidente en apariencia, que sólo el genio y la audacia de una mente privilegiada podía poner en duda y finalmente desechar. Einstein estableció entonces: 1º) La velocidad de

la luz en el vacío tiene siempre el mismo valor con independencia del movimiento de la fuente o del observador. 2º) En todos los sistemas de referencia en movimiento uniforme relativo, las leyes de la naturaleza son idénticas. No hay forma de descubrir un movimiento uniforme absoluto. La tercera proposición, la transformación clásica, no puede conciliarse con la primera y la segunda. Las consecuencias de eliminar la transformación clásica son tremendas para la ciencia del siglo XIX. Ya no es válida la simple ley de adición de distancias y velocidades, pero, otros conceptos considerados hasta entonces intocables, se desmoronan. ¿Cuál será la versión de cada uno de los viajeros del ejemplo anterior ante estos nuevos principios? Si volvemos a la cámara transparente con una fuente emisora de luz en su centro, el observador interior dirá. El rayo luminoso que parte del centro de mi cámara llega simultáneamente a la pared delantera y trasera. El observador exterior dirá. La velocidad de la luz es constante y no depende del movimiento relativo de mi sistema; por lo tanto, lo que puede observar es que la pared delantera de la cámara se escapa del rayo de luz, mientras que la trasera se acerca al rayo que va hacia atrás, por lo tanto ambos rayos de luz alcanzarán esas paredes en forma no simultánea. Es decir dos fenómenos son simultáneos para el observador interior y no lo son para el observador exterior. Ello implica que conceptos considerados hasta entonces absolutos dejan de serlo. El tiempo absoluto de Newton depende, de ahora en más del sistema inercial que se considere. Pero hay otros conceptos inmutables de la física clásica que se tornan relativos respecto al sistema inercial que se considere. La masa también depende del sistema de referencia; ya no es una constante. ¿Cómo conciliar todo esto con los magníficos y exactos resultados obtenidos con la aplicación de la mecánica clásica? Newton construyó la mecánica celeste sobre la base de los principios clásicos, y la exactitud de sus cálculos podrían hacer aparecer los principios relativistas como absurdos. Es que la mecánica de Newton es exacta para las velocidades normales observadas sobre la Tierra y aun en el sistema solar. Las anomalías aparecen cuando las velocidades se acercan a la de la luz. Las fórmulas relativistas se transforman en las clásicas cuando las velocidades consideradas son despreciables frente a la velocidad de la luz.

Una vez publicada su teoría, la fama del joven Einstein fue creciendo y extendiéndose por todo el mundo; fue docente libre en la Universidad de Berna; luego obtuvo una cátedra en el Politécnico de Zurich y, ya en el año 1910, fue nombrado profesor de la Universidad de Praga, por el Emperador Francisco José.

Hacia el año 1916 Einstein trata de que su teoría de la relatividad restringida, aplicable solamente a los sistemas inerciales, sea aplicable a cualquier sistema con movimiento variado. Y así propone su teoría de la Relatividad General. Es que su mente no podía limitar el marco del Universo a los sistemas inerciales, y así como en la relatividad restringida, en su afán de transmitir sus ideas se vale de cámaras transparentes,

trenes y estaciones, relojes, todos en movimiento uniforme relativo, en la Relatividad General utiliza en cambio ascensores que caen o se desplazan con movimiento uniformemente acelerado. Einstein explica su teoría de la Relatividad General más o menos en los siguientes términos. Si imaginamos un ascensor en un altísimo edificio, tan alto como sea necesario para nuestro razonamiento, y de pronto se rompe el cable que lo sostiene aquél comenzará a caer libremente. Supongamos que en ese ascensor, un observador interior deja "caer" por ejemplo su reloj y su pañuelo. ¿Cómo apreciarán este hecho el observador interior y otro exterior? Para este último, el reloj y el pañuelo, dentro del bolsillo del viajero interior o fuera de su bolsillo, caerán con la misma aceleración que el citado viajero, puesto que dicha aceleración es totalmente independiente de la masa de los cuerpos. En cambio el observador interior verá que tanto el pañuelo como el reloj se mantienen en la posición que los ha dejado, es decir exactamente como si estuviesen en un sistema de inercia. Si aplica a estos objetos una fuerza cualquiera, éstos se pondrán en movimiento hasta chocar con las paredes, el techo o el piso del ascensor. Es decir, las leyes de la mecánica clásica se cumplen para el observador interior. Si imaginamos otro ascensor en movimiento uniforme relativo respecto al primero, todas las leyes de la naturaleza se verificarán en ambos sistemas. Supongamos ahora que el ascensor está sujeto por un cable del cual se tira con una fuerza constante, digamos, hacia arriba; el ascensor se moverá con movimiento uniformemente acelerado y esa aceleración será constante. Veamos que opinan dos observadores, uno en el interior del ascensor y otro afuera. El exterior opinará que siendo su sistema inercial, el ascensor se moverá con movimiento uniformemente acelerado puesto que actúa sobre él una fuerza constante. Por lo tanto ese sistema estará en movimiento absoluto y las leyes de la mecánica no se verifican en él. Además, los cuerpos que están dentro del ascensor no podrán estar en reposo pues en cuanto quedan libres son alcanzados por el piso del ascensor. El observador interior pensará que efectivamente su sistema no es inercial, pero los cuerpos que quedan libres caen porque su sistema se encuentra en un campo gravitatorio. Vemos entonces que ambos observadores pueden explicar perfectamente su posición. Sin embargo, podríamos imaginar una experiencia que determinase quién tiene razón. En efecto, si un rayo de luz entra lateralmente por una ventana del ascensor, ¿cómo razonarían los observadores con respecto al comportamiento de este rayo? El exterior opinará que el rayo de luz penetrará por un punto lateral del ascensor y saldrá por un punto inferior de la pared opuesta, por cuanto el ascensor se desplaza con movimiento acelerado en un sistema inercial. El observador interior en cambio, pensará que su sistema se encuentra en un campo gravitatorio y por lo tanto, siendo la luz "imponderable", ésta seguirá una línea recta, encontrará por un punto lateral y saldrá exactamente por el opuesto. Pero aquí aparece nuevamente el genio. Einstein dice que siendo ambos sistemas válidos para expresar las leyes de la naturaleza, de acuerdo con la teoría general de la Relatividad, el rayo de luz se curvará en un campo gravitatorio, o lo que es una consecuencia,

que la luz ya no es un imponderable, tiene masa, y surge la famosa fórmula de Einstein de equivalencia de la materia y la energía $E = m c^2$. La curvatura de la luz en un campo gravitatorio fue comprobada en 1919 por el astrónomo Arthur Eddington durante un eclipse total de sol ocurrido en Africa.

Einstein comprende que cualquier teoría que pretenda describir el Universo debe estar sustentada por una geometría. Recurre entonces a la geometría de Riemann, quien por cierto se había adelantado a su tiempo, y explica sus ideas con una fantástica descripción. Supongamos un mundo de dos dimensiones en el cual, como en una pantalla cinematográfica, viven seres bidimensionales que de ninguna manera pueden concebir o representarse la tercera dimensión, y por lo tanto sólo pueden desarrollar una geometría plana. Supongamos también que su mundo se encuentra sobre la superficie de una gigantesca esfera. Mientras su ciencia sea equivalente a la de nuestro siglo XIX sólo conocerán una porción limitada de su espacio que apreciarán como un plano y por lo tanto serán válidas todas las proposiciones de esta geometría. Para ellos, por un punto exterior de una recta pasa solamente una paralela; dos rectas paralelas jamás se encuentran; la suma de los ángulos interiores de un triángulo vale 180° ; la razón entre la circunferencia y el radio será constante, etc., etc. Pero llegamos al siglo XX en este mundo de dos dimensiones. Sus sabios pueden viajar a grandes distancias y entonces aparecen las primeras anomalías. Los viajeros del siglo XX bidimensional constatan que las rectas se curvan, que las paralelas convergen que la suma de los ángulos interiores de un triángulo suman más de 180° ; que la razón entre la circunferencia y el radio no es constante, etc., etc., y, por supuesto su Einstein deduce que su mundo bidimensional se curva en una tercera dimensión que su mente no puede concebir pero sí intuir y que por supuesto es muy real. Nuestro espacio y sus habitantes de tres dimensiones tampoco pueden concebir un espacio curvo en una cuarta dimensión, pero esa cuarta dimensión no tiene por qué ser menos real. Ese espacio tendrá una mayor curvatura en los lugares en que la masa gravitatoria sea mayor y de ahí que podamos considerar la gravitación como una propiedad del espacio cuatridimensional, o, mejor dicho, como una consecuencia de esa curvatura. Un símil muy lejano, por supuesto, de lo que ha de ser la realidad sería el siguiente: Supongamos una gran tela de goma; en su centro coloquemos una esfera pesada; como consecuencia la tela se deformará curvándose hacia el lugar en que se encuentra dicha esfera. Si colocamos a una cierta distancia de ella, otra esfera de peso menor, esta tiende a caer sobre la mayor. Evidentemente, para evitar esa caída la esfera menor, más liviana, debe girar en torno a la mayor con una velocidad calculable. La curvatura del espacio en una cuarta dimensión podría ser la causa de la gravitación.

Las consecuencias de las ideas de Einstein son enormes; su genio y su audacia dieron por tierra con los principios clásicos imperantes en el siglo XIX, pero no sería

ilógico suponer que así como la mecánica de Newton se encuentra contenida en la mecánica relativista como un caso límite, así la mecánica relativista puede estar contenida en otra que la abarque y que se acerque a esa verdad que Einstein buscó hasta el último día de su vida. Alguien dijo que estos hombres no debían morir, pero tal vez la muerte nos permita descubrir el gran misterio.

Se ha atribuido a Einstein el desarrollo de la bomba atómica, pero en realidad sólo lo dio la voz de alarma cuando el dos de agosto de 1939 envió una carta al presidente Roosevelt en la cual decía: "Señor Presidente, durante los últimos cuatro meses se ha hecho posible —gracias a los trabajos de Joliot en Francia y Fermi y Szilard en América— efectuar reacciones nucleares en cadena en una gran masa de uranio, de la que se generarían grandes cantidades de energía y gran cantidad de elementos nuevos similares al radio. Este nuevo fenómeno podría aplicarse también a la fabricación de bombas de una enorme potencia. Tengo entendido que actualmente Alemania ha interrumpido la venta de uranio procedente de las minas checoslovacas que tiene bajo su dominio". Roosevelt contestó recién el 19 de octubre de 1939 agradeciendo su carta y comunicándole que había dispuesto la reunión de una junta, que finalmente condujo a la creación de la bomba atómica. Años más tarde, ante el anuncio de la destrucción de Hiroshima, Einstein dijo: "Si lo hubiese sabido... no hubiese escrito jamás esa carta". Es que este hombre era ante todo un pacifista para quien la vida humana es el supremo valor del Universo. Sin duda Einstein cambió profundamente la imagen del Universo, repitiendo en cierta forma, los esfuerzos de otros hombres que como Galileo, Kepler y Newton modificaron en su época las ideas entonces imperantes. Fue una mente prodigiosa, pero de una calidad humana que, por cierto, pocas veces acompaña al genio. Judío de nacimiento, no profesó religión alguna, pero en el fondo de su ser está con el convencimiento de la existencia de una mente superior que se manifiesta en el mundo de la experiencia. "Esa, decía, constituye para mí la idea de Dios".

La Creacion del Universo

por Wasley S. Krogdahl, *University of Kentucky*

Traducido de "Sky and Telescope" de marzo de 1973 con autorización de Sky Publishing Corporation y conformidad del autor, los que re tienen los derechos de autor.

Quizás nada excite más la curiosidad que la cuestión de los orígenes fundamentales. ¿Quién no ha reflexionado sobre la pregunta de Dios a Job: "Donde estabas tu cuando coloqué los cimientos de la Tierra"? Precisamente la mayoría de los científicos opinan, frustrados o resignados, que la creación del universo material está fuera de su competencia científica y, en realidad, probablemente más allá del alcance legítimo de la ciencia.

No obstante, las cuestiones del origen, edad, límites e historia del universo son demasiado persistentes para ser dejadas de lado como incontestables. Tratemos entonces de abordar el problema de modo que al menos podamos intentar una respuesta, aunque sea sólo tentativa.

Por lo que sabemos actualmente, toda materia es parte de alguna galaxia. Entre las galaxias hay espacio vacío. Dado que las mismas galaxias están frecuentemente agrupadas en cúmulos que pueden contener hasta varios millares, es probablemente adecuado decir que las galaxias son los "ladrillos" del universo. ¿De qué manera, entonces, se encuentran distribuidas en el espacio?

En el cielo casi no se observan galaxias cerca de la Vía Láctea, sino que se encuentran en mayor número cerca de los polos galácticos. Empero, la ausencia de galaxias cerca de la Vía Láctea es meramente aparente, dado que nosotros no podemos ver "a través" de las nubes oscuras de polvo de nuestro sistema. Se puede evitar en gran medida este efecto si miramos "hacia afuera", en dirección de un polo galáctico. Así, el número de galaxias es estadísticamente el mismo en todos los cuadrantes del espacio. Cuanto más débiles y más numerosas, más uniforme resulta su distribución sobre la esfera celeste. Esta distribución es isotrópica es decir, independiente de la dirección.

Este es un hecho de vital importancia, ya que limita estrechamente el tipo de estructura que el universo puede tener. Una posibilidad es que el universo sea homogéneo, de modo que dos volúmenes iguales suficientemente grandes de espacio tengan contenidos y organizaciones idénticos independientemente de su localización u orienta-

ción. Un tal universo es homogéneo en el mismo sentido en que lo es la leche homogeneizada, y consecuentemente parecerá ser el mismo en toda dirección.

Una segunda posibilidad, a menudo pasada por alto ya que es intuitivamente descartada, es que el universo parezca isotrópico debido a que está construido mediante capas esféricas concéntricas y homogéneas dentro de las que nos encontramos en el centro común. Estamos inclinados a descartar tal modelo casi reflexivamente, ya que literalmente nos sitúa en el centro del universo.

¿Podemos encontrar observaciones que puedan discriminar un tipo de universo de otro? Para atacar este problema consideremos una paradoja apuntada hace casi un siglo y medio por Wilhelm Olbers, un físico de Bremen. Para establecer la finitud o infinitud del universo trató de llegar a ciertas conclusiones inevitables de la suposición de que el universo fuera infinito. Sostuvo que un universo homogéneo e infinito sería de tal naturaleza que resultaría imposible "mirar a través de él" en cualquier dirección sin ver siempre una estrella en cualquier dirección que uno mirase y en todo momento. En este caso, ¡el cielo entero aparecería tan brillante como la superficie de una estrella mediana tal como el Sol! El hecho de que esta conclusión esté en dramática contradicción con la experiencia común constituye la paradoja. Algo en este razonamiento está mal. ¿Qué podrá ser?

Además de las condiciones explícitamente enunciadas por Olbers, hay implícitamente al menos otras dos. Primero, el universo no es solamente espacialmente infinito, sino también temporalmente infinito. Segundo, sus partes se encuentran en reposo relativo en promedio. Si la primera condición no fuera cierta, la luz procedente de las partes más remotas del universo no hubiera tenido tiempo de llegar hasta nosotros y no sería válida la conclusión de Olbers. Si la segunda condición no fuera cierta, las galaxias probablemente retrocediendo podrían estar alejándose de nosotros simétricamente tan rápidamente que la radiación total que recibiríamos sería despreciable. Aquellos familiarizados con el concepto del universo en expansión quizá reconozcan que este argumento es, en verdad, la solución de la paradoja. Menos obvia resulta la posibilidad de que esta solución pueda contradecir las otras dos suposiciones de Olbers y establezca la finitud espacial y temporal del universo. Analicemos las observaciones y veamos a que nos conducen.

Los primeros estudios de los espectros de galaxias revelaron inmediatamente que sus líneas espectrales no se encontraban en las longitudes de onda acostumbradas para los diferentes elementos químicos sino en longitudes de onda más largas. Particularmente notable y significativo, los corrimientos espectrales de las galaxias siempre se dirigían hacia el rojo, eran mucho mayores que ninguno previamente conocido, y resultaban invariablemente mayores cuanto más distantes estaban las galaxias. Esta relación es conocida como la ley de Hubble para el corrimiento al rojo. La misma forma de la

ley resulta válida en todas direcciones. ¿Qué significa esto? Una interpretación directa del corrimiento al rojo de las galaxias implica que estos objetos se encuentran invariablemente alejándose de nosotros cediendo, y a velocidades de cientos, miles y decenas de miles de kilómetros por segundo, y siempre su relación directa con las respectivas distancias. La mayor velocidad de recesión conocida en el presente es de alrededor de 150.000 kilómetros por segundo, ¡80% de la velocidad de la luz! De acuerdo con la ley de Hubble, cuanto más alejada se encuentra una galaxia, más rápidamente se aleja. Esta es la base de la conclusión de que todas las galaxias se están alejando de la nuestra, que el universo se está expandiendo isotrópicamente (de la misma manera en toda dirección).

Independientemente de la interpretación que se le dé al corrimiento hacia el rojo él resuelve, empero, la paradoja de Olbers. Las galaxias cuyas velocidades están cerca de la velocidad de la luz sufren un corrimiento al rojo tan intenso que virtualmente no recibimos nada de sus radiaciones en longitudes de onda correspondientes a la región visible del espectro. Ni aun todas ellas juntas aparecerían suficientemente brillantes para ser visibles; mucho menos entonces, cegadoramente brillantes.

La implícita expansión del universo inspira nuevas preguntas. ¿Por qué se expande el universo? ¿Por cuánto tiempo se ha venido expandiendo? ¿Estamos realmente en el centro? ¿Es infinito?

Para las respuestas consideremos un modelo teórico del universo. El número de modelos de universos disponibles es, hablando estrictamente, infinito. Afortunadamente podemos restringir severamente las alternativas en primera instancia a universos que sean isotrópicos y que satisfagan la ley de Hubble. Un modelo combina muchas características atractivas con un enfoque directo y una simplicidad que no se encuentran en otros. Es el modelo de relatividad cinemática propuesto durante la década de 1930 por el astrónomo y cosmólogo británico E.A. Milne.

Para ser concretos, imaginemos un enjambre de partículas, digamos: un puñado de perdigones. Supongamos que el puñado está confinado en nuestras manos cerradas, agitadas insistentemente de modo de hacer que los movimientos de las partículas estén distribuidos al azar. Ahora dejémoslas en libertad simplemente abriendo las manos. Si el experimento pudiera ser llevado a cabo en el espacio exterior (independientemente de la gravedad terrestre), observaríamos que el enjambre de partículas se expande.

La razón es simple. Toda partícula se está moviendo, y parte de su movimiento se dirige, inicialmente, o bien hacia el centro del enjambre o bien hacia afuera de él. Aquéllas que viajan hacia afuera continúan haciéndolo después que fueron liberadas. Aquéllas que se movían hacia el centro pronto atraviesan el volumen originalmente pequeño del enjambre y a partir de entonces comienzan a moverse hacia afuera. En breve,

el enjambre originalmente compacto de partículas moviéndose al azar, rápidamente se transforma en un enjambre que se expande exclusivamente. Más aún, las partículas más rápidas habrán alcanzado en cualquier tiempo posterior las mayores distancias desde el punto de partida. Por consiguiente, habrá una segregación por velocidad de modo que desde el centro del enjambre uno percibirá una expansión general hacia afuera caracterizada por mayores velocidades a mayores distancias. Este modelo simple incorpora la obediencia a la ley de Hubble como una característica esencial e inevitable. Un enjambre de galaxias haría lo mismo.

No sólo la ley de Hubble será válida para un observador en el centro, sino que aparecerá cierta desde cualquier partícula. Las de delante de una partícula en especial están retrocediendo de ella debido a su mayor velocidad hacia afuera. Las que están por detrás parecerán retroceder pues la partícula misma se estará alejando más rápidamente por delante de ellas. Para cada partícula entonces, el resto parecerá estar expandiéndose en torno a ella.

Empero, tal como está enunciado, el modelo es inaceptable. Pensemos en cualquier partícula (galaxia) que por su mayor velocidad ha avanzado más allá que todo el resto. Desde una tal partícula, las otras serán todas vistas detrás de ella, y sólo el vacío por delante. Claramente, el universo no aparecería isotrópico para ninguno de estos miembros super rápidos del enjambre.

Para remediar este defecto, reconocemos que una tal partícula es la última (la más remota) en su propia particular dirección. El remedio consiste en requerir que no haya última partícula en ninguna dirección. Pero ello implica claramente un número infinito de partículas, ya que sólo de este modo cada una puede tener otras más allá.

Hemos asegurado ahora para nuestro modelo tanto la posibilidad de isotropía como la obediencia a la ley de Hubble. Empero, si bien un número infinito de partículas puede resultar aceptable a la mente del hombre, ¿un número infinito de galaxias hace tambalear nuestra imaginación! Además, ¿un número infinito de galaxias no requerirá un volumen de espacio infinitamente grande para contenerlas?

Antes de descartar nuestro modelo definitivamente, empero, afrontemos la última pregunta. Si el rango de las velocidades de las galaxias fuese infinitamente grande, entonces las distancias a las cuales las galaxias podrían moverse en un tiempo finito serían igualmente ilimitadas, como lo sería el volumen disponible para ellas. Empero, se acepta generalmente que ningún cuerpo material puede adquirir una velocidad igual o superior a la velocidad de la luz en el vacío. No se conocen excepciones, por más inexplicable o arbitrario que ello parezca.

Esta restricción sobre las velocidades, la que limita las galaxias a un volumen finito, es también la génesis de nuestro escape del requerimiento aparentemente impo-

sible de tener un número infinito de galaxias en un volumen finito. Dado que la velocidad de la luz es un límite inalcanzable para las velocidades de los cuerpos materiales, un cuerpo cuya velocidad se aproxima a la de la luz se verá al mismo tiempo contraído en la dirección de su movimiento en una cantidad que se aproxima a una contracción total hasta espesor cero a la velocidad de la luz. Este efecto, llamado la contracción de Lorentz, no es meramente hipotético. Es verificado en el comportamiento observado de los rayos cósmicos en la atmósfera de la Tierra, y de otros modos.

Veamos cómo la contracción de Lorentz puede sacarnos de nuestro predicamento aparentemente falso. Una galaxia más lejana se estará alejando de nosotros más rápidamente que otra menos alejada. Consecuentemente, estará más contraída en la dirección de su movimiento, esto es, en su profundidad a lo largo de la línea de visión. Las galaxias alejándose con casi la velocidad de la luz, si bien normales en sus dimensiones transversales, serán extremadamente delgadas. Más allá de ellas, en fin, galaxias desplazándose más cercanas aún a la velocidad de la luz tendrán un espesor aún más próximo a cero.

Para satisfacer la exigencia de que puedan "acomodarse" un número infinito de galaxias en un volumen finito, consideremos un ejemplo concreto: el de galaxias en alguna dirección en el último centímetro del volumen en expansión. Dado que están tan cercanas al borde, sus velocidades son sólo infinitamente menores que la velocidad de la luz y, consecuentemente, sus espesores son excepcionalmente pequeños. Imaginemos una primera galaxia puesta en la primera mitad del último centímetro, una segunda (más delgada) en el próximo cuarto de centímetros, una tercera (aún más fina) en el siguiente octavo de centímetro..., y así sucesivamente. Claramente, no hay límite al número que pueden ubicarse mediante este esquema. Si bien este no es ciertamente el método usado por la naturaleza, nos asegura al menos que el procedimiento no es imposible.

Aun así, nuestro modelo puede parecer insatisfactorio en ciertos aspectos. ¿No será la visión, desde una de estas congestionadas galaxias, marcadamente no-isotrópica, y no nos habremos tomado para nosotros mismos la privilegiada posición en el centro del universo? Para ver que esto no es así imaginemos que estamos haciendo un viaje desde la Vía Láctea, aparentemente en el centro del universo, hacia alguno de esos remotos objetos en el último y congestionado centímetro. Alcanzar esa galaxia sólo será posible si viajamos a una velocidad mayor que su velocidad de alejamiento, y consecuentemente, aún más cerca de la velocidad de la luz. Descubriremos que, dado que la velocidad relativa de la galaxia blanco es ahora muy pequeña, ella se habrá "descontraído" hasta un espesor normal. También lo hacen así los espacios que la separan de sus vecinas. Cuando finalmente arribemos, encontraremos un ambiente muy parecido al que dejamos. Lo que es más, nuestro propio movimiento habrá hecho que la Vía Lac-

tea retroceda a casi la velocidad de la luz, de modo que ella y sus vecinos aparecen ahora comprimidos y congestionados cerca de los límites del universo en la dirección de la que hemos venido. Observadores en reposo local en cualquier lugar en nuestro modelo de universo tienen la impresión de estar ellos mismos en el centro. El "centro" no es una estación que necesite causarnos turbación, dado que no hay un centro único.

¿Es un tal universo finito? Ciertamente no, en términos de contenido, dado que hay un número infinito de galaxias. Del mismo modo, su límite es inalcanzable, ya que está viajando a la velocidad de la luz y no puede ser aventajado. Esta no es empero la respuesta completa, pues el universo se ha estado expandiendo desde el momento de su liberación. Su contorno se encuentra entonces a tantos años-luz en cualquier dirección como años ha habido desde que la expansión comenzó. Estimaciones presentes a partir de las distancias y velocidades observadas en las galaxias, ponen valor entre 15 y 20 mil millones de años. Luego no puede haber galaxias más alejadas de nosotros que 15 a 20 mil millones de años-luz. En este sentido el universo es finito. La quesción de la finitud del universo es, quizá, más sutil de lo que originalmente habíamos creído.

Finalmente, nuestro modelo está limitado no solamente en extensión sino también en edad de 15 a 20 mil millones de años. Esto representa cuánto tiempo se ha estado expandiendo, y no existe vestigio observable de un estado previo. Consecuentemente, en lo concerniente a los cosmólogos el universo fue "creado" 15 o 20 mil millones de años atrás. En el presente estado de nuestro conocimiento, no podemos decir nada más acerca de su origen. La creación fue un evento, no un proceso y, consecuentemente, más allá del escudriñamiento de cualquier observador interno y sin registros.

¿Dónde ocurrió la creación? Obviamente, ocurrió dentro de ese pequeño volúmen—idealmente puntiforme—desde el que comenzó la expansión general. Nosotros que estamos en el "centro" del universo actualmente observable podemos en consecuencia reclamar que nos encontramos en el lugar de la creación. Pero dado que otras galaxias también se ven a sí mismas como los centros de sus universos observables, debemos aceptar que sus derechos acerca de esta distinción son tan válidos como los nuestros. La respuesta un tanto sorprendente es entonces que la creación ocurrió ¡en todas partes!

El Dr. Olbers seguramente se mostraría sorprendido por la manera en la cual hemos resuelto su paradoja. No sólo hemos propuesto que el universo no es infinito y no homogeneo, sino que hemos encontrado que no es ni eterno ni estático.

Bibliografía Comentada

LA FISICA AVENTURA DEL PENSAMIENTO

Albert Einstein y Leopold Infeld, Editorial Losada.

La sección "bibliografía comentada" pretende llevar al lector comentarios sobre los libros relativamente recientes aparecidos en el mercado y adquiridos por nuestra biblioteca.

En esta oportunidad nos apartaremos de esta norma ya que comentaremos un libro cuya primera edición del original en inglés apareció hace exactamente cuarenta años (1939). Si no mediara alguna razón especial, esta actitud podría parecer poco menos que un anacronismo. Pero, efectivamente, en este caso median circunstancias especiales; este año, 1979, se recuerda en prácticamente todo el mundo el centenario del nacimiento de Albert Einstein, el físico más grande del siglo XX. Revista Astronómica ha querido sumarse a esta recordación por lo que el presente número extraordinario está dedicado en homenaje a la memoria del gran físico. Creimos oportuno entonces dedicar la sección bibliográfica al comentario de un libro de divulgación que es, sin duda, un clásico que resistirá el paso del tiempo, y cuyo contenido no se ha visto perturbado por los cuarenta años transcurridos desde su publicación.

El libro no es un texto convencional de física para el nivel de educación medio, sino más bien una indagación profunda sobre la naturaleza del universo que nos rodea y sus leyes fundamentales. Pocas veces la traducción libre del título de un libro haya sido más acertada que en este caso; en efecto el título original en inglés, "The Evolution of Physics" (La Evolución de la Física), ha sido reemplazado en la versión española por "La Física Aventura del Pensamiento". Es precisamente de esto de lo que trata el libro; en un lenguaje claro, sin recurrir más que ocasionalmente a alguna fórmula matemática elemental y haciendo uso de experimentos mentales e ilustraciones, los autores desarrollan de un modo lógico y consistente la evolución del pensamiento científico. La obra está dividida en cuatro grandes capítulos: Génesis y Ascensión del Punto de Vista Mecánico; La Declinación de la Interpretación Mecánica de la Física; Campo y Relatividad; Cuantos.

En el primer capítulo se describen fenómenos elementales de cinemática, el principio de inercia, el concepto de vector y el de escalar, el problema del calor como una sustancia, y la teoría cinética de la materia cuya importancia reside justamente en ex

plicar fenómenos termodinámicos mediante una explicación mecanicista.

"Los admirables resultados de la mecánica clásica sugieren la conjetura de que la concepción mecánica puede aplicarse de modo coherente a todas las ramas de la física, que todos los fenómenos pueden explicarse por la acción de fuerzas de atracción o repulsión, la cual depende únicamente de la distancia y obra entre partículas invariables".

Se destaca además en este capítulo un hecho de trascendental importancia en el posterior desarrollo de la teoría general de la relatividad que pasó inadvertido por la concepción mecanicista: nos referimos a la equivalencia entre la masa inercial y la gravitatoria, hecho que la escuela mecanicista atribuyó a la casualidad sin darle demasiada trascendencia.

El segundo capítulo nos enfrenta con los fenómenos de tipo eléctrico y magnético. Los intentos de interpretaciones mecánicas de la luz y los fenómenos eléctricos encuentran graves dificultades. La desviación de una aguja magnética por la acción de una carga móvil, no solamente parece depender de la distancia de la carga sino, también, de su velocidad. Además, la fuerza -ni atractiva ni repulsiva- actúa perpendicularmente a la línea de unión de la aguja y la carga. En el campo de la óptica, la evidencia a favor de una teoría ondulatoria es abrumadora. Pero la suposición de una onda presupone la presencia de un medio por la que se propagara. La pasmosa velocidad de la luz impondría a este medio -en una interpretación mecánica- propiedades bastante definidas; en especial, a mayor velocidad de propagación, más rígido debe ser el medio, sin embargo el "eter" resultaba totalmente intangible y ajeno a toda otra interacción que no fuera la propagación de la luz. Las dificultades encontradas son tan grandes que no queda otro remedio que abandonar la interpretación mecánica de la naturaleza.

El tercer capítulo introduce el concepto de campo como un ente con identidad propia y existencia concreta. Las interacciones se propagan con una velocidad finita. Si el Sol "desapareciera" en un determinado instante, en la Tierra recién nos enteraríamos unos ocho minutos después, es decir el campo gravitatorio solar a la altura de la órbita terrestre seguiría teniendo existencia propia hasta unos ocho minutos después de la "desaparición" del Sol. Luego de la descripción de experiencias de Faraday y Oersted, llegamos a la monumental obra de Maxwell quien logró unificar en una teoría consistente y cerrada todos los fenómenos eléctricos y magnéticos: esta teoría además puso de manifiesto en forma bien clara la importancia del concepto de campo. Las ecuaciones de Maxwell incluían no obstante un elemento perturbador: por primera vez aparecía en una fórmula que describiera una interacción una velocidad absoluta, la velocidad de la luz. Los infructuosos esfuerzos -principalmente de Michelson- por medir la velocidad de propagación de la Tierra respecto al "eter", invariablemente conducían a resultados nulos.

Diversas e ingeniosas interpretaciones pretendieron dar cuenta a comienzos de nues

tro siglo de este hecho. Todas resultaron infructuosas. Debió esperarse a que el genio de Einstein se atreviera a dar el paso trascendental de aceptar la evidencia experimental y renunciar a lo que parecía obvio y evidente: la ley clásica de transformación de velocidades. A continuación se enuncian los dos postulados de la relatividad especial y se analizan las pasmosas consecuencias que traen. Conceptos como el de simultaneidad pierden su carácter absoluto; el tiempo y las distancias cambian al pasar de un sistema inercial a otro. Se nos introduce en el concepto del continuo espacio-tiempo como el marco natural para describir las leyes de la física. De especial importancia resulta además la equivalencia entre masa y energía. Finalmente se describen los lineamientos de la teoría general de la relatividad, la que no necesita del requerimiento de los sistemas de referencia inerciales. Como se señalara anteriormente se destaca la importancia de la equivalencia de la masa inercial y la gravitatoria expresada en el principio de equivalencia que es la clave de la generalización de la relatividad. Los autores destacan en forma clara que si bien el andamiaje matemático necesario para arribar a la generalización de la teoría de la relatividad es muy complicado (análisis tensorial), ello es "el precio" que se paga por obtener una teoría más simple y bella de la gravitación, menos artificiosa y de gran coherencia interna.

El último capítulo está dedicado a la descripción de fenómenos atómicos cuya interpretación nos obliga a buscar nuevos conceptos físicos. La estructura corpuscular resulta común a la materia (átomos, electrones, etc.) como así también a la carga eléctrica y a la energía (fotones). Experimentos como la difracción de fotones o electrones enfrentan con una descripción necesariamente estadística del comportamiento de los mismos. Pierde sentido una concepción estrictamente determinista del comportamiento de las partículas cuando estas resultan pertenecer al nivel atómico o elemental. Se nos introduce al concepto de ondas de probabilidad y a la dualidad onda-partícula.

Finaliza el libro con algunas apreciaciones de carácter filosófico bajo el subtítulo de "Física y Realidad". En alguna medida, en estos párrafos finales está condensado el espíritu de esta obra y resume el pensamiento filosófico de los autores. Reproducamos dos de ellos:

"La ciencia no es sólo una colección de leyes, un catálogo de hechos sin mutua relación. Es una creación del espíritu humano con sus ideas y conceptos libremente inventados. Las teorías físicas tratan de dar una imagen de la realidad y de establecer su relación con el amplio mundo de las impresiones sensoriales. Luego la única justificación de nuestras estructuras mentales está en el grado y en la norma en que las teorías logren dicha relación".

y más adelante, al final del libro:

"Sin la creencia de que es posible asir la realidad con nuestras construcciones teóricas, sin la creencia en la armonía interior de nuestro mundo, no podría existir la ciencia. Esta creencia es y será siempre el motivo fundamental de to

da creación científica. A través de todos nuestros esfuerzos, en cada una de las dramáticas luchas entre las concepciones viejas y nuevas, se reconoce el eterno anhelo de comprender, la creencia siempre firme en la armonía del mundo, creencia continuamente fortalecida por el encuentro de obstáculos, siempre crecientes hacia su comprensión".

Albert Einstein fue protagonista fundamental de los revolucionarios cambios en nuestra concepción de la realidad que tuvieron lugar a comienzos de nuestro siglo. Con la ayuda del conocido divulgador Leopold Infeld nos ha legado un libro excelente accesible a todo lector culto que se interese en "...las tentativas de la mente humana para encontrar una conexión entre el mundo de las ideas y el mundo de los fenómenos".

Alejandro Di Baja (h)

DIPOSITIVOS ASTRONOMICOS

Proximamente estaran a la venta en nuestra sede social series de diapositivos color sobre temas astronomicos. Consulte en Secretaria.

Noticias de la Asociación

SEMANA DE JUPITER

Durante la semana del 15 al 20 de Enero se desarrollo en nuestra sede Social la llamada "Semana de Júpiter", en la cual la Asociación mantuvo sus puertas abiertas al público todos los días para observar al planeta Júpiter que se encontraba próximo a su oposición.

Concurrieron alrededor de 2.000 personas, que vieron primeramente un audiovisual referido a las características del planeta, seguidamente escucharon una charla sobre astronomía general en el museo y sobre construcción de telescopios en el taller de óptica. Por último pasaron a las cúpulas en donde pudieron observar directamente a través de nuestros telescopios a Júpiter, como así también nebulosas, cúmulos y otros objetos del firmamento.

La dirección, compaginación y textos estuvieron a cargo del subdirector de observatorio Sr. Claudio Apelbaum y del encargado de la Subcomisión de Planetas Sr. Carlos Manuel Rúa. La exhibición del audiovisual fue realizada por el Sr. Claudio Cuello; las charlas del museo las dieron la Srta. Alejandra Crespo y el Sr. Miguel Ruffo y las del taller la Srta. Flora Clauré. La atención del público en la observación con instrumentos la realizaron en el Gautier los Sres. Eduardo De Tomaso y Gustavo Remestvensky, en el Zaiss de 110 mm. Martín Monteverde y David Sher, y a cargo de instrumentos de 150 mm. los Sres. Claudio Martinez, Ariel Otero, Damian Zanette y Cesar Luoni. Las ventas fueron efectuadas por la Srta. Susana Rodriguez.

La dirección quiere agradecer a todos los que han participado por su capacidad y desenvolvimiento desmostrados durante la realización de los trabajos, como así también a los Sres. Roberto Pedace, Carlos Antonioli y Ricardo Gomez por su ayuda prestada en la atención del público; al Sr. Alejandro Montes por el material didactico facilitado; a todos aquellos que directa o indirectamente colaboraron y en especial al Ing. Cristián Rusquellas sin cuyo aporte nuestro trabajo no se hubiera cristalizado.

Considerando el éxito obtenido esperamos poder repetir este tipo de trabajo con el fin de dar al público un conocimiento mayor de nuestro Universo.

ASAMBLEA ANUAL ORDINARIA DEL 17 DE ABRIL DE 1979

De acuerdo a lo establecido en su oportunidad, el día 17 de abril de 1979, tuvo efecto, la Asamblea Anual Ordinaria. Cumplido el tiempo de espera que establecen los Estatutos, se dió comienzo a la misma a las 20 horas, en el local social de la Asociación, con los socios presentes (23). En cumplimiento de la Orden del Día, se procedió primero a la lectura y aprobación del Acta de la Asamblea anterior, la que fue aprobada sin observaciones y por unanimidad.

El segundo punto disponía la lectura de la Memoria y Balance General, Cuenta de Gastos y Recursos e Inventarios al 31 de diciembre de 1978. La moción del señor Alejandro Di Baja de omitir su lectura, dado que estuvo expuesta para información de los socios, resultó aprobada y la Memoria y el Balance General fueron aprobados por unanimidad y sin observaciones.

Se consideró luego el punto 3º designación de la Junta Escrutadora; el señor Presidente de acuerdo con el Art.29, designó al señor Eduardo N.J. De Tommaso y la Asamblea a la señorita María Susana Cánepa y Señor Ricardo Gómez, los cuales asumieron sus funciones.

A continuación se pasó a cuarto intermedio para dar cumplimiento al punto 4º; elección de miembros para desempeñar los cargos de Presidente, por cesación de mandato del Dr. Fernando P. Huberman (3 años); Vicepresidente, por cesación de mandato del Ing. Rusquellas (3 años); dos vocales titulares, por cesación de mandato del Sr. Carlos Antonioli (3 años) y Dr. Fernando Larumbe (3 años). Tres vocales suplentes, por cesación de mandato del Sr. Adolfo Steimberg (1 año); Sr. Mario Vattuone (1 año) y Sr. Jorge Luis Ferro (1 año).

El recuento de votos dió: seis votos por correo y 23 votos presentes, registrándose un total de 29 votos. Votaron por correo los socios: Sr. José Cousido (22), Ing. Enrique Ferráz (1142), Sr. Pedro Bononi (1244), Sr. Washington Villar (3640), Srta. Marta N. Plevani (3346) y Sr. Ramón Rivardula (3566). Votaron los siguientes socios presentes: Angel Papetti, Federico Friedleim Bustillo, Luciano Ayala, Alejandro Di Baja, Augusto E. Osorio, Fernando P. Huberman, Jorge G. Knoblanck, Adolfo J. Brennan, Eduardo N. J. De Tommaso, Elena L.M. Campos, L. Arregui, María Susana Cánepa, Antonio Mannuccia, Aldo F. Cánepa, Claudio Apelbaum, Ricardo Gómez, Rodolfo Morales, Cristián Rusquellas, Jorge Kappan, José Luis Ferraz, Juan A. Morteo y Gustavo Renzi.

Terminado el escrutinio se obtuvo el siguiente resultado: Para Presidente por 3 años, el Ing. Cristián Rusquellas, 25 votos. Para vocal titular por 3 años, el Señor Carlos Antonioli, 26 votos. Para vocal titular por 3 años, Señor Mario Vattuone, 26 votos. Para vocales suplentes por 1 año, señores: Adolfo Steinberg, Jorge Luis Ferro y Claudio Apelbaum, 24 votos cada uno.

Proclamados los electos se pasó a tratar el punto 5º: elección de tres miembros para integrar la Comisión Revisora de Cuentas para 1979 decidiéndose por moción del Sr. Antonio Mammuccia elegir al Dr. Fernando Larumbe y reelegir a los señores Carlos E. Gondell y Escribano César R. del Rfo.

Al pasar al punto 6º, modificación de la cuota social, el Presidente leyó una propuesta del Tesorero, fue la siguiente: Julio a Setiembre (1979): Activos: \$ 16.400 ; Cadetes y Estudiantes: \$ 12.300.- octubre, noviembre y diciembre (1979) : Activos: \$ 20.500; Cadetes y Estudiantes: \$ 15.400, enero, febrero y marzo (1980) : Activos: \$ 25.600; Cadetes y Estudiantes: \$ 19.200, resultando un aumento acumulativo mínimo y trimestral del 25% en las cuotas, con ajustes, lo cual conducirá a un incremento neto del 143,8% sobre la cuota enero-marzo 1979. De acuerdo a la moción, entraban en vigor a partir del 2do. Trimerstre de 1979. Puesta a consideración fué aprobada por unanimidad.

A continuación se trató el punto 7º, Venta de Rezagos, autorizándose por unanimidad la venta de rezagos provenientes del espectroscopio y el radar, dándose prioridad de adquisición a los señores socios.

El último punto del Orden del Día trataba la designación de dos socios para firmar el Acta de la Asamblea conjuntamente con el Presidente y el Secretario. Por unanimidad se designaron: la Srta. María Susana Cánepa y el Sr. Ricardo Gómez para tal fin.

No habiendo más asuntos que tratar, el Presidente Dr. Fernando P. Huberman, dio por finalizada la Asamblea, siendo las 21,30 horas.

SOCIOS NUEVOS

4419	ALAN DAVID MARCH	4431	VICTOR M. FURCI
4420	ROBERTO DANIEL MAIDA	4432	ANGEL GUILLERMO SZRABSTENI
4421	ALBA JUSTA ZARATE	4433	ENRIQUE ANGEL MIGUEL
4422	MARCELO EDGARDO MASU	4434	CONSTANTINO BAIKOUZIS
4423	ELSA Y. CASTRO	4435	MARCELO PEPIO
4424	ADRIAN LEANDRO SANCHEZ	4436	LUIS MARIA SOTO
4425	ROBERTO JOSE LUIS	4437	ROBERTO JOSE ANZIANO
4426	SILVIA S. CORONADO	4438	MONICA DEL PIANO
4427	PATRICIA S. PEDRO	4439	LEONARDO D. VALDES
4428	ALICIA MORENO	4440	CARLOS DANIEL HAUCK
4429	ESTEBAN ANDRES FIEIRAS	4441	CLAUDIO SIMON TISMINETZKY
4430	CLAUDIA TRINIDAD PORTA	4442	CLAUDIA ALEMAN

4443 JUAN ALBERTO LOPEZ
4444 SARA MARTINEZ
4445 ADRIANA B. ANZOLA TORRES
4446 CATALINA ROSA LINDBERG
4447 FABIAN ESTEBAN MARCOVICH
4448 LIDIA DI LISIO
4449 JOSE OSVALDO MICHELOUD
4450 GUSTAVO UCCI
4451 FERNANDO J. GARCIA BUCCIANI
4452 ENRIQUE RAMIRO PUJALS

4453 DANIEL HORACIO BONELLO
4454 IGNACIO J. JORGE THOMAS
4455 GERARDO LUIS OVIEDO
4456 IRMA VEGA
4457 MONICA SILVIA MERLI
4458 IRMA SUSANA MERMOS
4459 CARLOS RAUL DIAZ
4460 HUGO JORGE MOLTENI
4461 LUCIO JOSE SCHIAVO

Oculares

RAMSDEN: con montura \emptyset 23 mm

$f = 4$ mm

$f = 7$ mm

$f = 14$ mm

$f = 24$ mm

ERFLE: con montura \emptyset 23 mm

$f = 12$ mm (campo 85°)

WLOSSEL: con monturas \emptyset 28 y 50 mm

$f = 25$ mm

$f = 50$ mm

OCULAR ESPECTROSCOPICO

montura \emptyset 23 mm

$f = 24$ mm

METALIZADO DE ESPEJOS

ENVIOS AL INTERIOR

Ludovico Hordij
Luis Viale 23
HAEDO C.P. 1706
TE.: 659-6609