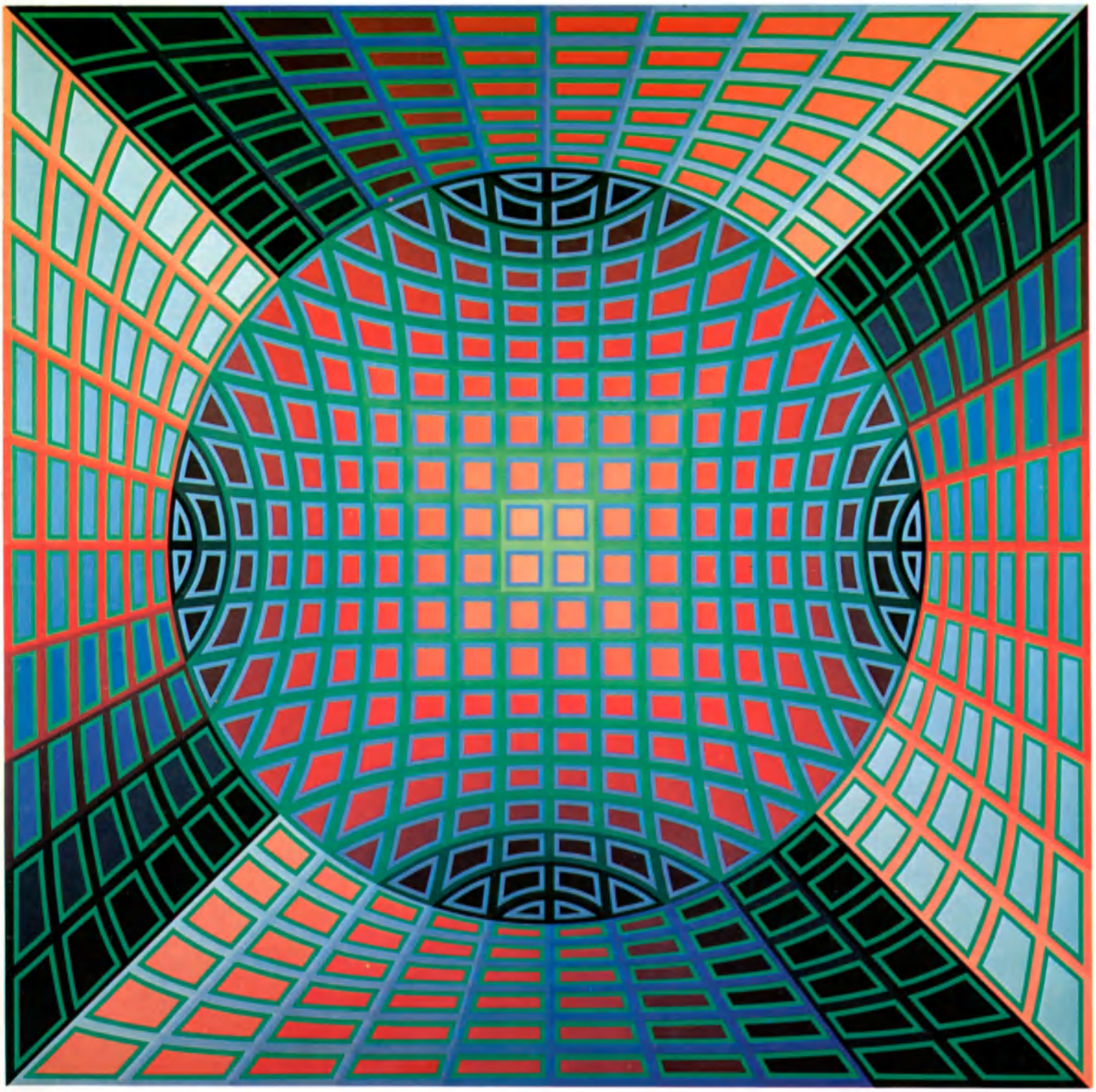
El Correo de la unesco

Una ventana
abierta al mundo

Mayo 1979 (año XXXII) 3,50 francos franceses (España : 75 pesetas)



Einstein



Foto René Roland © Ziolo, París

TESOROS DEL ARTE MUNDIAL

142

India

La sonrisa de la infancia

Esta cabeza de muchacho sonriente, de 12 cm de altura, procede de Bulandibagh, India, y pertenece al periodo mauria-sunga (del 322 al 272 a.C.). Es de terracota pulida y presenta ligeros vestigios de color. Su peinado en doble punta está cubierto por un pañolón sujeto por detrás. Se conserva actualmente en el Museo de Patna, capital del Estado indio de Bihar.

El Correo de la unesco

MAYO 1979 AÑO XXXII

PUBLICADO EN 20 IDIOMAS

Español	Italiano	Turco
Inglés	Hindi	Urdu
Francés	Tamul	Catalán
Ruso	Hebreo	Malayo
Alemán	Persa	Coreano
Arabe	Portugués	Swahili
Japonés	Neerlandés	

Publicación mensual de la UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura)

Venta y distribución :
Unesco, place de Fontenoy, 75700 París

Tarifas de suscripción :
***un año* : 35 *francos* (España : 750 pesetas)**
dos años : 58 francos.
Tapas para 11 números : 24 francos.

Los artículos y fotografías que no llevan el signo © (copyright) pueden reproducirse siempre que se haga constar "De EL CORREO DE LA UNESCO", el número del que han sido tomados y el nombre del autor. Deberán enviarse a EL CORREO tres ejemplares de la revista o periódico que los publique. Las fotografías reproducibles serán facilitadas por la Redacción a quien las solicite por escrito. Los artículos firmados no expresan forzosamente la opinión de la Unesco o de la Redacción de la revista. En cambio, los títulos y los pies de fotos son de la incumbencia exclusiva de esta última.

Redacción y Administración :
Unesco, place de Fontenoy, 75700 París

Jefe de redacción :
Jean Gaudin

Subjefe de redacción :
Olga Rödel

Secretaria de redacción :
Gillian Whitcomb

Redactores principales :
Español : Francisco Fernández-Santos (París)
Francés :
Inglés : Howard Brabyn (París)
Ruso : Victor Goliachkov (París)
Alemán : Werner Merkli (Berna)
Arabe : Abdel Moneim El Sawi (El Cairo)
Japonés : Kazuo Akao (Tokio)
Italiano : Maria Remiddi (Roma)
Hindi : H.L. Sharma (Delhi)
Tamul : M. Mohammed Mustafa (Madrás)
Hebreo : Alexander Broido (Tel-Aviv)
Persa : Fereydun Ardalan (Teherán)
Portugués : Benedicto Silva (Río de Janeiro)
Neerlandés : Paul Morren (Amberes)
Turco : Mefra Arkin (Estambul)
Urdu : Hakim Mohammed Said (Karachi)
Catalán : Cristián Rahola (Barcelona)
Malayo : Azizah Hamzah (Kuala Lumpur)
Coreano : Lim Moun-Young (Seul)
Swahili : Peter Mwombela (Dar es-Salam)

Redactores adjuntos :
Español : Jorge Enrique Adoum
Francés : Djamel Benstaali
Inglés : Roy Malkin

Documentación : Christiane Boucher
Ilustración : Ariane Bailey
Composición gráfica : Robert Jacquemin

La correspondencia debe dirigirse al Director de la revista.

Páginas

4 **EINSTEIN (1879-1955)**
Un genio que revolucionó nuestra época
por Jürgen Ehlers

9 **PARA COMPRENDER LA RELATIVIDAD**
Imagen del mundo a la velocidad de la luz
por Isaac Asimov

10 **EINSTEIN EN EL MUNDO DE LAS MARAVILLAS**

17 **UNA TEORIA ARMONIOSA QUE LA NATURALEZA HABRIA PODIDO ELEGIR**
por Paul Dirac

18 **ESA CURIOSA LUZ CURVA**
Fotos

24 **CIENCIA Y SUBJETIVIDAD : EL CASO EINSTEIN**
por Pierre Thuillier

26 **UNA CONSTELACION DE COSMOLOGOS**
Fotos

29 **LA CIENCIA EN LAS FRONTERAS DE LO POSIBLE**
por Arkadii B. Migdal

31 **LA RESPONSABILIDAD MORAL DEL CIENTIFICO**
por Albert Einstein

2 **TESOROS DEL ARTE MUNDIAL**
INDIA : La sonrisa de la infancia

I a IV **ACTUALIDADES DE LA UNESCO**

ISSN 0304-3118
N° 5 - 1979 - OPI-79 - 1 - 354-S

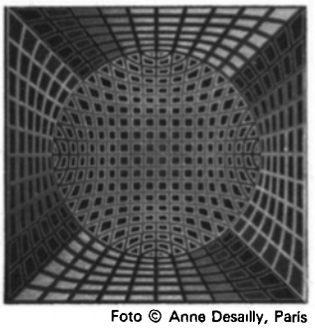


Foto © Anne Desailly, Paris

Nuestra portada

Homenaje del arte a la ciencia, este cuadro de Victor Vassarely, *Einstein* (1976), representa con su armonía de curvas la noción de espacio-tiempo y simboliza el genio del gran físico nacido hace ahora cien años. Los trabajos de Albert Einstein, y en particular su teoría de la relatividad, expuesta a partir de 1905, inauguraron una nueva era en la historia del pensamiento científico contemporáneo. Al mismo tiempo, gracias a su humanismo y a su sentido de la fraternidad, el hombre Einstein dejó también una huella profunda en su época.

Einstein

(1879-1955)

Un genio que revolucionó nuestra época

por Jürgen Ehlers

INDUDABLEMENTE, el año 1905 sólo puede compararse, en la historia de las ciencias, con otra fecha memorable: la de 1666, año en el cual Isaac Newton concibió la mayoría de las ideas que iban a dominar la ciencia durante más de dos siglos. En 1905, en un solo volumen de los *Analen der Physik,* Albert Einstein publicó tres artículos, cada uno de los cuales, además de presentar importantes resultados específicos, abría a la investigación fundamental las puertas de inmensos campos nuevos.

Pero ¿quién era este Albert Einstein, experto técnico de tercera clase en la Oficina de Patentes de Berna, que a los 26 años, y en poquísimo tiempo, inventaba nuevos métodos de mecánica estadística, descubría los quanta de la luz, demostraba la existencia de los átomos y resolvía el problema que planteaba la electrodinámica de los cuerpos en movimiento con el que se habían enfrentado científicos tan ilustres como Lorentz y Poincaré, formulando una nueva teoría del espacio y del tiempo?

Albert Einstein nació en Ulm (Alemania) el 14 de marzo de 1879, el mismo año en que moría James Clerk Maxwell, fundador de la teoría moderna de los campos electromagnéticos. Los Einstein eran judíos, si bien no practicaban ya la religión. En 1880 la familia se instala en Munich, y Hermann Einstein, padre de Albert, se pone junto con su hermano al frente de una pequeña fábrica de electroquímica. Albert no tuvo más que una hermana, Maja, nacida ese mismo año.

Al joven Albert se le ha descrito como un chico taciturno, pensativo, soñador. El hecho es que empezó a hablar muy tarde, no jugaba con los demás niños y no le gustaban los ejercicios físicos.

Tras asistir a la escuela elemental católica, Albert ingresa a los diez años en el Gymnasium Luitpold. El joven estudiante no soporta su disciplina estricta, su espíritu autoritario y la falta de libertad que en él reinaban. La obligación de aprender la gramática griega y latina contrariaba su gusto por la ciencia y las matemáticas que su tío, ingeniero, le había inculcado. Desgraciado y deprimido, no logra adaptarse. Sus profesores le acusan de ejercer una influencia corrosiva sobre los demás alumnos.

Poco tiempo después, sin haber conseguido ningún diploma, Albert Einstein sigue a sus padres, que se habían establecido en 1894 en Milán porque los negocios les iban mal. Más tarde, tras pasar un año en una escuela de Aarau (Suiza), donde se siente más a gusto, es admitido como estudiante de matemáticas y física en el célebre Instituto Politécnico de Zurich. Entre sus compañeros figuran Mileva Maric, una estudiante servia que más tarde, en 1902, se convertiría en su primera mujer y que sería la madre de sus dos hijos, y Marcel Grossman, que dieciocho años después iba a ser su colaborador en matemáticas. Uno de sus profesores era el gran matemático Hermann Minkowski, que en 1907 creó el concepto de espacio-tiempo y aportó así una contribución esencial al desarrollo de la teoría de la relatividad.

Obtenido su diploma en 1900, Einstein no consigue crearse una situación. En 1902, su amigo Grossmann le ayuda a encontrar trabajo en la Oficina de Patentes de Berna. Allí prepara su doctorado, que obtiene en 1905, y dispone de tiempo suficiente para proseguir sus investigaciones de física teórica y para elaborar las ideas que iba a dar a conocer en sus famosos artículos de ese año.

Einstein conserva su cargo en Berna hasta 1909. Acepta entonces su primer puesto universitario con plena dedicación, convirtiéndose en "profesor extraordinario" de la Universidad de Zurich. Su valía era ya generalmente reconocida. Había ampliado sus investigaciones sobre el movimiento browniano (movimiento de las moléculas y de los átomos), los quanta de la luz y la relatividad y elaborado la primera teoría de los quanta en relación con el calor específico

---

JÜRGEN EHLERS, *físico alemán, es miembro del Instituto Max Planck de Física y Astrofísica, de Munich (República Federal de Alemania). El artículo que publicamos en estas páginas es un resumen de una conferencia que dictó en la Universidad de Munich en septiembre de 1978, con ocasión de un coloquio sobre la influencia de las ideas científicas modernas en la sociedad, organizado en Munich y en Ulm con los auspicios de la Unesco.*

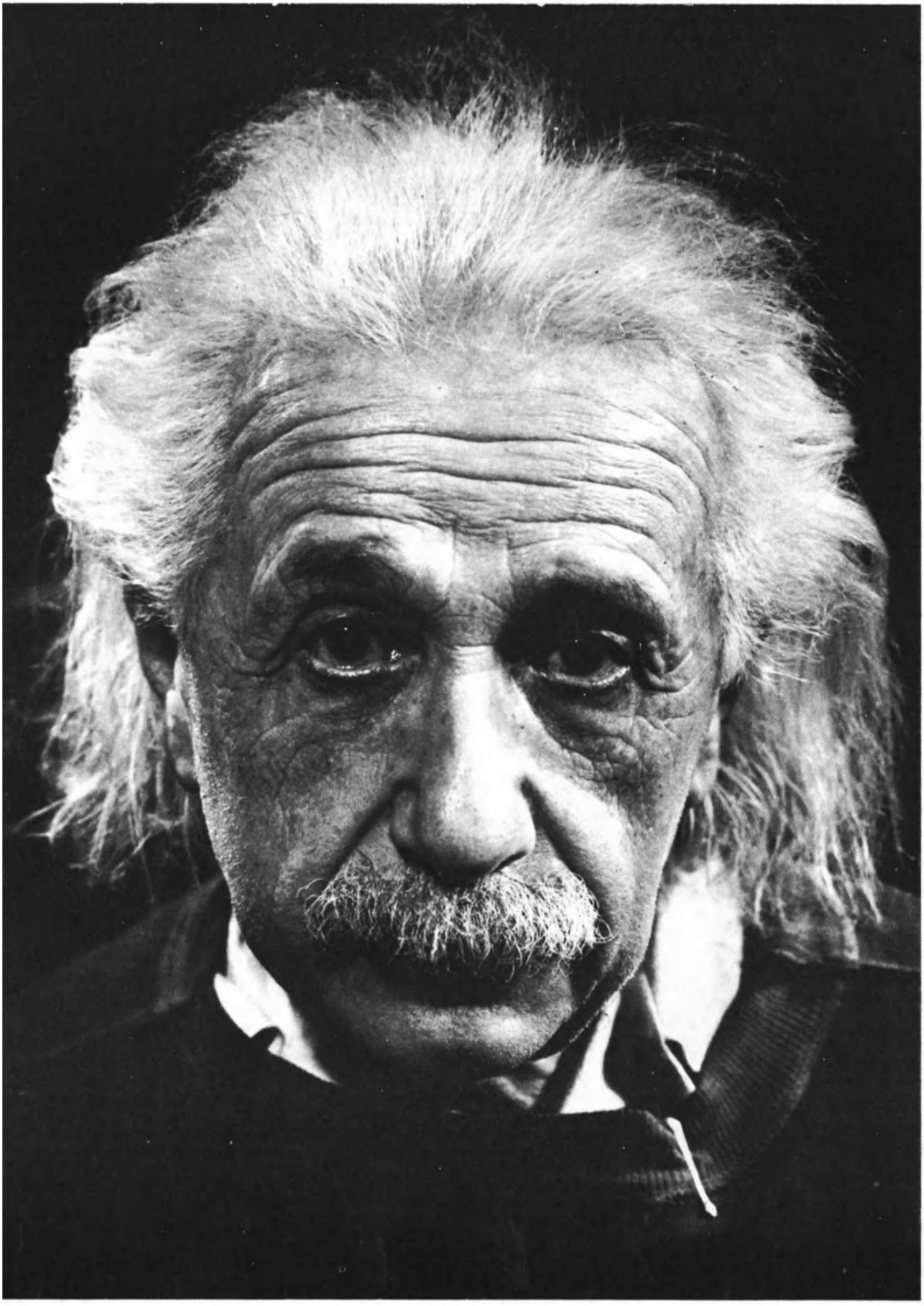


Foto Halsmann © Magnum, Paris

de los sólidos. Desde 1907 consideraba que, para resultar satisfactoria, la teoría de la gravitación tenía que fundarse lógicamente en la identidad de las masas inerciales y gravitatorias : gravedad e inercia son exactamente "la misma cosa", había concluido Einstein. Una teoría satisfactoria de la gravedad llevaba, pues, necesariamente a generalizar el marco espacio-temporal de la relatividad. Si tenemos en cuenta la fuerza de la gravedad, no nos podemos conformar con un marco de referencia finito y únicamente inercial.

En 1910 Einstein acepta una cátedra en la Universidad Germánica de Praga. Intentaba entonces generalizar lo que él llamaba la "teoría de la relatividad restringida", para incluir la gravitación en ella. Esta fue su principal preocupación de 1907 a 1916. La mayoría de los físicos habían aceptado ya la relatividad restringida, pero Einstein intentaba definir sus límites y procuraba establecer una representación matemática más global y más precisa de los fenómenos físicos. En Praga, en 1911, pudo afirmar que los campos gravitatorios deben de desviar la luz. Pero antes de 1914 no fue posible realizar observaciones de control, sólo posibles durante un eclipse de Sol. Estalla entonces la Primera Guerra Mundial, por lo que hubo que esperar hasta 1919 para efectuar las primeras mediciones.



Foto © Parimage, París

Una de las raras fotografías de Einstein joven que han llegado hasta nosotros. Fue tomada cuando era estudiante del Instituto Politècnico Suizo de Zurich, en 1900, cinco años antes de que publicara el célebre artículo en que exponía la teoría restringida de la relatividad.



Foto © Ullstein, Rep. Fed. de Alemania

Albert Einstein a la edad de cuatro años. No comenzó a hablar hasta los tres y estuvo lejos de ser un niño precoz. Tiempos después, su madre, preocupada, escribía a un amigo : "No sé qué vamos a hacer más tarde con Albert; prácticamente no aprende nada".

Después de dieciocho meses de estancia en Praga, Einstein vuelve a Zurich a fines de 1912, para ocupar una cátedra en el Instituto Politécnico, donde diez años antes cursara sus estudios.

En Zurich, Einstein publica la versión preliminar de una nueva teoría de la gravedad, en colaboración con su amigo Marcel Grossmann, que era ya profesor de matemáticas.

A finales de 1913, y por iniciativa de Max Planck y Walther Nernst, le hacen a Einstein una propuesta muy ventajosa : convertirse en miembro de la Real Academia de Ciencias de Prusia y dirigir el futuro Instituto de Física Kaiser Wilhelm, donde sus funciones serían de investigación y de organización. No se vería obligado a dar clases pero podría hacerlo si lo deseaba. Einstein siempre había considerado la enseñanza como una carga. Atraído por la atmósfera liberal y científica de Berlín, acepta la oferta. Poco tiempo después de su llegada a Berlín se separa de su mujer Mileva. Tenía entonces 34 años y se había convertido en una estrella de primera magnitud en el mundo científico.

A pesar de los numerosos contactos que mantenía con sus colegas, especialmente con Max Planck, Max von Laue, Walther Nernst y, más tarde, Erwin Schrödinger, Einstein se encuentra un tanto aislado en Berlín. Tiene la impresión de ser un extranjero. No da clases, pero participa activamente en los debates que siguen a los coloquios. Durante la Primera Guerra Mundial, por ser pacifista y opuesto a los nacionalismos, se siente aun más solo. En vista de ello se entrega en cuerpo y alma a estudiar la teoría de la gravitación. Después de grandes esfuerzos logra, a fines de 1915, formular una teoría coherente que sigue

siendo hoy día la más admirable de toda la física clásica y que ha superado limpiamente todas las pruebas experimentales a las que ha sido sometida.

En 1917, en un artículo hoy considerado como su más valiosa aportación a la teoría de los quanta, Einstein propone una descripción estadística de las interacciones entre átomos y fotones, dando con ello una nueva aplicación a la ley de Planck. Ese mismo año, Einstein elabora el primer modelo matemático coherente del universo en función de una materia en gravitación y uniformemente repartida, con lo que fundaba la cosmología moderna, esto es, la ciencia de las grandes estructuras del universo.

Debe mencionarse, de paso, la campaña contra Einstein organizada en 1920 por Weyland, Gehrke y consortes y vinculada con el antisemitismo alemán.

De 1921 a 1923 Einstein viaja mucho : va a los Estados Unidos y recorre Europa y Asia. Convencido por Weizmann, se une al movimiento sionista. En 1921 recibe el Premio Nobel, pero no por su teoría de la relatividad sino "por la ley de la fotoelectricidad y por su obra de física teórica".

Cuando Hitler sube al poder en 1933, Einstein estaba de viaje en los Estados Unidos. No volvería nunca más a Alemania. Durante una breve estancia en Bélgica dimite de las Academias de Ciencias de Prusia y de Baviera, en protesta por su pasividad ante la supresión de las libertades intelectuales en Alemania y el despido de un gran número de científicos e intelectuales por "razones ideológicas". Después acepta un puesto en el Instituto de Estudios Superiores de Princeton (Estados Unidos), que acababa de fundarse.

Al reanudar sus investigaciones se esfuerza en formular una teoría del "campo unificado" que explique mejor y más a fondo la gravitación y, a la vez, el electromagnetismo. Piensa, además, que semejante teoría podrá describir las partículas de las regiones estables y de gran concentración del campo. Pero el éxito no acompaña a sus esfuerzos. Sin embargo, su idea de utilizar la geometría para elaborar una teoría unificada ha recibido un nuevo y poderoso impulso en los últimos años, obteniendo incluso un gran éxito, si bien en la forma modificada de las teorías de medición unificadas y con otro tipo de estructura geométrica.

Además de este objetivo esencial, Einstein vuelve esporádicamente a su teoría de la gravitación de 1915, enriqueciéndola con nuevos resultados. En 1932 establece con Willem de Sitter un modelo de universo en expansión que sigue siendo una de las explicaciones posibles de las grandes estructuras de nuestro mundo. Su colaboración con Nathan Rosen, en 1937, le permite resolver las ecuaciones de campos que describen las ondas gravitatorias. Un célebre artículo, publicado en 1938 y que escribe en colaboración con Banesh Hoffmann y Leopold Infeld, trata de las ecuaciones de movimiento de las partículas obtenidas a partir de las ecuaciones del campo gravitatorio. Este tema sigue siendo de actualidad. Yo mismo le he dedicado con mis colaboradores una serie de investigaciones en el Instituto Max Planck de Física y Astrofísica.

Jubilado en 1945, Einstein sigue trabajando. El 12 abril de 1955, tras una corta enfermedad, muere de un aneurisma de la aorta, a los 76 años.

Merece la pena destacar el modo como el gran científico abordaba los problemas fundamentales de la física ; en particular, ponía incluso en tela de juicio la validez de los conceptos y de las relaciones que solían considerarse evidentes. En este sentido, puede decirse que era un filósofo.

A su juicio, los conceptos son invenciones libres y los axiomas de una teoría —esto es, sus leyes fundamentales— meras hipótesis. No es posible deducirlos de experiencias u observaciones. Por otro lado, toda teoría debe desembocar en unas proposiciones que quepa evaluar experimentalmente, y en esto radica precisamente su valor. La ciencia exige, pues, del hombre tres actividades diferentes : la libre invención o producción de hipótesis, la deducción lógico-matemática y la observación o experiencia.

Como Dirac, Einstein había llegado a la conclusión de que la creación de hipótesis no se rige únicamente por la experiencia concreta y el conocimiento de teorías ante-



Foto © Ullstein, Rep. Fed de Alemania

Con su segunda esposa, Elsa, a su regreso de un viaje a California. En el decenio de 1920 y a comienzos del de 1930 Einstein viajó a Estados Unidos, China, Japón y la mayor parte de los países de Europa occidental, a fin de exponer sus teorías.

riores, sino que procede también de un cierto sentimiento de sencillez estructural y de belleza matemática. Carece evidentemente de interés calificar a Einstein de positivista, racionalista, empirista o cualquier otro tipo de "ista"... En último extremo, se le podría caracterizar como "artista lógico-empírico"... En efecto, influyó profundamente en la filosofía de la naturaleza menos por sus afirmaciones filosóficas propiamente dichas que por el modo que tenía de practicar la ciencia : utilizando a menudo caminos sorprendentes.

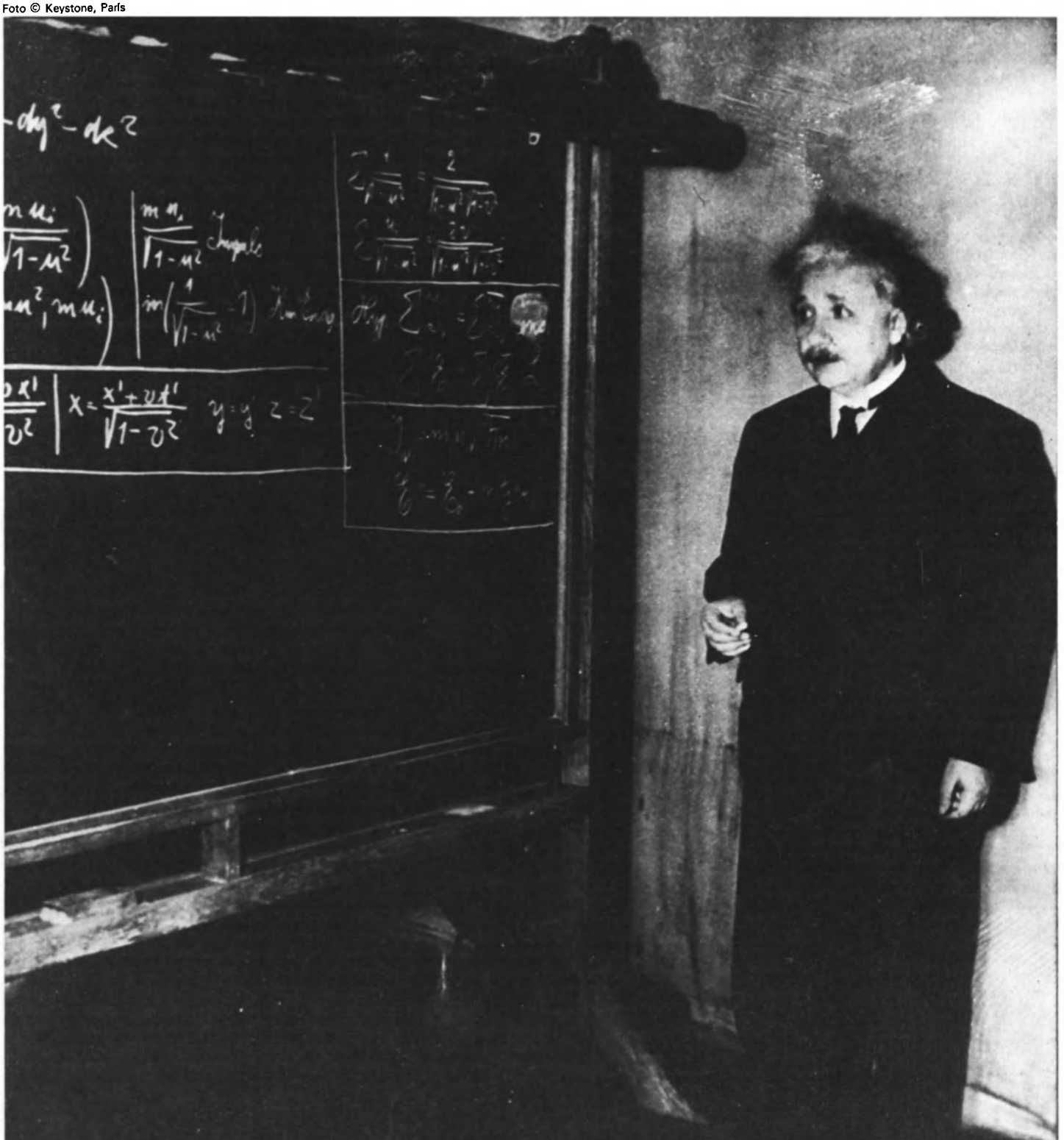
Einstein no se consideraba a sí mismo como filósofo sino como físico. Su mayor orgullo era haber elaborado la teoría de la relatividad general, que consideraba su máximo éxito intelectual.

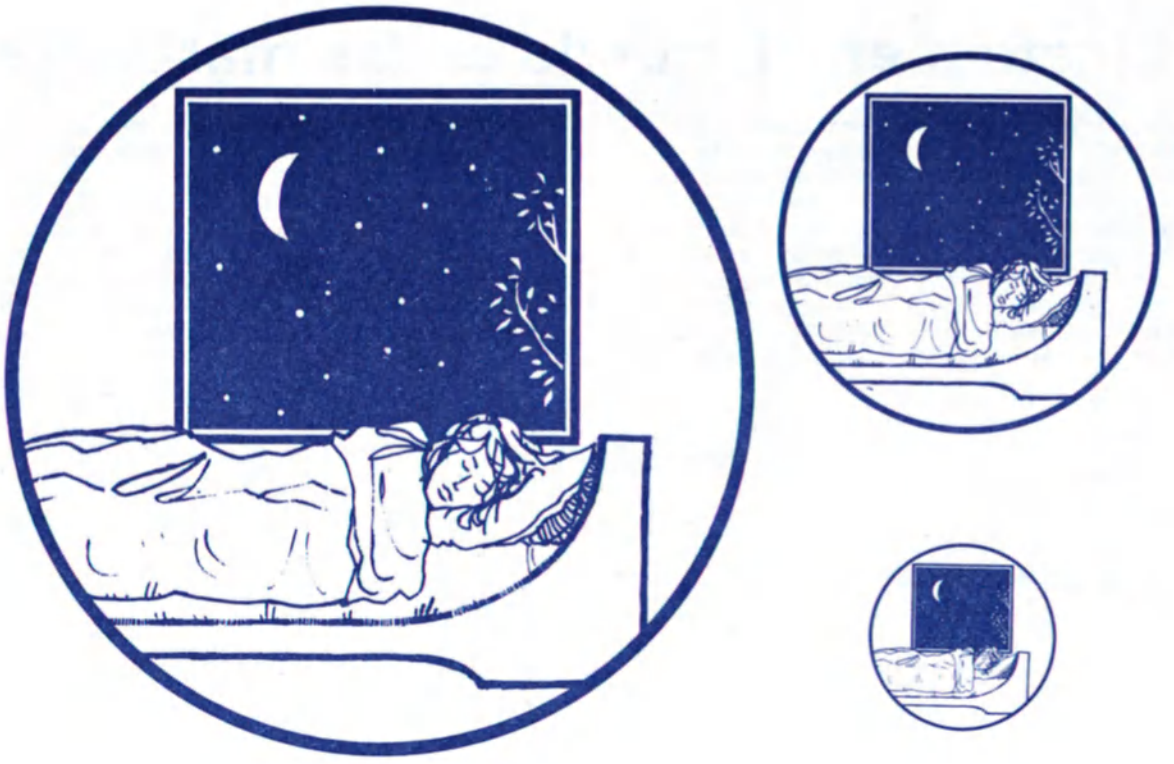
La mejor conclusión que podemos dar a este bosquejo biográfico consistirá en reproducir unas palabras de Hermann Weyl, quien dice a este respecto : "Con su teoría de la relatividad, Einstein ha contribuido al progreso de nuestras ideas sobre la estructura del universo. Podría decirse que se ha desmoronado un muro que nos separaba de la verdad. Con ello se abren hoy a quienes buscan el saber campos más vastos y profundidades mayores, que ni siquiera intuíamos. La teoría de Einstein nos ha acercado mucho al momento en el cual podremos comprender el plan general que rige todo acontecimiento físico".

J. Ehlers

Frente a un pizarrón o encerado durante una conferencia en la American Association for the Advancement of Science. En 1933 Einstein aceptó un puesto en el Instituto de Estudios Superiores de Princeton, donde trabajó hasta su muerte en 1955.

Foto © Keystone, París





¿QUE ES LA RELATIVIDAD? El célebre matemático francés Henri Poincaré concibió el siguiente "experimento imaginario" para explicar el concepto de relatividad. Supongamos, decía, que una noche, mientras estamos profundamente dormidos, *todo, absolutamente todo* aumentara mil veces de tamaño en el universo : el Sol, la Tierra, las estrellas, nuestra casa, nuestra cama, nosotros mismos, las longitudes de onda de la luz, los átomos, los electrones. ¿Podríamos, al despertar, decir que algo ha cambiado? No, respondía Poincaré, porque nada vendría a demostrarlo. No tendría sentido alguno decir que el universo se ha vuelto más grande, ya que por esta expresión entendemos que algo es "más grande" que "otra cosa". Y, tratándose del universo, no existe ninguna "otra cosa". El concepto de tamaño es, pues, un concepto relativo.

Dibujos taller Philippe Gentil, París © *El Correo de la Unesco*

Para comprender la relatividad

Imagen del mundo a la velocidad de la luz

por Isaac Asimov

DE acuerdo con las leyes del movimiento, elaboradas por primera vez de manera pormenorizada en los años de 1680 por Isaac Newton, diferentes movimientos podían sumarse, según las reglas de la aritmética simple. Supongamos, por ejemplo, que un tren se aleja de un observador inmóvil a 20 kilómetros por hora y que una persona que viaja en él arroja un balón a una velocidad de 20 kilómetros por hora en el sentido de la marcha del tren. Para el viajero, que avanza con el tren, el balón se aleja de él a 20 kilómetros por hora. Para el observador de tierra, en cambio, el movimiento del tren y el del balón se suman, y éste se aleja de él a 40 kilómetros por hora.

Ello demuestra que no se puede hablar de la velocidad del balón en sí misma. Lo que interesa es su velocidad *relativa* respecto de cada observador. Cualquier teoría del movimiento que trate de explicar la manera en que la velocidad y otros fenómenos conexos parecen variar de un observador a otro será una "teoría de la relatividad".

La teoría de la relatividad de Albert Einstein surgió de constatar que lo que sucede con un balón arrojado desde un tren no parece aplicarse a la luz. Una fuente lumínica móvil puede emitir un haz de luz en la dirección en que se desplaza o en dirección contraria. Según las leyes de Newton, en el primer caso la luz debería viajar a su propia velocidad *más* la velocidad de la fuente lumínica ; en el segundo caso, a su propia velocidad *menos* la velocidad de la fuente. Tal es el comportamiento de un balón arrojado desde un tren en marcha.

Pero la luz no se comporta de la misma manera, pues parece viajar a su propia velocidad, cualquiera que sea el movimiento de su fuente. Einstein trató de revisar las leyes del universo para dar cuenta de tal fenómeno.

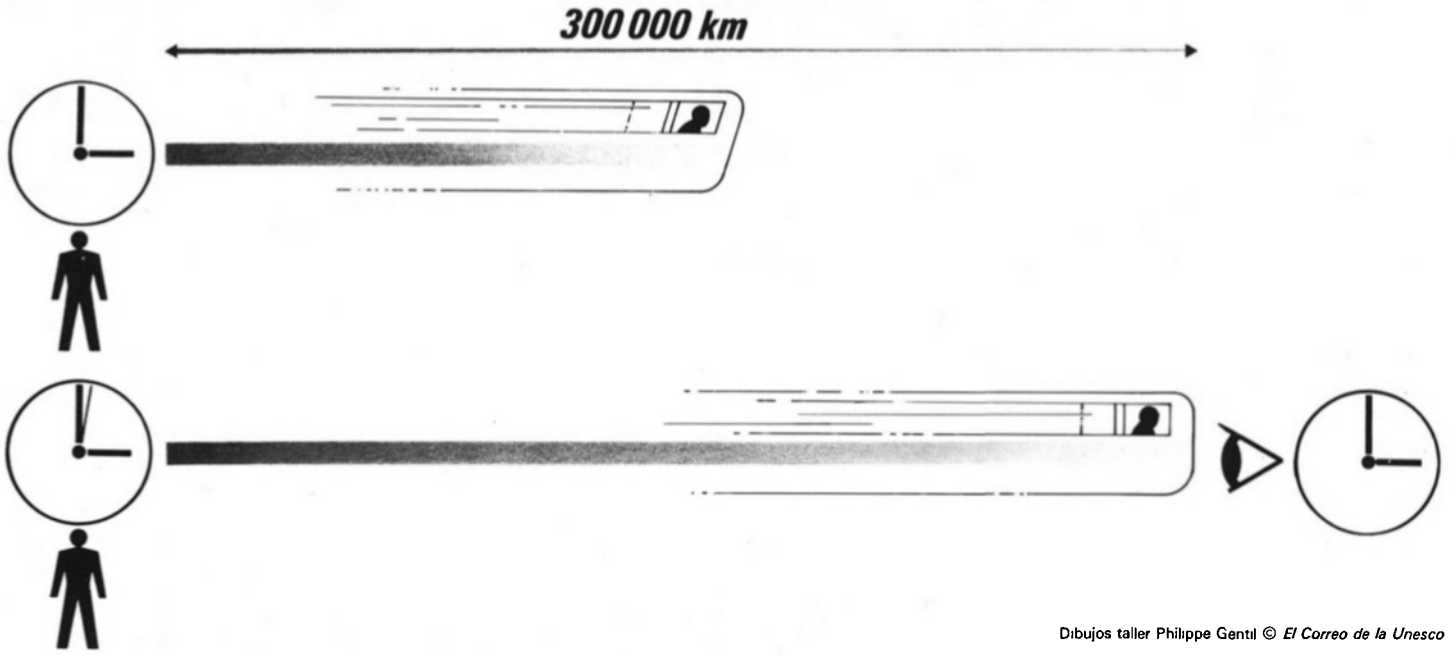
En tal sentido, mostró que, para explicar la invariabilidad de la velocidad de la luz,

---

ISAAC ASIMOV, *norteamericano, autor de novelas y cuentos de anticipación científica, es mundialmente conocido por su obra de divulgación de la ciencia. La larga lista de sus obras da fe de la variedad de sus preocupaciones intelectuales, que van desde la crítica literaria a la psicología, de las matemáticas al humor, pasando por la poesía y el misterio. Acaba de publicar dos obras que él considera como su libro número 200 :* Opus 200, *una antología de su obra, e* In memory yet green, *primer volumen de su autobiografía.*

Einstein en el mundo de las maravillas

La historia del adolescente que viajó en un rayo de luz, relojes que marchan más rápidamente cuando están inmóviles que cuando se los desplaza, discos de música cuyo centro envejece más pronto que el borde, rayos de luz que se desvían en su recorrido, objetos que cambian de tamaño y de peso, un hombre cuya edad es sólo la mitad de la de su hermano gemelo, agujeros negros en el espacio de los cuales ni siquiera la luz puede escapar : todas estas nociones que parecen apartarse del sentido común forman parte del universo insólito de la relatividad einsteiniana. Pero los curiosos efectos que se desprenden de sus teorías sólo resultan evidentes cuando entramos en el mundo de las velocidades enormes. En la vida cotidiana son tan infinitesimales que no nos damos cuenta de ellos. Debido a su complejidad, muchos postulados de la teoría de la relatividad sólo pueden expresarse en términos matemáticos. Los dibujos y explicaciones de las páginas que siguen pretenden constituir una introducción gráfica al misterioso universo de Einstein.



Dibujos taller Philippe Gentil © *El Correo de la Unesco*

Un tranvía llamado relatividad

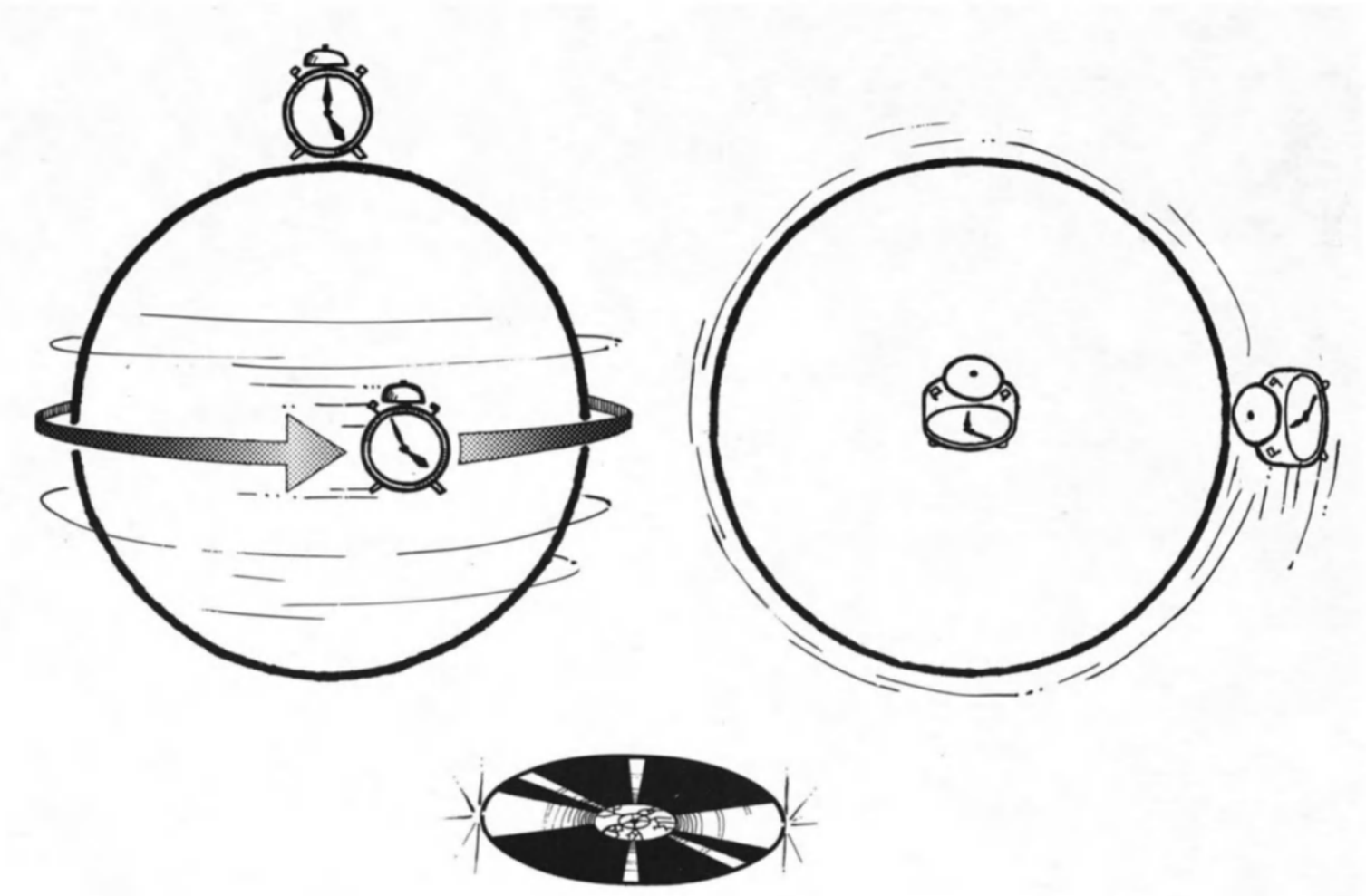
Siendo aun adolescente, en Zurich, Einstein se planteó a sí mismo una pregunta que sólo en apariencia era inocente, puesto que la respuesta contenía ya en embrión el principio de la relatividad. "¿Cómo se vería el mundo — se dijo — cabalgando un rayo de luz?"

Hagamos con Einstein ese viaje imaginario. Suponga el lector que se encuentra en Berna, junto a un reloj público, disponiéndose a tomar un tranvía, como solía hacer Einstein todos los días para trasladarse a la Oficina de Patentes de Suiza, donde trabajaba. Imagine que en lugar de hacer el recorrido habitual el tranvía le lleva a la velocidad de la luz (300.000 kilómetros por segundo) por el mismo rayo de luz gracias al cual nuestro lector ve la hora que indica el reloj público. Supongamos que éste marcaba las tres cuando el tranvía se lo llevó a 300.000 kilómetros de distancia. El viaje dura exactamente un segundo. Pero el reloj que el pasajero del tranvía ve (en el supuesto de que pudiera verlo a semejante distancia) seguirá marcando las tres. Esto se explica por el hecho de que el rayo de luz que le permite ver la hora tarda en llegar al observador el mismo tiempo que éste ha tardado en llegar a su destino. Al mantenerse a la velocidad de la luz, el viajero de ese tranvía imaginario está fuera del transcurso del tiempo. En cambio, para un hombre que se hubiere quedado de pie sobre el asfalto de Berna, el mismo reloj indicaría las tres y un segundo. Dicho de otra manera, el tiempo transcurre diferentemente para el pasajero del tranvía y para el hombre en la calle de Berna; o sea que, contrariamente a lo que sostenía Newton, no existe el tiempo absoluto. Más aun, aunque en el tranvía se observen las mismas leyes y las mismas relaciones entre el tiempo, la distancia, la velocicad, la masa y la fuerza, como en cualquier otro sitio, su *valor* real no es el mismo que para cualquier otra persona en otro lugar. La velocidad de la luz es el único valor invariable para todos. Para Newton el tiempo y el espacio constituían un marco absoluto y el mundo era percibido de la misma manera por cualquier observador, dondequiera que se encontrase y a dondequiera que fuese. Para Einstein, en cambio, lo que dos observadores ven es relativo respecto de cada uno de ellos, de su posición y de su velocidad. No podemos saber cómo es el mundo sino solamente comparar lo que vemos cada uno de nosotros. La relatividad consiste en concebir el mundo no como una suma de acontecimientos sino de relaciones.

debíamos admitir un gran número de fenómenos insólitos. Por ejemplo, que los objetos disminuyen de longitud a medida que avanzan en la dirección de su movimiento, volviéndose tanto más cortos cuanto mayor es su velocidad, hasta que su longitud es igual a cero al alcanzar la velocidad de la luz ; que los objetos en movimiento poseen una masa mayor cuanto más rápidamente se mueven, hasta que llega a ser infinita al alcanzar la velocidad de la luz ; que el ritmo al que progresa el tiempo en un cuerpo en movimiento disminuye cuanto mayor es la velocidad de éste, hasta detenerse completamente al alcanzar la velocidad de la luz. Por cada una de estas razones, la velocidad de la luz en el vacío es la máxima velocidad que el hombre puede medir.

Einstein demostró, además, que una porción minúscula de masa equivale a una gran cantidad de energía, según su famosa ecuación $E = mc^2$, en la cual c representa la velocidad de la luz.

En 1905 elaboró el gran científico todos estos principos sobre los cuerpos que se



El tiempo relativo

Según una curiosa predicción basada en la teoría de la relatividad, un reloj inmóvil marcharía más rápidamente que un reloj que se desplazara. Einstein escribía en 1905 que un reloj colocado en la línea equinoccial funcionará de manera imperceptiblemente más lenta que un reloj idéntico colocado en uno de los polos de la Tierra. Fue el científico inglés H. J. Hay quien lo comprobó experimentalmente. Concibió para ello un modelo del globo terrestre achatado como un disco plano, con el Polo Norte en el centro y el ecuador en el borde, y fijó un reloj atómico o radiactivo en cada uno de esos puntos. La predicción de Einstein era correcta : el reloj del borde marcaba el tiempo más lentamente que el del centro. Lo mismo sucede con cualquier disco en un tocadiscos : a cada vuelta su centro envejece más rápidamente que el borde.

mueven a la misma velocidad y en una misma dirección. De este tipo especial de movimiento trata su "teoría de la relatividad restringida".

Ahora bien, los efectos del movimiento sobre los cuerpos, que Einstein predijo, sólo son perceptibles a grandes velocidades. La aritmética simple de las leyes de Newton nos parece válida a las velocidades ordinarias sencillamente porque los efectos previstos por Einstein son demasiado pequeños para ser percibidos. Y dado que vemos aquellas leyes cumplirse por doquier, han llegado a parecernos como "de sentido común", mientras que los efectos de Einstein nos parecen extraños.

Pero en la época en que Einstein dio a conocer su teoría, los científicos estaban ya trabajando con partículas subatómicas emitidas por átomos en desintegración. Esas partículas se movían a gran velocidad y en ellas pudieron advertirse claramente los efectos previstos por Einstein. Los aparatos de desintegración del átomo y las bombas atómicas no habrían podido existir si la teoría de la relatividad restringida no hubiera sido exacta.

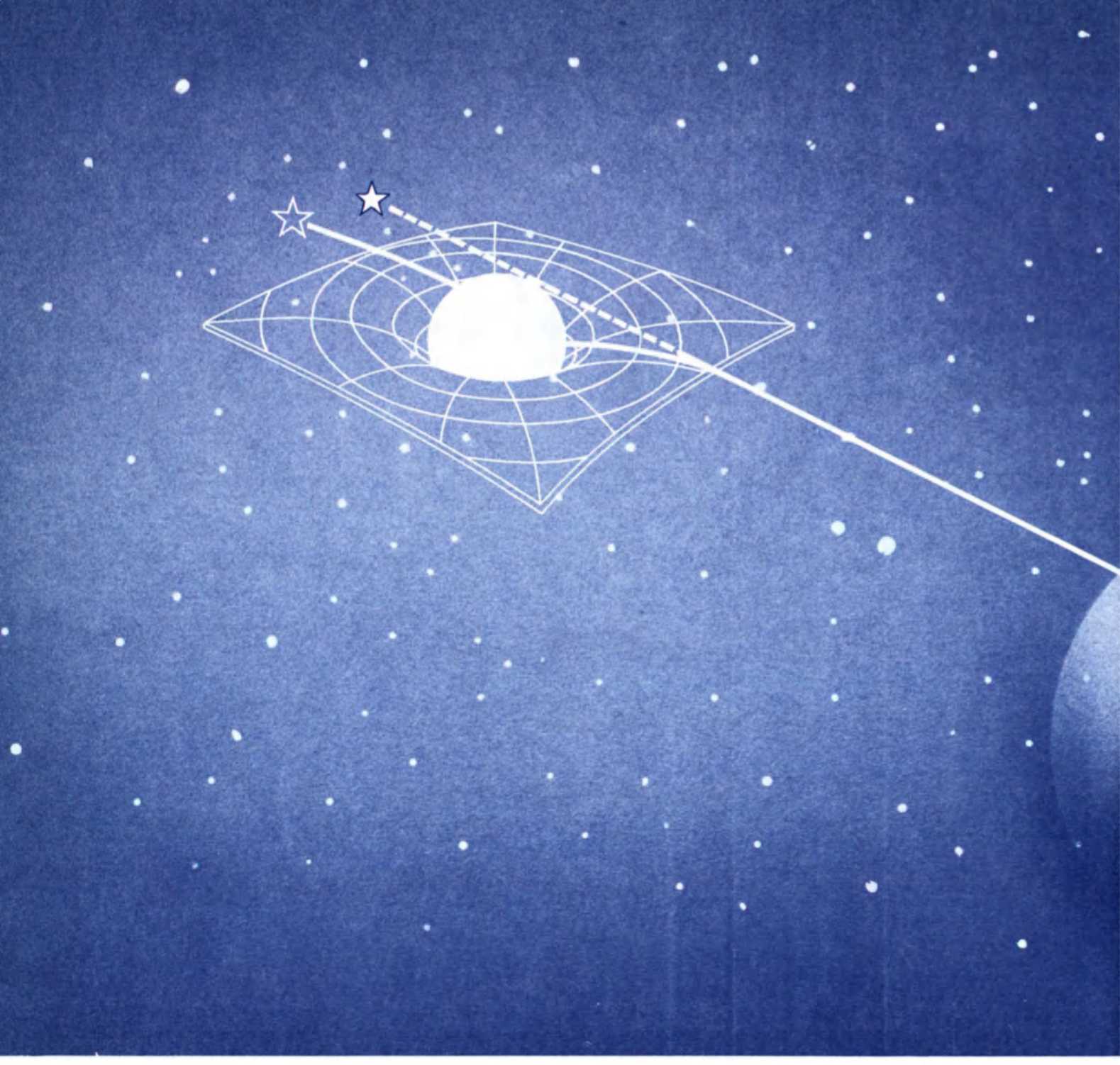
En 1916 Einstein elaboró una versión más compleja de la teoría de la relatividad. En ella incluía no sólo el movimiento a velocidad constante y en la misma dirección sino todo tipo de movimiento, ya sea que cambie de velocidad o de dirección o de ambas a la vez. Por tratar del movimiento en general, esta versión de su teoría fue denominada "teoría general de la relatividad".

La razón más frecuente de que los objetos se muevan a velocidades diferentes y en direcciones distintas es la existencia de una fuerza gravitatoria que sobre ellos actúa. Cuando se deja caer una pelota, su velocidad aumenta progresivamente porque la gravedad de la Tierra la atrae. Cuando se arroja una pelota, ésta describe una línea curva porque la gravedad de la Tierra la atrae. La Tierra sigue una trayectoria curva en el espacio porque la gravedad del Sol la atrae. La teoría general de Einstein tenía pues que ocuparse de la gravitación.

Einstein elaboró un conjunto de ecuaciones con las que demostró que, si no hubiera en parte alguna materia ni, por tanto, gravitación, un cuerpo en movimiento seguiría una línea recta. Donde hay materia, el espacio que la rodea está deformado de modo tal que un cuerpo en movimiento sigue una línea curva. La teoría general de Einstein mostró cómo debían ser esas curvas, y no correspondían exactamente a lo previsto por la teoría de la gravitación de Newton.

Una manera de saber cual de los dos tiene razón es observar el comportamiento de la luz cuando atraviesa un potente campo gravitatorio. Según Einstein, la luz debería atravesar el espacio deformado y seguir una trayectoria ligeramente curva. Según las reglas de Newton, no sucede así.

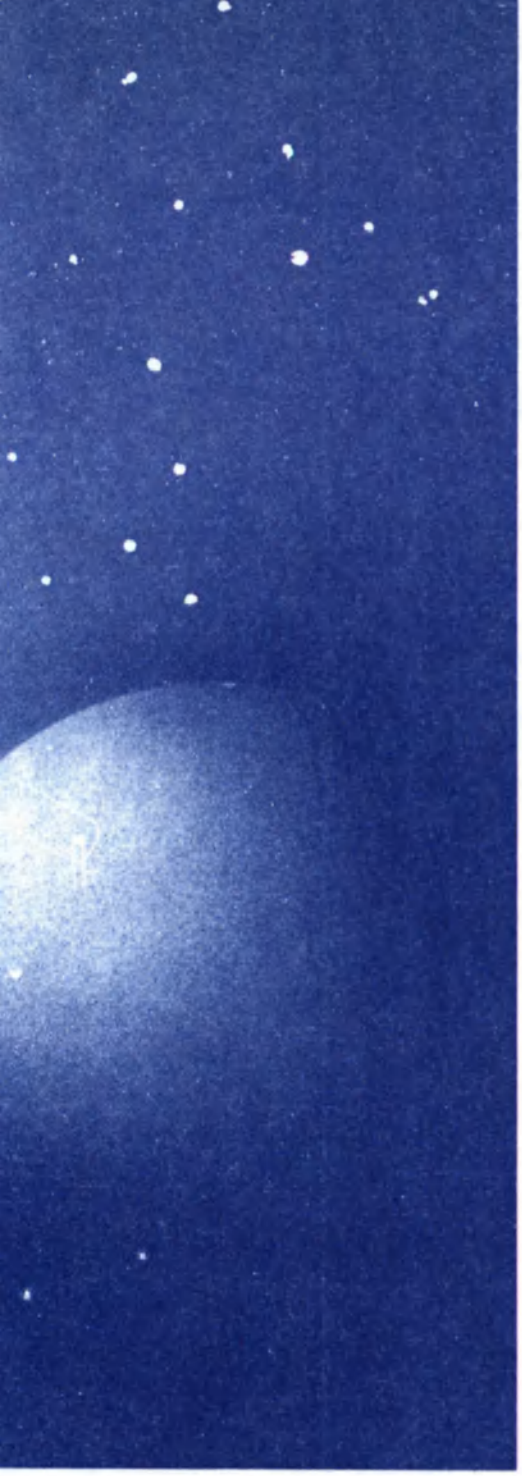
En 1919 se produjo un eclipse total de Sol y se midió con exactitud la posición de las estrellas cercanas a aquel. Si la luz sigue una trayectoria curva, cada estrella habría debido parecer situada un poco más lejos del Sol de lo que estaba en realidad. La diferencia dependería de la proximidad al Sol a que pasaba la luz. La teoría de Einstein permitía indicar exactamente la magnitud de ese desplazamiento. Las mediciones que se hicieron durante el eclipse de 1919, y en todos los que se han producido desde



Una cuestión de gravedad

Para Newton la gravitación consistía en la atracción recíproca de las masas de materia, la capacidad de los cuerpos para influir unos en otros proporcionalmente a su tamaño y a la distancia existente entre ellos. Esta fuerza actúa por doquiera en el cosmos, haciendo que una manzana caiga de un árbol al suelo o que la Luna gire en torno a la Tierra. Dejando de lado esa noción de una fuerza activa, que constituía el mecanismo básico del universo newtoniano, Einstein empleaba el concepto de "campo gravitatorio" : así como el campo gravitatorio de la Tierra determina la caída de la manzana de Newton, el campo gravitatorio del Sol hace que los planetas giren en torno a él. Einstein sostenía que la materia crea ese campo gravitatorio al deformar lo que él llamaba el "continuo espacio-tiempo" en torno a ella. Podemos representárnoslo como una sábana de goma templada y deformada por el peso de algunos objetos (el sol, las estrellas) colocados sobre ella. El dibujo muestra las líneas curvas de la superficie cóncavo-convexa que seguiría la luz en su trayectoria y la desviación o deflexión de ésta al encontrar en su recorrido grandes cuerpos celestes. La predicción de Einstein de que la luz de las estrellas al pasar cerca del Sol describiría en el espacio una línea curva, debido a la presencia del astro, fue confirmada gracias a la observación ya célebre de un eclipse de sol hecha por el astrónomo inglés Sir Arthur Eddington en 1919 (véase la pág. 18).

Dibujo taller Philippe Gentil © *El Correo de la Unesco*



entonces, parecen haber situado las estrellas en el sitio donde Einstein predijo que debían estar.

Se trataba, desde luego, de mediciones muy difíciles y complejas, en las que era azaroso alcanzar la exactitud. Por fortuna, nuestra era espacial nos ha capacitado para realizar mediciones mucho más perfectas.

Por ejemplo, en 1969 se enviaron a Marte dos sondas. Cuando éstas se encontraban al otro lado del Sol, las ondas de radio que enviaban a la Tierra debían pasar cerca de él y, por lo mismo, seguir una trayectoria deformada, más larga que si hubieran sido en línea recta. De ahí que las ondas llegaran con un poco de retraso hasta nosotros ; en realidad, era un retraso de una diezmilésima de segundo, que pudo medirse y que correspondía exactamente a lo que la relatividad general había predicho.

Otra de las predicciones de la teoría general de Einstein es que en un espacio deformado por la gravedad el tiempo es más lento. Por ejemplo, una gran fuente lumínica, en un espacio semejante, emite luz en ondas más largas de lo que serían si no hubiera gravedad : la lentitud del tiempo en el campo gravitatorio del objeto hace que cada onda sea más larga antes de que se produzca la siguiente. Pero ni siquiera el campo gravitatorio del Sol es bastante potente para que sus efectos sean mensurables.

Y he aquí que, precisamente hacia la época en que Einstein exponía su teoría de la relatividad general, se descubrió un nuevo tipo de estrellas : las enanas blancas. Una enana blanca puede llegar a contener toda la masa del Sol comprimida en un volumen no mayor que el de la Tierra. En tal caso, su campo gravitatorio en la superficie sería doscientas mil veces más potente que el del Sol.

La longitud de las ondas luminosas emitidas por una determinada enana blanca tendría que ser, pues, mayor en una proporción dada que la de las mismas ondas emitidas por el Sol. En 1925 se hicieron mediciones de la luz proveniente de una enana blanca y se descubrió que, en efecto, la longitud de sus ondas no sólo era mayor sino que era precisamente la que Einstein había predicho.

Como es obvio, resulta sumamente difícil medir la luz de una enana blanca. Esas estrellas son muy oscuras y se requiere una gran precisión para analizar sus débiles rayos de luz.

Sabido es, en cambio, que en determinadas condiciones un conjunto de átomos en un cristal emiten rayos gamma. Estos rayos están formados por ondas, como los rayos de luz, aunque mucho más cortas. Todos los rayos gamma que emite el cristal tienen exactamente la misma longitud de onda y ésta puede ser medida con gran exactitud.

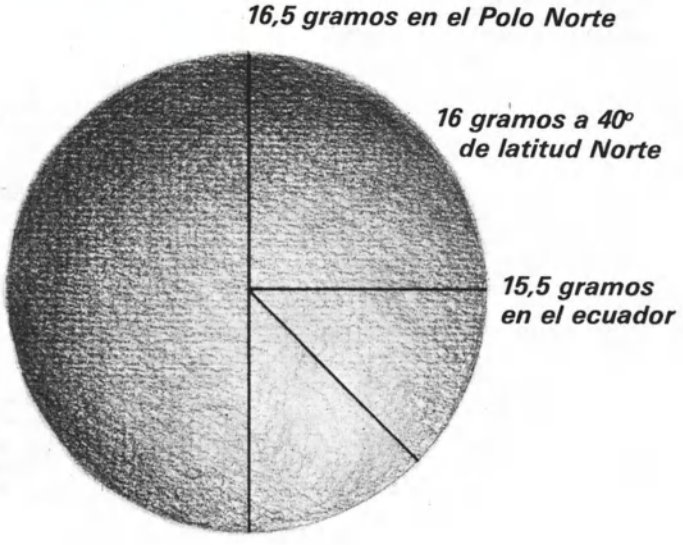
Pero, si la teoría general de Einstein es correcta, la longitud de onda de los rayos gamma podría cambiar ligeramente al aumentar o disminuir la atracción gravitatoria sobre el cristal.

En nuestra Tierra, la gravitación aumenta a medida que uno se acerca a su centro. Si uno vive en una casa de apartamentos, la gravedad de la Tierra es más fuerte a cada piso que se desciende, pero la diferencia es imperceptible. En cambio, ésta aparece claramente en los rayos gamma. Si se transporta el cristal desde el ático hasta el sótano, la longitud de la onda será ligeramente (pero perceptiblemente) mayor y exactamente la prevista por la teoría de Einstein.

Según la teoría general de la relatividad, la gravitación, al igual que la luz, puede ser emitida en ondas. Quiere decirse que la gravitación, como la luz, puede conducir energía desde el objeto que la emite.

Esas ondas gravitatorias las emite un objeto cuando gira a causa de la gravita-

SIGUE EN LA PAG. 16



El peso de los objetos no es el mismo en cualquier punto de la superficie terrestre. Esto se debe a que la Tierra no es perfectamente redonda y a su movimiento de rotación. Así, en el centro de la Tierra los objetos no tendrían peso, puesto que la materia terrestre los atrae igualmente en todas las direcciones.

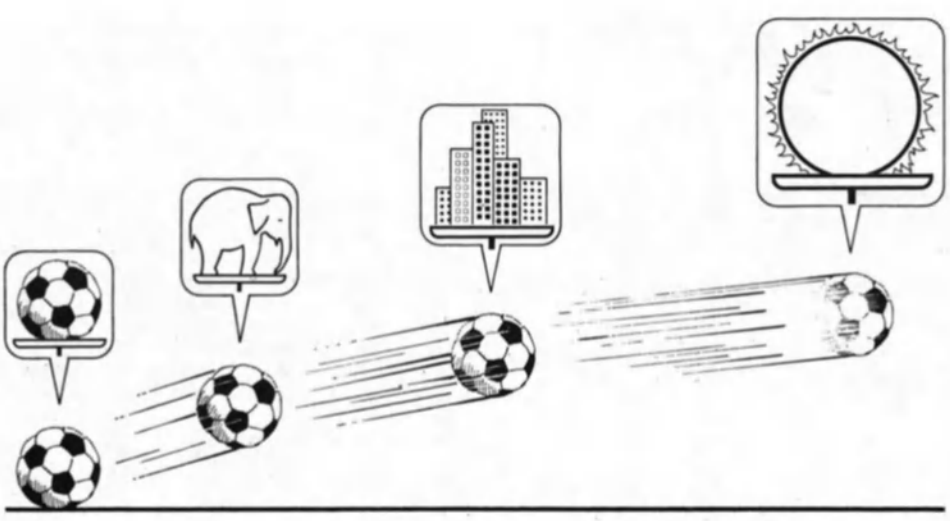
Dibujo taller Philippe Gentil © *El Correo de la Unesco,* adaptado de *The World Book Encyclopedia* © 1979 World-Childcraft International, Inc.

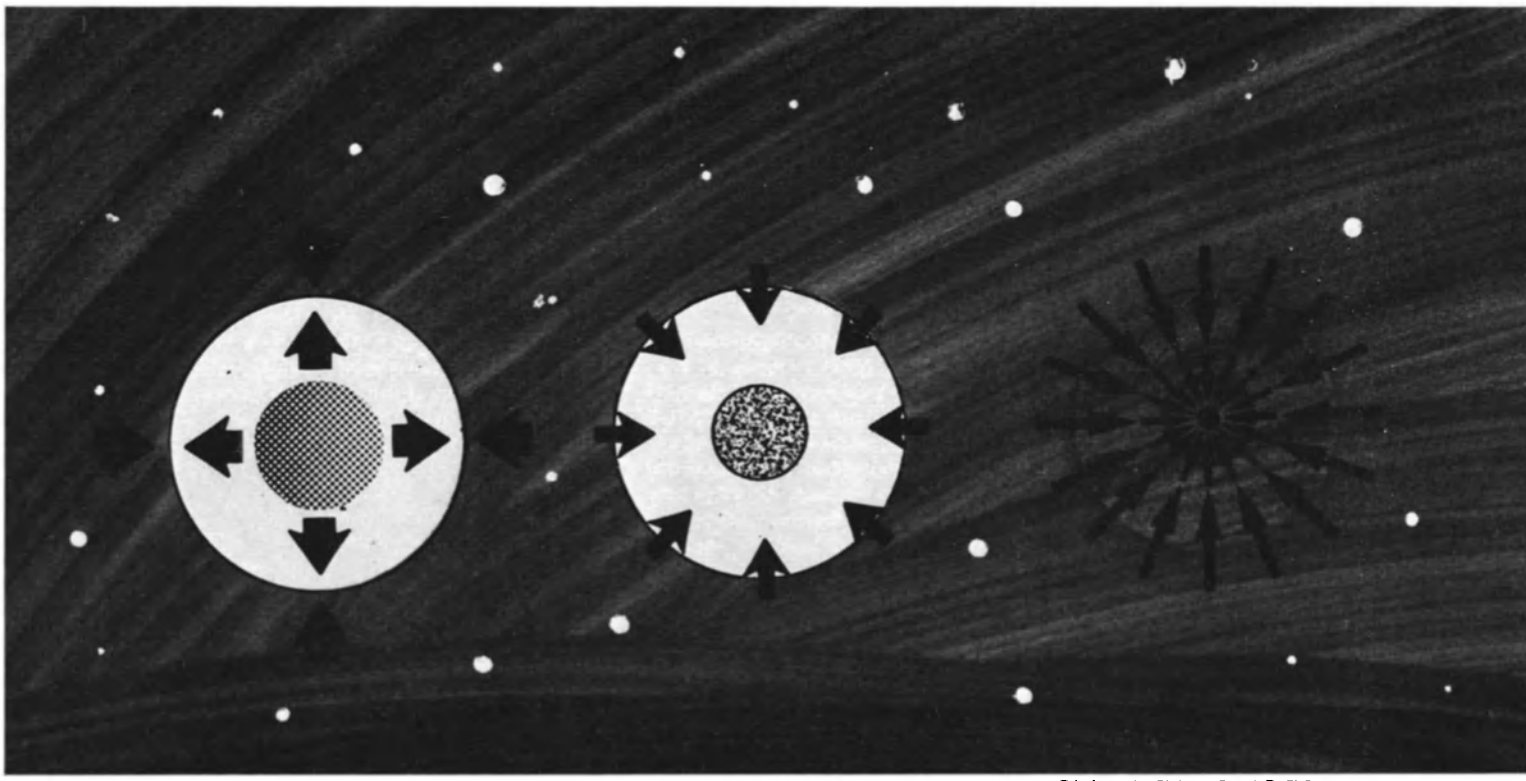
Foto © I.P.S., París

Les estrellas sumamente grandes queman más que el Sol, tienen una vida mucho más corta y terminan su existencia con una explosión colosal. La nebulosa de Cáncer (arriba) está formada por los restos de la explosión de una estrella que fue observada por los astrónomos chinos en el año 1054. En 1969 los astrónomos descubrieron una estrella de neutrones en el centro de la nebulosa. Ese cuerpo, extremadamente denso, consiste en una masa residual comprimida de la estrella original. A esos cuerpos celestes se les ha dado el nombre de pulsares porque emiten luz y señales de radio a impulsos regulares.

La pesadilla del guardameta

Imaginemos en un partido de fútbol el asombro del guardameta frente a un delantero centro que lanzara con el pie el balón de manera tal que su movimiento fuera acelerándose desde la inmovilidad hasta la velocidad de la luz. El balón, que en sí mismo pesa unos 450 gramos, sería cada vez más pesado : más pesado que un elefante, que un conjunto de edificios e incluso que el Sol, hasta que, a la velocidad de la luz, su peso sería infinito. Así se deduce de la famosa ecuación de Einstein expresada en la fórmula $E = mc^2$ (la energía es igual a la masa multiplicada por el cuadrado de la velocidad de la luz). Según esa ecuación, si dividimos la energía del movimiento (energía cinética) del balón por el cuadrado de la velocidad de la luz, descubriremos su masa. Se ha definido la masa como la cantidad de materia de que está formado un objeto, pero los científicos prefieren definirla como una medida de la inercia, o sea la resistencia de la materia a la aceleración. En la vida cotidiana solemos medir más bien el peso que la masa, pero, aunque entre ambos existe una relación estrecha, la noción de peso es más compleja que la de masa debido a que aquél depende de la fuerza del campo gravitatorio de la Tierra.

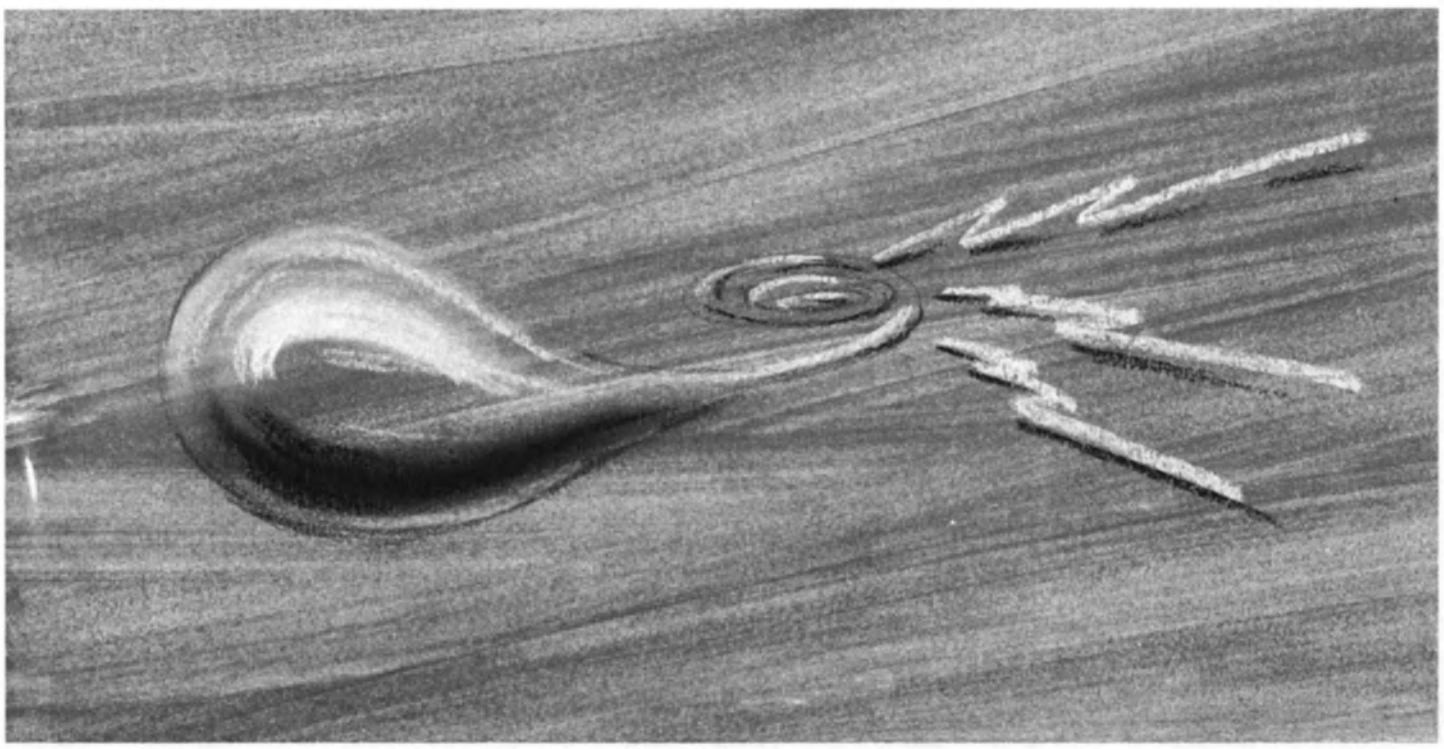




Dibujos taller Philippe Gentil © *El Correo de la Unesco*

Estrellas gigantes y agujeros negros

Si miramos el cielo de noche, podemos ver estrellas y más estrellas porque emiten luz. Pero en las ecuaciones de la teoría de la relatividad — y ésta es una de las consecuencias más "fantásticas" de la teoría de Einstein — se incluye la posibilidad de que existan también "agujeros negros", cadáveres de estrellas que otrora fueron enormes pero que no podemos ver porque su campo gravitatorio es tan fuerte que de ellas no puede desprenderse luz alguna. ¿Cómo se forman esos agujeros negros? Y, si no se los puede ver, ¿cómo comprobar su existencia? En el gráfico superior se describen, de izquierda a derecha, las etapas de formación de un agujero negro. En el periodo de estabilidad de las estrellas masivas, la presión de gravitación (representada por las flechas dirigidas hacia el interior) se halla equilibrada por la de las radiaciones emitidas por las reacciones nucleares en el centro de la estrella (flechas dirigidas hacia el exterior). Al final de su vida, cuando la estrella ha agotado su combustible termonuclear, esas reacciones se interrumpen y la estrella se hunde sobre sí misma por la fuerza de su propia gravedad. Por último, la estrella que sufre este "derrumbe" gravitatorio (dibujo del centro) se estabiliza en una fase de enorme condensación : su volumen resulta mínimo para una densidad y una gravedad infinitamente grandes. Por definición, los agujeros negros son invisibles, incluso para los telescopios más potentes, pero su presencia puede detectarse por sus efectos sobre las estrellas visibles situadas en sus proximidades. Debido a su inmenso poder gravitatorio, los agujeros negros se comportan como gigantescos aspiradores del espacio que absorben todo lo que pasa cerca de ellos. Abajo, los gases desprendidos de una estrella masiva visible son arrastrados hacia un agujero negro invisible. Al penetrar esos gases en espiral en el agujero son calentados y comprimidos, emitiendo rayos X que los astrónomos pueden detectar.



VIENE DE LA PÁG. 13

ción, o avanza y retrocede o late contrayéndose y expandiéndose. Según Einstein, la Tierra, cuando gira en torno al Sol, emite ondas gravitatorias. Como consecuencia, va perdiendo energía, de modo que se acerca lentamente al Sol.

Sin embargo, las ondas gravitatorias de la Tierra son tan débiles y contienen tan poca energía que es imposible detectarlas. Esa energía es tan escasa, en efecto, que la Tierra no se acercará al Sol sino unos pocos metros en billones de años.

De todos modos, en algún lugar del Universo deben existir campos gravitatorios de mayor intensidad que los que encontramos en el sistema solar. Movimientos extremadamente rápidos pueden ocasionar la emisión de ondas gravitatorias que contengan justo la energía suficiente para poder detectarlas.

Numerosos científicos han estado tratando de conseguirlo utilizando instrumentos sumamente delicados. Algunos de ellos afirman haberlo logrado, pero los resultados son muy dudosos, de modo que aun no se han aceptado como válidas sus afirmaciones.

Pero he aquí que en 1967 se descubrió un nuevo tipo de estrellas, los pulsares. Un pulsar es más pequeño y más compacto que una enana blanca : su masa puede llegar a ser igual a la de nuestro Sol pero estar comprimida en una esfera de no más de 12 kilómetros de diámetro. El campo gravitatorio en la superficie de un pulsar semejante sería 10.000.000.000 de veces más potente que el del Sol.

En 1974 se descubrieron dos pulsares que giraban uno en torno del otro. En esos movimientos rotatorios dentro de su campo gravitatorio, tan increiblemente poderoso, resulta fácil medir esos efectos que tan difícilmente pueden advertirse en nuestro sistema solar.

Un ejemplo al respecto es el movimiento de Mercurio en torno al Sol, que la teoría de la gravitación de Newton no explica. Sucede que un punto dado de la órbita de ese planeta se desplaza describiendo un círculo completo en torno al Sol en poco más de tres millones de años, aunque según la teoría de Newton no debería cambiar en absoluto. En cambio, la teoría de Einstein explica exactamente ese movimiento.

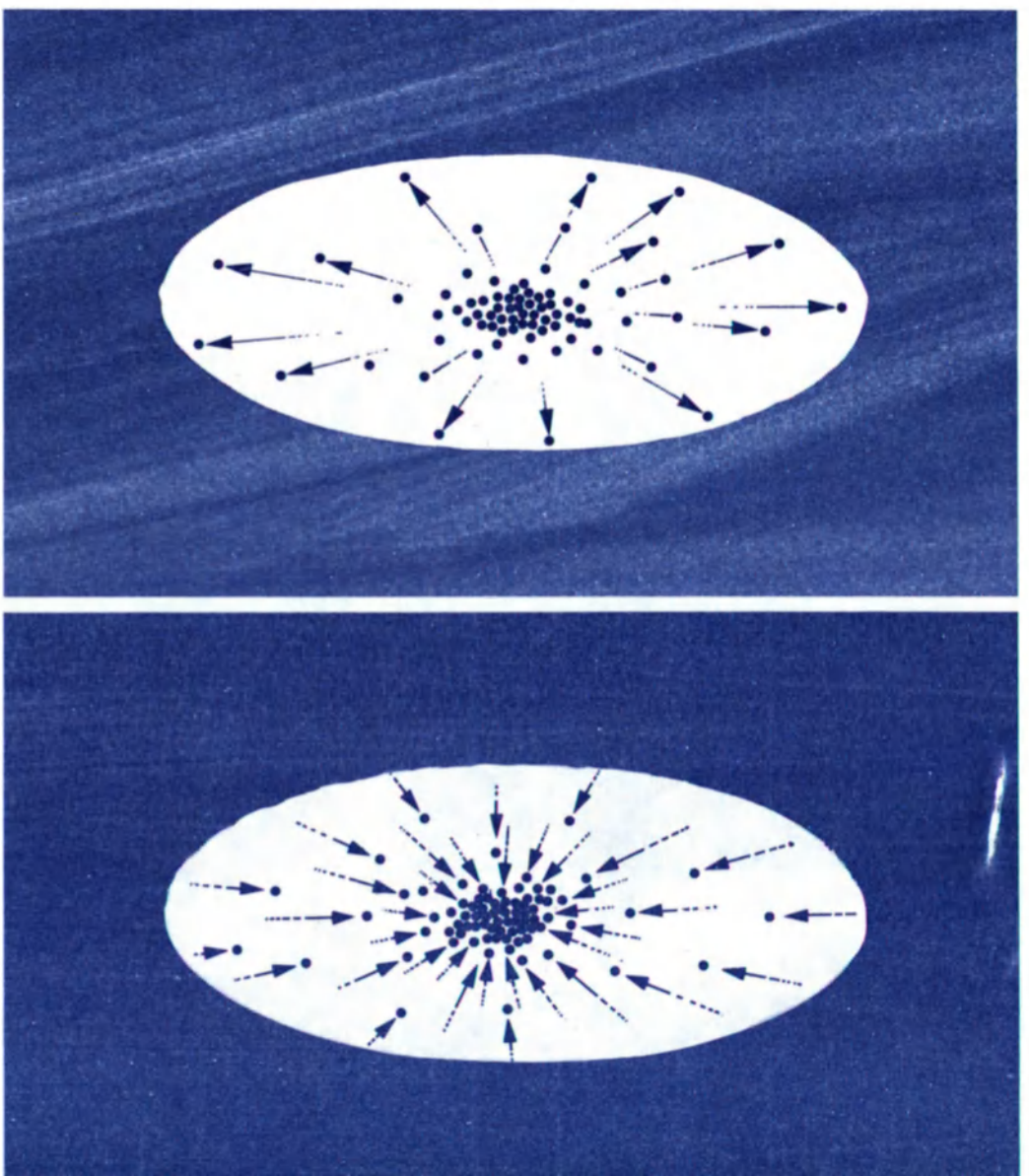
Ese mismo punto en las órbitas de esos dos pulsares de que hablábamos describirá un círculo completo en sólo 84 años, según la teoría de la relatividad. Y ese punto está moviéndose a la velocidad necesaria para que así suceda.

Es más : los pulsares, al girar, deben emitir ondas gravitatorias mucho más fuertes que las de la Tierra. La energía que escapa con esas ondas debe ser suficiente para hacer que los pulsares giren en espiral acercándose el uno al otro a una velocidad perceptible, lo que, a su vez, haría que algunos de sus radioimpulsos nos lleguen a intervalos cada vez más cortos.

Y, en efecto, en 1978 pudieron hacerse delicadas mediciones de esos radioimpulsos, observándose que llegaban a intervalos cada vez más cortos, con la diferencia de tiempo que Einstein había predicho.

En resumen : en los tres cuartos de siglo que han transcurrido desde que Einstein expuso su teoría de la relatividad, los científicos la han sometido una y otra vez a todas las pruebas concebibles, habiendo salido airosa de todas y cada una de ellas, sin excepción.

I. Asimov



Los trabajos de Einstein dieron un nuevo impulso a la cosmología o estudio del Universo considerado como un todo. El matemático soviético Alexander Friedmann demostró que, según las teorías de Einstein, el Universo es inestable y se encontraba, probablemente, en expansión. Al comienzo, Einstein se negó a seguir hasta sus últimas consecuencias el desarrollo lógico de sus propias ecuaciones y, a fin de llegar a un modelo cerrado del Universo, introdujo en las ecuaciones de la gravitación un factor al que llamó la "constante cosmológica" (véase el artículo de la página 29). En 1924, el astrónomo norteamericano Edwin Hubble verificó experimentalmente la suposición de Friedmann según la cual las galaxias se retiran a una velocidd creciente y el universo está en expansión. Einstein se rindió finalmente a la evidencia y calificó a su primera hipótesis de "el más grande disparate de mi vida". Arriba, imagen de un universo abierto, constantemente en expansión; abajo, la de un universo cerrado que terminará por contraerse.

Dibujo taller Philippe Gentil © *El Correo de la Unesco*



Paul Dirac y Albert Einstein en la quinta Conferencia Solvay (Bruselas, octubre de 1927).

Foto © Palais de la Découverte, París

Una teoría armoniosa que la naturaleza habría podido elegir

por Paul Dirac

EN la esfera de la ciencia los grandes descubrimientos se producen de dos maneras distintas. En ocasiones un descubrimiento está maduro y son muchos los investigadores a punto de hacerlo ; prodúcese una carrera entre ellos, y el que gana se lleva la fama. Si repasamos la lista de los Premios Nobel, vemos que suelen otorgarse a dos o tres personas que han trabajado sobre el mismo tema y que el mérito se reparte entre los ganadores de la competición. Es el tipo de descubrimiento que, de no existir el investigador que dio con él, pronto lo habría hecho algún otro.

Pero hay descubrimientos de otra clase en que un hombre trabaja enteramente solo, sigue pautas de pensamiento nuevas, sin rivales ni competidores, y penetra en dominios intelectuales inexplorados hasta entonces. La obra de Einstein es fundamentalmente de este tipo. Si Einstein no hubiera existido, sus descubrimientos no los habría hecho ningún otro investigador en muchos años ni en muchos decenios. Einstein por sí solo cambió completamente el rumbo de la historia de la ciencia.

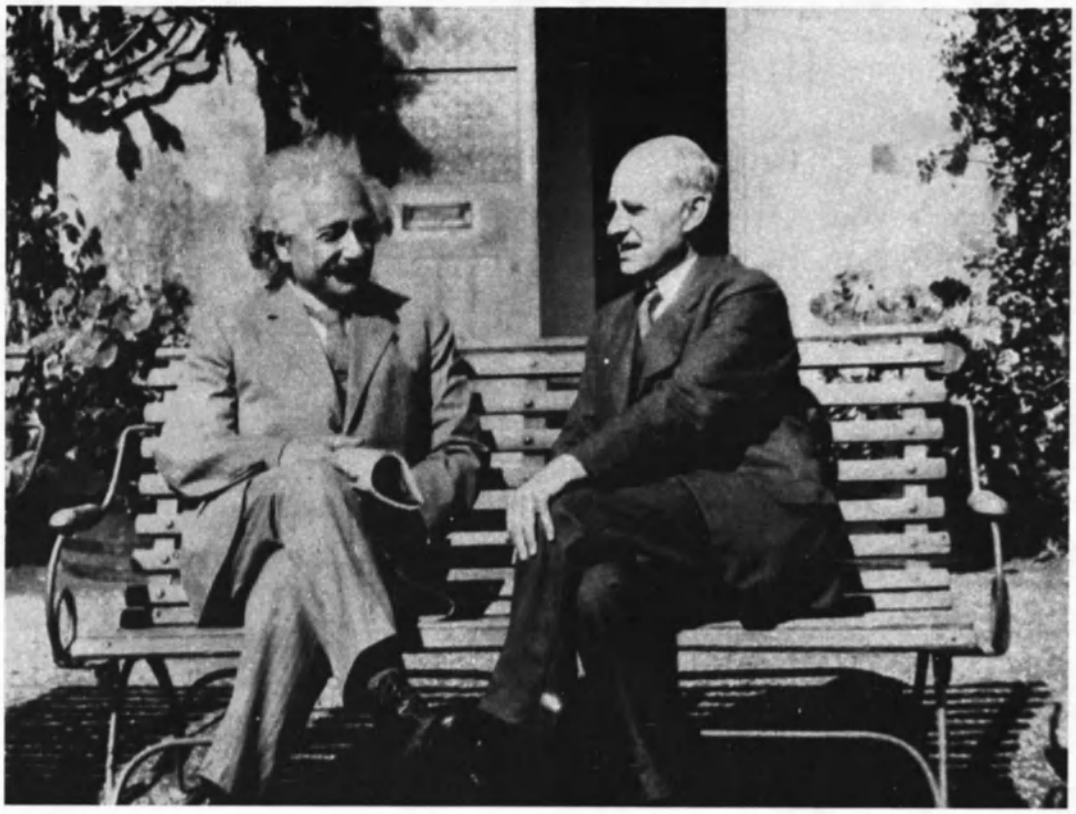
A excepción de contados especialistas, la teoría de la relatividad de Einstein no la conocía nadie hasta finales de 1918, a la terminación de la primera guerra mundial. Su repercusión fue entonces tremenda, al ofrecer al mundo un estilo nuevo de pensamiento, una nueva filosofía.

Llegaba en un momento en que tanto los vencedores como los vencidos estaban hartos de la guerra. La gente quería algo nuevo. La relatividad venía a ofrecérselo. El público en general se adueñó de ella y la convirtió en tema central de las conversaciones, un tema que permitía olvidar momentáneamente los horrores padecidos durante la guerra.

En diarios y revistas se publicaron innumerables artículos sobre la relatividad. Nunca había suscitado un idea científica interés tan intenso y tan vasto. En gran parte, lo que se decía o se escribía giraba en torno

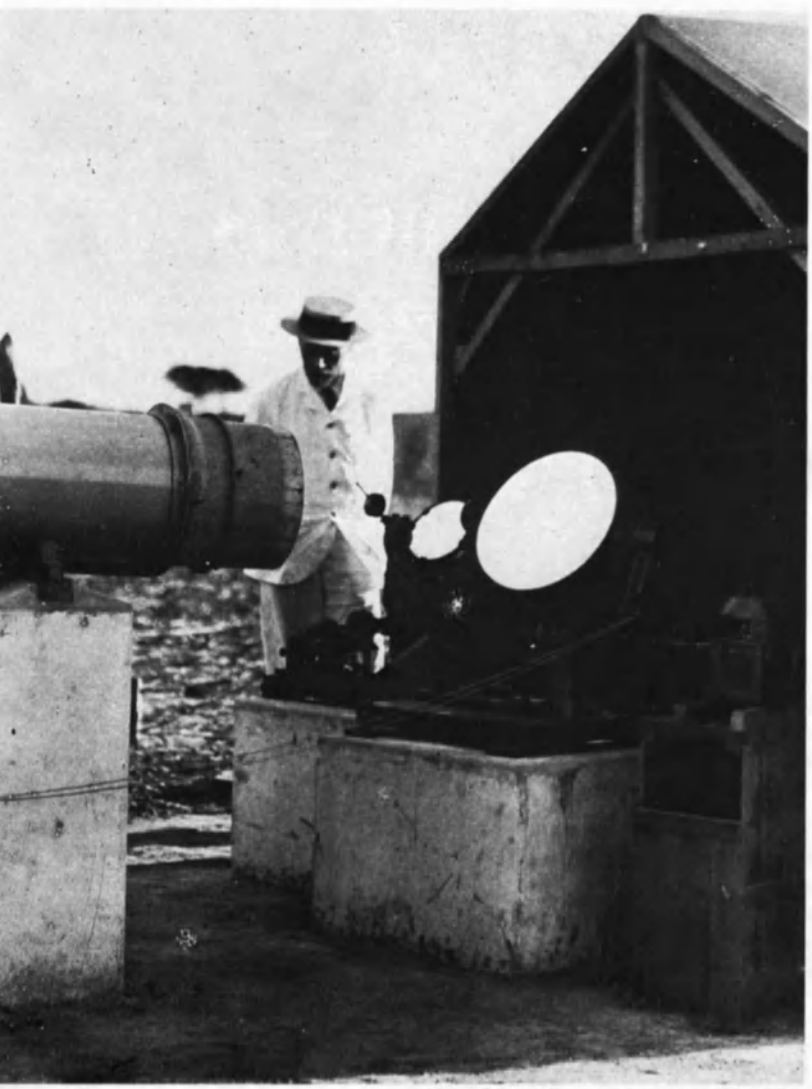
SIGUE EN LA PAG. 21

PAUL DIRAC, *físico británico de renombre mundial, compartió en 1933 con el científico austriaco Erwin Schrödinger el Premio Nobel de Física "por haber descubierto nuevas formas productivas de la teoría atómica". Es profesor honorario de la Universidad de Cambridge y profesor de física de la Universidad del Estado de Florida, Estados Unidos. El presente artículo es una versión abreviada de una conferencia pronunciada por Dirac en septiembre de 1978 en un coloquio sobre la influencia de las ideas científicas modernas en la sociedad, organizado en Munich y en Ulm con los auspicios de la Unesco.*



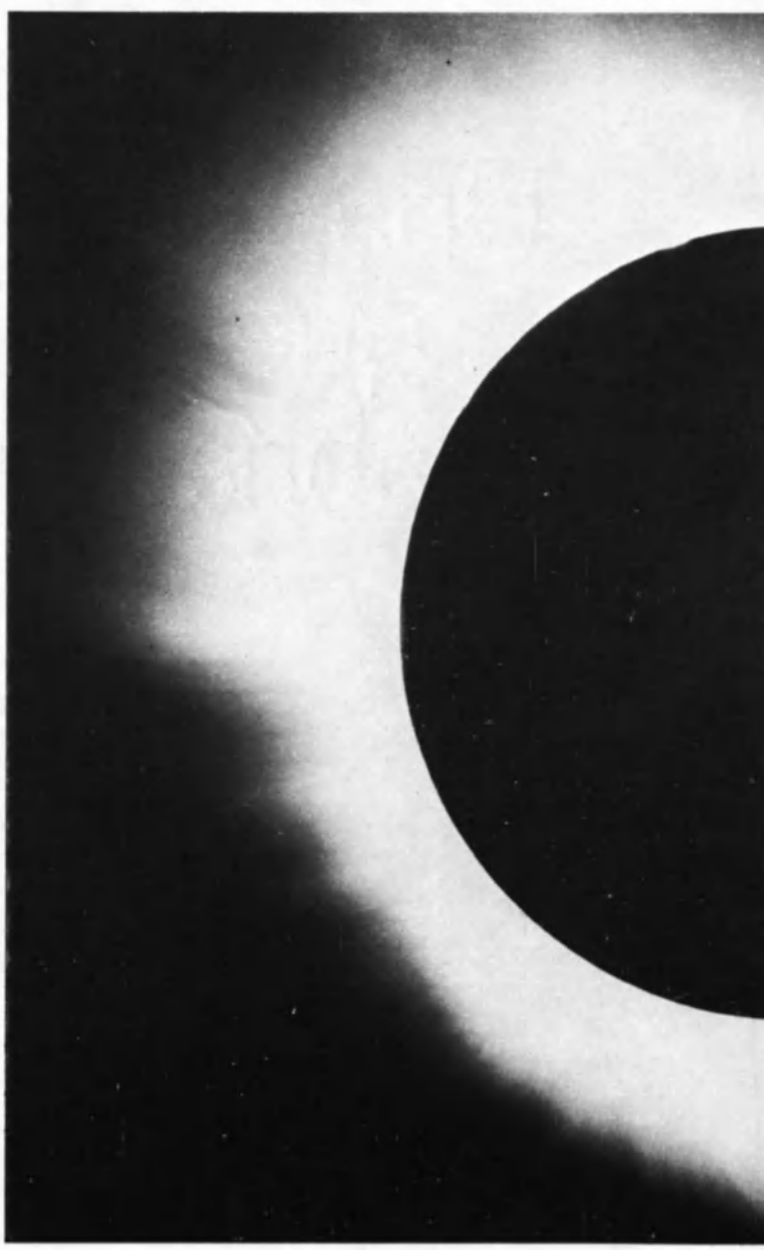
1





2

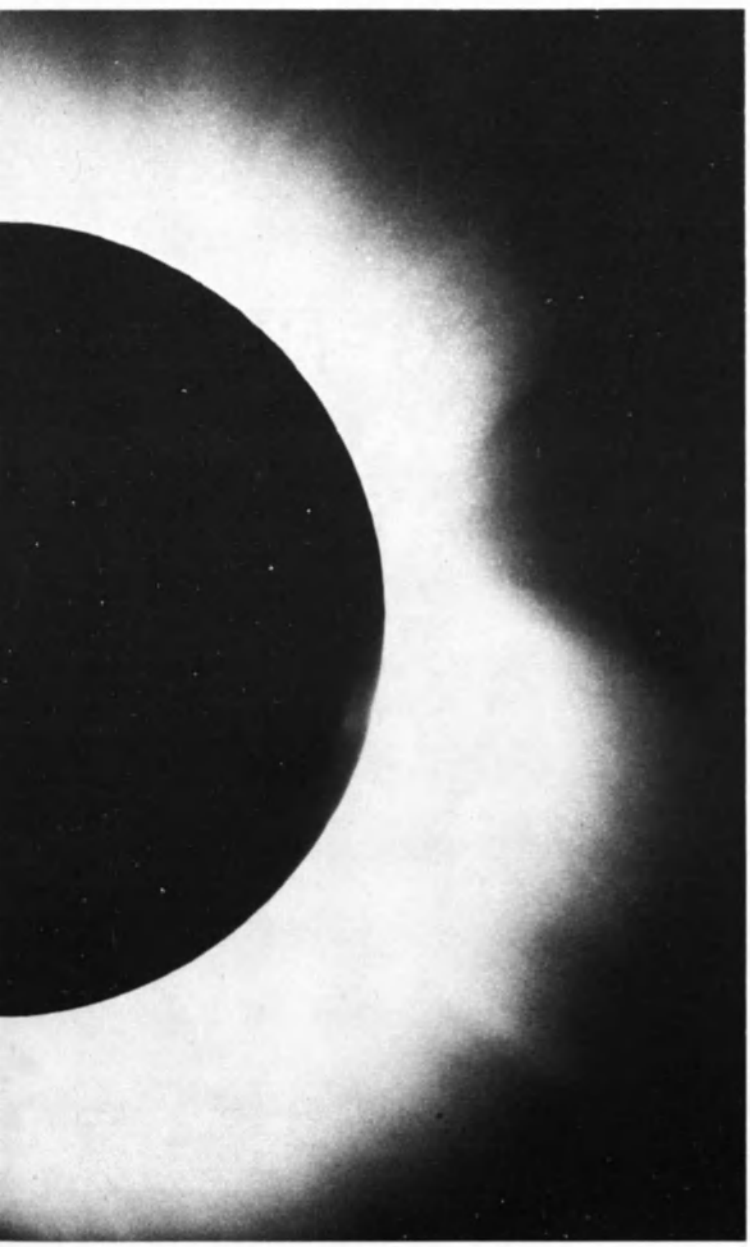
Fotos © Royal Greenwich Observatory, Reino Unido



3

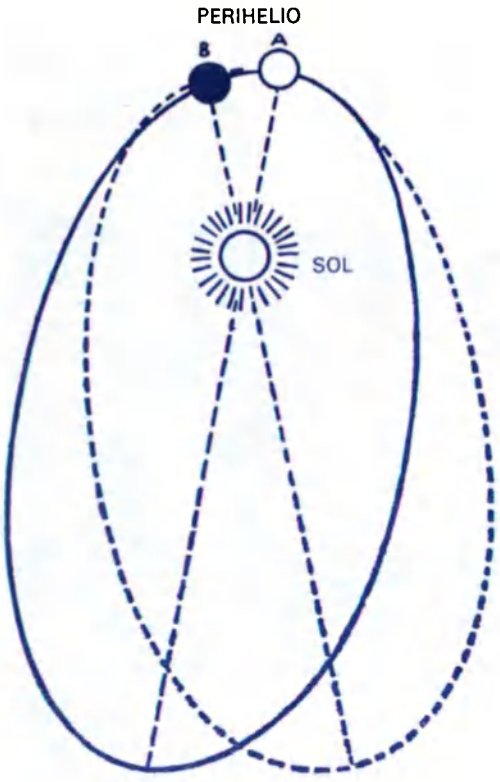


4

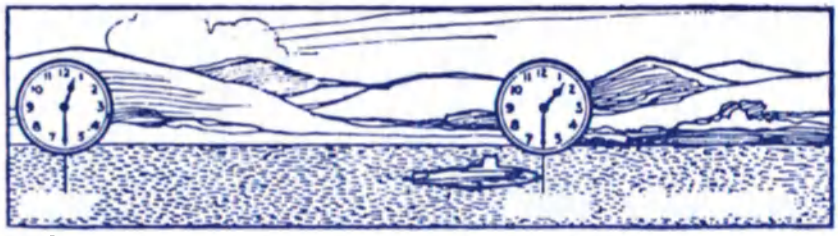


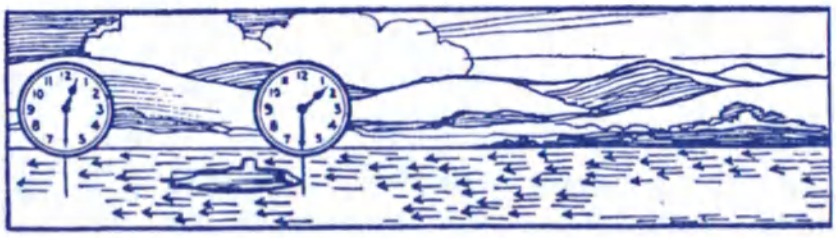
Esa curiosa luz curva

La comprobación más célebre y espectacular de la teoría general de la relatividad fue quizás la que se llevó a cabo, hace exactamente sesenta años, bajo la dirección del astrónomo británico Arthur Eddington (1882-1944). Basándose en esa teoría, Einstein había predicho en 1915 que la gravedad desviaría el recorrido de un rayo de luz cuando éste pasara cerca de una estrella de gran tamaño, como el Sol. Eddington decidió someter a prueba la teoría durante el eclipse total de sol del 29 mayo de 1919, ya que un eclipse total permitiría tomar fotografías de las estrellas cercanas al astro y compararlas con otras de las mismas estrellas tomadas cuando el Sol se encontraba en puntos muy distintos de su órbita. Cualquier diferencia que se advirtiera en las fotografías sobre la posición de las estrellas indicaría una desviación de la luz y podría calcularse la importancia de esa deflexión. El eclipse de 1919 fue particularmente propicio para la observación, puesto que ocurrió en un punto del firmamento donde abundaban las estrellas brillantes, visibles contra el fondo de la corona solar. Eddington organizó dos expediciones : una a la isla del Príncipe, en el golfo de Guinea, y otra a Sobral, en Brasil, debidamente equipadas para obtener fotografías que mostraran la posición de las estrellas. El astrónomo inglés, que tuvo a su cargo la expedición africana, recordaba las primeras mediciones que hizo de las fotografías obtenidas como uno de los momentos culminantes de su vida : ellas demostraban que, en efecto, la luz de las estrellas había sufrido una deflexión. Los resultados de la expedición a la isla del Príncipe indicaban una desviación ligeramente menor que la prevista por Einstein; los de la que se trasladó a Brasil, una deflexión mayor. El 27 de septiembre de 1919, cuando se habían analizado más detenidamente los datos, Einstein escribió a su madre : "Hoy día he recibido buenas noticias... las expediciones británicas han confirmado definitivamente la deflexión de la luz originada por el Sol". En las fotografías : 1) Einstein con Eddington en Cambridge, en 1930. 2) El astrónomo británico Andrew Crommelin, que dirigió la expedición a Sobral, con algunos instrumentos utilizados en ella. 3) La corona solar durante el eclipse de 1919. 4) Una escena de la expedición al Brasil.



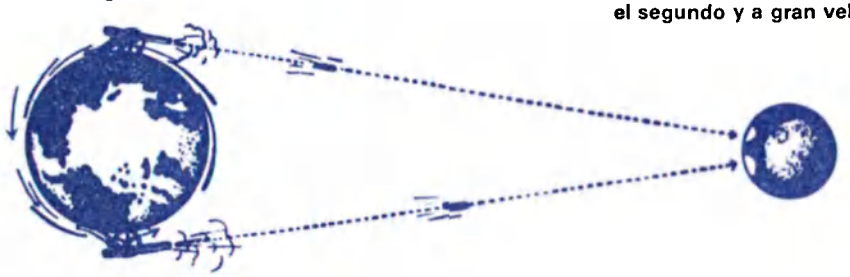
Mercurio viola una ley cósmica. Durante cien años intrigó a los científicos el hecho de que Mercurio, al alcanzar su perihelio (punto de su órbita que se halla más cerca del Sol), no se encuentra exactamente en el mismo punto al completar cada revolución. Parecía exceder la velocidad habitual de los cuerpos celestes al realizar un trayecto suplementario (representado aquí por el segmento A-B) que en cien años fue de 43 segundos de arco. La explicación que Einstein diera de esta "aberración" iba a ser uno de los corolarios de su teoría general de la relatividad.





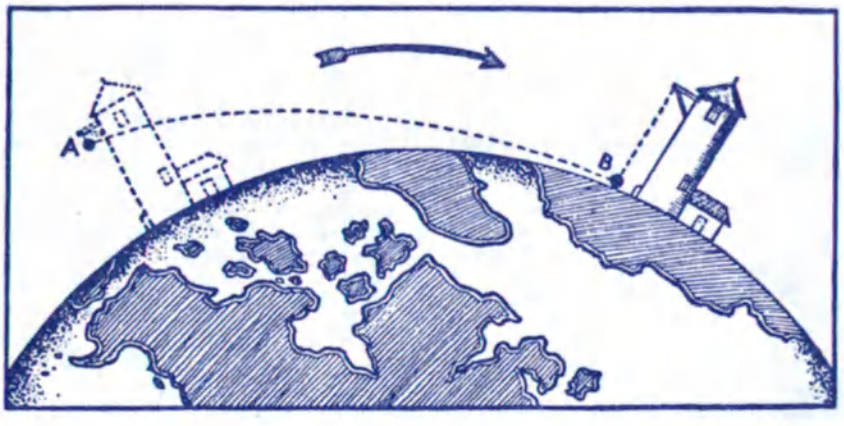


Relatividad de la velocidad. La velocidad de un objeto en movimiento es relativa respecto de un observador, como lo demuestran estos dibujos. En los tres casos el submarino avanza a su velocidad máxima pero la distancia que recorre en una hora varía debido al movimiento del agua. Así, mientras la velocidad de la nave sigue siendo la misma en relación con el agua, no lo es para un observador situado en tierra que, ignorando las mareas, supondría que el motor del submarino funciona con bastante rapidez en el primer caso, muy lentamente en el segundo y a gran velocidad en el tercero.



La velocidad de la luz es constante. Dos cañones imaginarios, emplazados en los polos de la Tierra, disparan simultáneamente un proyectil a la Luna. Por la diferencia de velocidad entre los dos proyectiles, debida al movimiento de la Tierra, estos llegan a su destino con unos días de intervalo. Pero los rayos de luz emitidos por los cañones llegan a la Luna en el mismo instante, exactamente 1 segundo 1/3 después de realizados los disparos. Ningún movimiento — ya sea que se produzca en la fuente lumínica ya en el medio que la luz atraviesa — afecta a la velocidad de la luz, razón por la cual ésta constituye un patrón de medida sumamente importante en la teoría de la relatividad.

IMÁGENES DE LA RELATIVIDAD



Relatividad de la dirección. Lo que nos parece una línea recta puede en realidad ser una curva. Una persona que deja caer una piedra desde lo alto de una torre la ve describir una línea recta hasta el suelo, pero olvida que la Tierra se mueve. Debido a este movimiento, un observador situado en el espacio vería caer la piedra no en línea recta sino siguiendo la línea curva A-B.

Los dibujos y los textos de estas dos páginas fueron realizados bajo la dirección de Einstein. Están tomados de Albert Einstein, Maker of Universes, *de H. Gordon Garbedian © 1939, Cassell and Co. Ltd., Londres.*

VIENE DE LA PÁG. 17

a nociones filosóficas generales y carecía del rigor indispensable para un debate científico serio. La información precisa disponible era escasa. Pero a la gente le encantaba exponer sus puntos de vista en la materia.

A la sazón estudiaba yo ingeniería en la Universidad de Bristol. Desde luego los estudiantes abordábamos el tema y lo discutíamos ampliamente entre nosotros. Pero ni los estudiantes ni los profesores teníamos información exacta acerca del problema ni conocíamos sus fundamentos matemáticos. Podíamos a lo sumo comentar las implicaciones filosóficas y aceptar la convicción universal de que se trataba de una teoría válida.

En Inglaterra un hombre, Arthur Eddington, comprendió realmente la relatividad y se convirtió en una de las primeras autoridades en la materia. Le interesaban sobremanera las consecuencias de la teoría en materia de astronomía y la posibilidad de verificarla mediante observaciones astronómicas.

Se propusieron entonces tres posibles medios de verificación.

El primero se relacionaba con el movimiento de Mercurio. Los astrónomos habían observado —y el hecho venía intrigándoles desde hacía mucho tiempo— que el perihelio de este planeta (punto de su órbita que se halla más cerca del Sol) excede en aproximadamente 43 segundos de arco por siglo la velocidad teórica prevista por Newton. La nueva teoría de Einstein predecía cabalmente este efecto y las observaciones de Eddington lo confirmaron.

Era sin duda un éxito espléndido para la teoría einsteiniana, pero cuentan que Einstein no se emocionó demasiado al enterarse de la comprobación de Eddington porque pensaba que su teoría tenía que ser correcta en cualquier caso.

La segunda prueba concernía a la deflexión (desviación) de la luz al pasar cerca del Sol. La teoría de Newton admite también la existencia de una deflexión, pero cifra su magnitud en la mitad de la prevista por Einstein. Observando estrellas situadas más allá del Sol cuya luz haya pasado cerca de éste para llegar hasta nosotros, podemos verificar la teoría de Einstein. Ahora bien, ello sólo es factible durante un eclipse total, cuando la luz solar es interceptada por la Luna. En 1919 se esperaba un eclipse total favorable y Eddington organizó dos expediciones para observarlo, poniéndose al frente de una de ellas.

Los resultados obtenidos por ambas corroboraron la teoría de Einstein, pero la exactitud de esta confirmación no era muy grande a causa de las dificultades con que tropezaron las observaciones, de manera que el público no se mostró plenamente satisfecho. En los numerosos eclipses totales de Sol registrados luego se ha vuelto a estudiar este efecto y siempre se han conseguido resultados que coinciden más o menos exactamente con la teoría einsteiniana.

Más recientemente ha sido posible verificar el efecto mencionado con ondas hertzianas en lugar de ondas luminosas. Se han descubierto las radioestrellas (estrellas generadoras de ondas de radio), y cuando una de ellas está detrás del Sol podemos observar si sus ondas hertzianas se desvían al pasar a su lado. Para ello no hace falta aguardar a un eclipse total porque el Sol es un emisor muy débil de ondas hertzianas. La utilización de estas ondas en vez de las ondas luminosas puede presentar la complicación de que aquellas son desviadas por la corona del Sol. Ahora bien, esa deflexión es diferente para ondas de diferente longitud, de modo que, realizando observaciones en dos longitudes de onda distintas, podemos disociar el efecto Einstein del producido por la corona solar. De este modo la teoría einsteiniana se confirma con mucha mayor exactitud que empleando ondas luminosas.

El tercer medio de verificación concernía a la predicción general de la relatividad según la cual las ondas emitidas por una fuente de luz situada en un campo gravitatorio se desviarán hacia las longitudes mayores, o sea hacia el extremo rojo del espectro (fenómeno conocido con el nombre de corrimiento o desvío hacia el rojo). El medio más sencillo para observar este efecto es estudiar la luz emitida por la superficie del Sol, pero la observación del efecto Einstein es difícil a causa de otro fenómeno (el efecto Doppler) producido por el movimiento de la materia en la atmósfera solar, movimiento que es muy importante y que no ha sido aun claramente explicado. Cabe calcular, empero, las consecuencias de ese movimiento y obtener así *grosso modo* una concordancia con las previsiones de la teoría de Einstein.

El descubrimiento de las estrellas enanas blancas nos brinda un medio aún mejor para comprobar el mismo efecto. Estas estrellas se componen de materia en altísimo grado de condensación. La fuerza gravitatoria de su superficie es mucho mayor que la de la superficie del Sol, y, congruentemente, también lo es el efecto Einstein. Si poseemos datos suficientes sobre una enana blanca para deducir su masa y sus dimensiones, podremos conseguir una verificación satisfactoria de la teoría de Einstein. Este efecto se comprueba también hoy día mediante observaciones de laboratorio con una exactitud superior a la de las observaciones astronómicas.

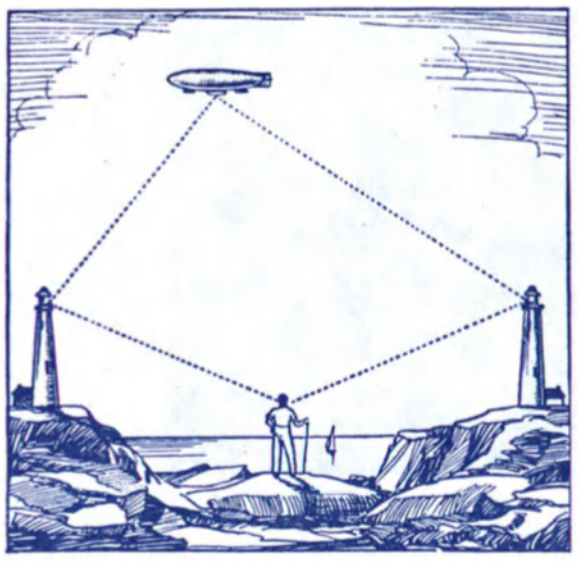
Ultimamente se ha agregado una cuarta prueba a las tres clásicas. Refiérese al tiempo que la luz invierte en pasar cerca del Sol. La teoría einsteiniana implica la existencia de un retraso. Este puede observarse proyectando ondas de radar hacia un planeta situado al otro lado del Sol y midiendo el tiempo que las ondas reflejadas tardan en volver a la Tierra. Con el empleo de ondas de radar, en el retraso influye la corona solar, de manera que hay que utilizar también en este caso dos longitudes de onda diferentes para disociar el efecto producido por la corona del efecto Einstein.

Las observaciones de este tipo, efectuadas por Irving Shapiro, han proporcionado otra excelente confirmación de la teoría einsteiniana.

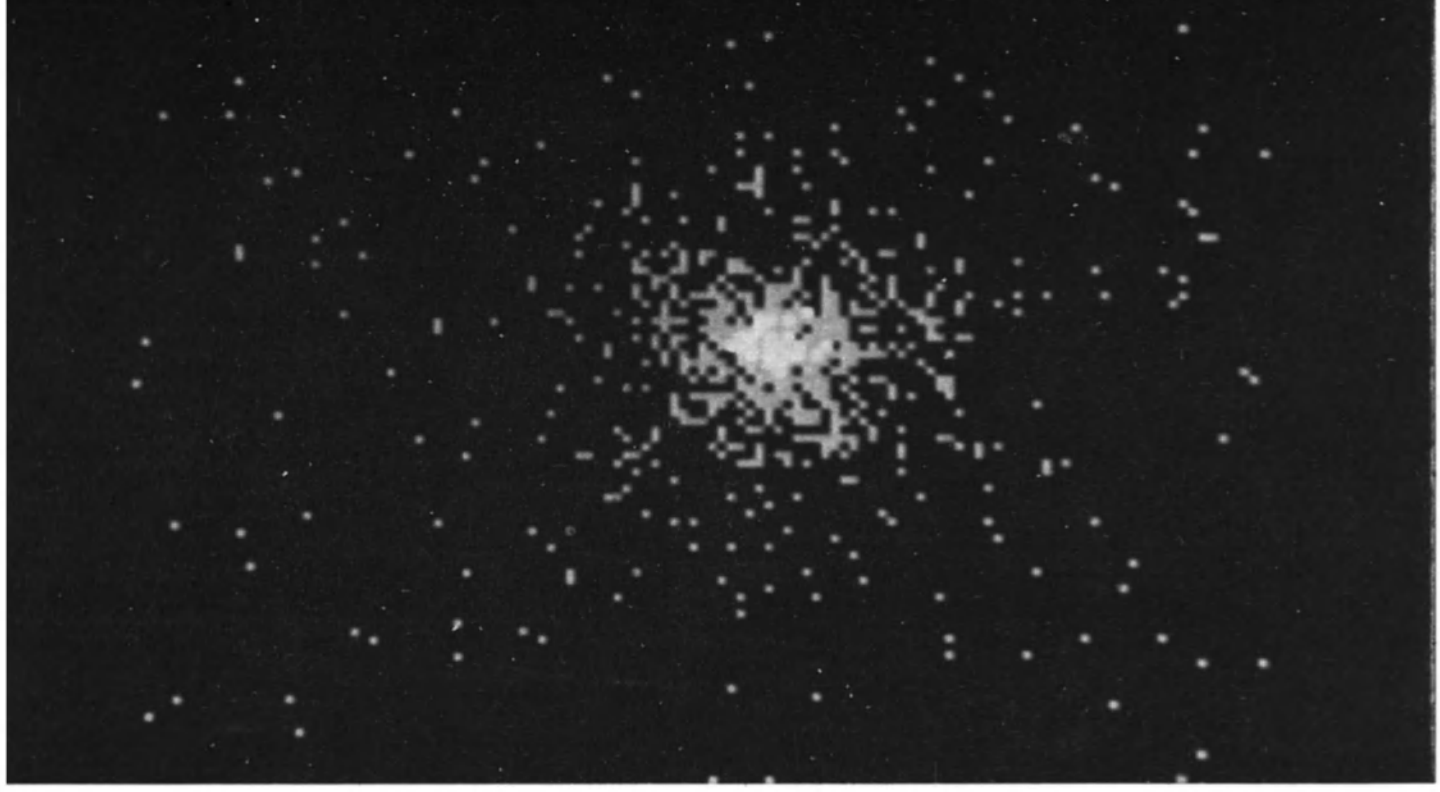
Esta enumaración de los éxitos obtenidos por la teoría de Einstein es impresionante. En todos las casos ésta ha quedado confirmada, con mayor o menor precisión según el grado de exactitud de las observaciones y el margen de error que implican.

Planteémonos ahora la siguiente cuestión : supongamos que surge una discrepancia, sólidamente confirmada y argumentada, entre la teoría y la observación. ¿Cómo reaccionar? ¿Cómo habría reaccionado Einstein? ¿Tendríamos que concluir que su teoría es básicamente errónea?

Yo diría que la respuesta a esta última preguntas es un NO rotundo. Todo el que sepa valorar la armonía fundamental existente entre el devenir del Universo y los grandes principios matemáticos tiene que comprender que una teoría dotada de la

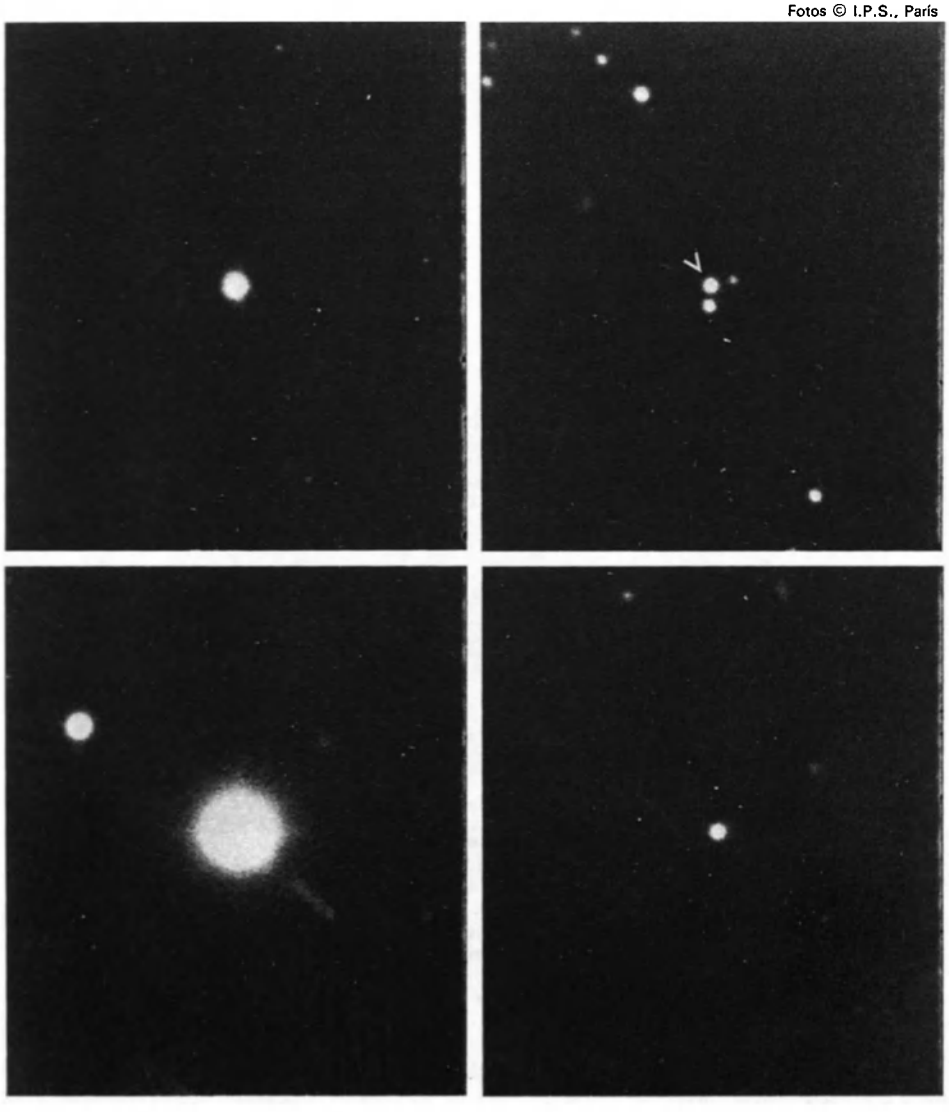


Relatividad del tiempo. Dos faros muy alejados entre sí emiten una señal en el mismo instante. Un hombre situado en el suelo, exactamente a medio camino entre las dos torres, ve las dos luces simultáneamente. Pero para un observador que se encuentre en el globo dirigible que avanza en la dirección del faro de la izquierda, las dos luces no serían simultáneas : la de la torre más cercana a él aparecería una fracción de segundo antes que la otra, puesto que tiene una distancia menor que recorrer.



Arriba, primera imagen de una estrella de rayos X, que transmitió el observatorio espacial orbital HEAO-2. La estrella, llamada Cisne X-1, forma parte del sistema binario de la constelación del Cisne, que se encuentra a 6.000 años luz de la Tierra. Se cree que en esa constelación existe un agujero negro (véase pág. 15). Abajo, cuatro quásares fotografiados a través del telescopio de Hale en el Monte Palomar, California. Los quásares, cuerpos celestes que emiten ondas de radio, fueron descubiertos en 1962. Hay ciertos quásares que emiten también rayos X. El quásar conocido con el nombre de 3C-273 (abajo a la izquierda) es la más poderosa fuente de rayos X hasta ahora descubierta.

Fotos © I.P.S., París



belleza y la elegancia de la teoría de Einstein *ha de ser* esencialmente correcta. La eventual aparición de una discrepancia en alguna aplicación de la teoría tiene que obedecer a alguna circunstancia secundaria que no se ha tomado adecuadamente en consideración, pero no puede atribuirse a la inexactitud de los principios generales de la teoría.

Cuando Einstein trabajaba en su teoría de la gravitación, no intentaba explicar los resultados de determinadas observaciones. Por el contrario, todo su esfuerzo se aplicaba a construir una teoría elegante, una teoría que no desmereciera del Universo ; guiábale exclusivamente el afán de dotarla de la belleza y la elegancia que cabe esperar de toda descripción fundamental del Universo ; le absorbía la idea de cómo debería ser éste, no la necesidad de descifrar algunos resultados experimentales.

Por supuesto, se requiere auténtico genio para ser capaz de imaginarse cómo debe ser el Universo deduciéndolo de un razonamiento abstracto. Einstein poseía ese genio.

En cierto modo, tuvo la idea de relacionar la gravitación con la curvatura del espacio. Supo desarrollar un esquema matemático en el que esta idea entraba como parte integrante. En ello le guiaba sólo la consideración de la belleza de las ecuaciones.

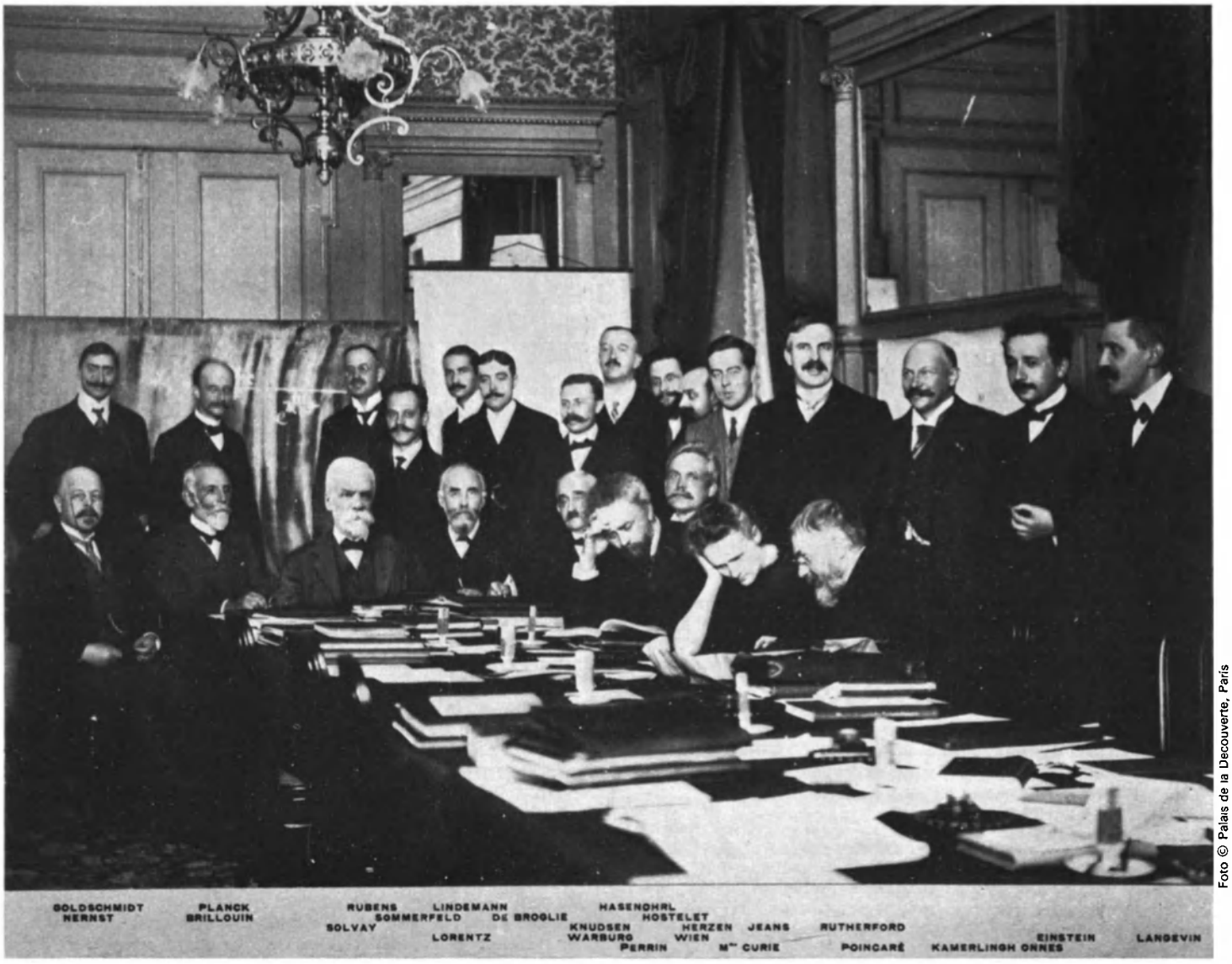


Foto © Palais de la Découverte, París

En 1911 se reunió en Bruselas la primera Conferencia Solvay (nombre del industrial belga que la patrocinó) a fin de discutir las consecuencias de la ley de radiación de los cuerpos negros que formulara Max Planck en 1901 y que constituye la base de la teoría de los quanta. Con sus investigaciones combinadas así como gracias a la confrontación de diferentes corrientes de pensamiento, el grupo de sabios prestigiosos que rodean a Einstein en la foto contribuyeron a que la física moderna hiciera en unos pocos decenios progresos gigantescos y espectaculares.

El resultado de este planteamiento es una teoría de gran sencillez y elegancia en sus líneas básicas ; y se impone la convicción de que sus fundamentos han de ser perfectamente correctos, independientemente de que coincidan o no con la observación.

Tuve el privilegio de ver a Einstein en varias ocasiones. La primera fue con motivo de la Conferencia Solvay (Bruselas, 1927), en la que los principales hombres de ciencia del mundo se reunieron para examinar las últimas novedades en materia científica.

Por entonces la teoría einsteiniana estaba sólidamente implantada y era generalmenta aceptada, y no se debatió en la conferencia. El tema principal fue la nueva teoría cuántica de Heisenberg, Schrödinger y otros. Naturalmente, todos queríamos conocer las impresiones de Einstein acerca de las nuevas ideas. El se mostraba un tanto hostil porque había alcanzado un éxito maravilloso con su propia idea de introducir la geometría en la física y pensaba que la evolución subsiguiente consistiría también en incorporar elementos geométricos más exóticos, habiendo dedicado a ello muchos años de su vida sin lograr progresos substanciales. Probablemente estas concepciones de Einstein eran correctas en principio ; pero aun no habían conducido a una solución satisfactoria.

Volví a verme con él en otra conferencia Solvay ; después vino a Cambridge, donde yo trabajaba, y más tarde a Princeton, donde pasó a ser miembro permanente del Instituto de Estudios Superiores de esta Universidad. Yo era miembro accidental del Instituto y asistía a las conferencias de Einstein. Algunas veces me invitaba a su casa, lo que constituía para mí un gran honor. Tales ocasiones me sirvieron para conocerle personalmente. Pude ver que las ideas científicas dominaban todos sus pensamientos : hasta si os ofrecía té, el movimiento de las briznas en la taza cuando revolvíais el azúcar le sugería un problema que solicitaba explicación.

Durante una discusión con un grupo de físicos, dijo una frase que se hizo muy famosa y que ahora campea grabada en mármol sobre la chimenea del salón de visitantes del Instituto de Matemáticas de la Universidad de Princeton. Para apreciarla hay que haber sido realmente un investigador de física y comprender que Dios ha propuesto ciertos problemas que aquél ha de intentar resolver. Es menester, además, tratar de imaginarse el talante con el que Dios propuso esos problemas. Einstein resumió todo ello con estas palabras : *"Raffiniert is Got, aber bösartig ist Er nicht"* ("Dios es listo, pero no tramposo").

P. Dirac

Ciencia y subjetividad : el caso Einstein

Texto copyright © Pierre Thuillier, 1979.
Prohibida la reproducción.

por Pierre Thuillier

"LA ciencia, considerada como conjunto acabado de conocimientos, es la creación humana más impersonal ; pero, considerada como proyecto que se realiza progresivamente, es tan subjetiva y está tan psicológicamente condicionada como cualquier otra empresa humana."

A los defensores de cierto racionalismo positivista podrá tal vez sorprenderles semejante declaración de Einstein. Empero, en ella debe verse simplemente una suerte de invitación a escudriñar la génesis "subjetiva" de las ideas relativistas.

Que todo quede bien claro. La "relatividad restringida" y la "relatividad general" son teorías *científicas ;* por tanto, no se puede comprender su naturaleza ni evaluar su importancia si no se tiene en cuenta el estado en que se encontraban las ciencias físicas a comienzos del siglo XIX. Es más, si sólo nos preocupa el "progreso" de los conocimientos en cuanto tales, podemos incluso permitirnos pasar por alto (o condenar por demasiado anecdóticas) todas las contribuciones psicológicas o sociológicas a la historia de las ciencias. Ahora bien, el hecho es que el propio Einstein se preocupó constantemente por analizar el funcionamiento de su pensamiento, el origen de sus ideas, las influencias que sobre él se habían ejercido.

La ciencia es esencialmente "objetiva" o, por los menos, no tiene valor sino en la medida en que es "objetiva". ¿ Por qué, pues, atribuir deliberadamente un lugar importante a la "subjetividad" del científico, aunque éste se llame Einstein ? Dicho de otro modo, sería inútil e incluso peligroso confundir el arte con la ciencia. Los artistas no tratan de describir la realidad "tal como es", sino que la interpretan, la reconstruyen según las exigencias de su sensibilidad y de su imaginación. En cambio, los científicos —se nos insinúa— proceden de otra manera : imponen silencio a su "subjetividad" y sólo escuchan la "voz de los hechos". Es al parecer de este modo, basándose en un método riguroso, como logran establecer "leyes de la naturaleza" absolutamente exactas.

Lo que cuenta, según tal concepción de la ciencia, es que los conceptos estén rigurosamente definidos y que sean operativos, y que las consecuencias de la teoría sean confirmadas experimentalmente. Los "genios" de la ciencia son, indudablemente, personalidades a su manera extraordinarias, pero su obra no tiene nada de "subjetivo".

Esta concepción tiene todos los visos del sentido común, pero podría ocultar las dificultades inherentes a la noción de *objetividad.*

Nadie pretende negar que, en principio, los enunciados científicos deban someterse a la prueba experimental. Pero, incluso cuando el "veredicto de la experiencia" es favorable, ¿ puede decirse que la "objetividad" de la teoría queda establecida ?

En realidad, lo único que en tal caso se confirma es su valor (o validez). En sentido estricto, una experiencia positiva no demuestra que los enunciados sometidos a prueba sean absolutamente "verdaderos", desde el momento en que otra teoría puede resultar igualmente buena, o incluso mejor. Con otras palabras, jamás se está seguro de tener un conocimiento completo y definitivo de los "objetos" estudiados. Los experimentos pueden demostrar que, *en ciertas condiciones y dentro de ciertos límites,* una teoría dada explica los fenómenos. Pero no prueban que ese conocimiento sea absoluta y perfectamente verdadero.

Los ejemplos abundan. Así, durante largo tiempo se creyó que la mecánica de Newton describía la realidad de manera rigurosamente exacta ("objetiva"). Pues bien, fue la teoría de la relatividad la que puso precisamente en tela de juicio esa creencia. La ciencia, admitámoslo, se propone describir (o explicar) objetivamente los fenómenos. Pero sería excesivo afirmar que las teorías científicas, tal como existen en la realidad, son sistemas íntegramente objetivos, es decir desprovistos de elementos más o menos "subjetivos". Por lo demás, esa es la razón de que las teorías se renueven continuamente.

La manera de abordar el problema de la subjetividad en las ciencias depende, pues, estrechamente de las soluciones que se dan a ciertas cuestiones propiamente epistemológicas (es decir relativas a la naturaleza y el valor del saber científico). El propio Einstein tenía conciencia de ello, como lo demuestran sus análisis sobre las relaciones entre los "hechos" y las "teorías". Newton, observa, creía que "los conceptos fundamentales y las leyes de su sistema podían deducirse de la experiencia". Ello es, empero, inexacto. Contrariamente a lo que piensan algunos empiristas, "todo intento de deducir lógicamente los conceptos y postulados fundamentales a partir de experiencias elementales está condenado al fracaso". En realidad, los fundamentos de la física teórica deben ser "libremente inventados". Esto quiere decir que los físicos, para elaborar su ciencia, no toman nota pasivamente de las informaciones sensoriales sino que construyen un marco teórico con la ayuda de principios y de conceptos por ellos elegidos. Y Einstein lo dice y lo repite : libremente elegidos.

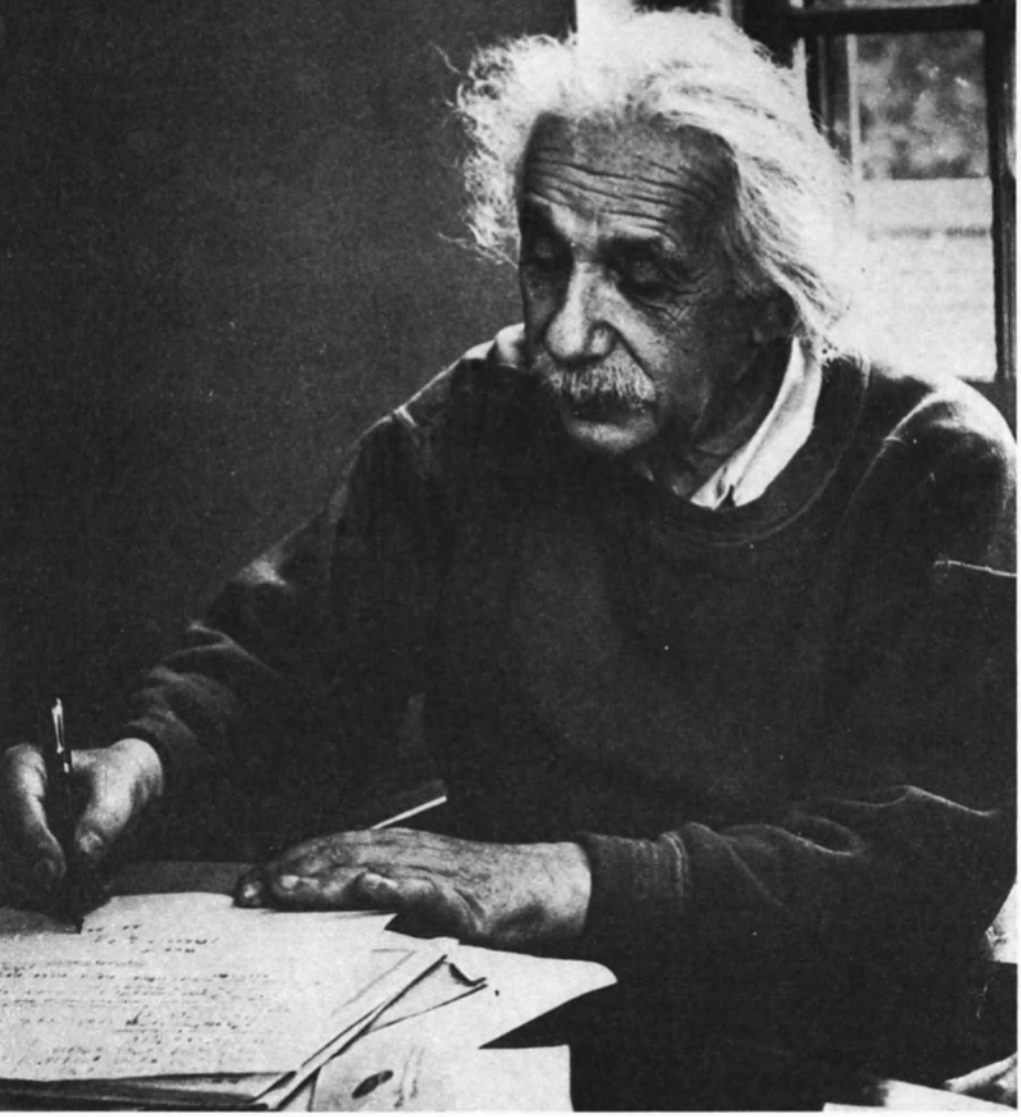
Tal concepción, a la que puede llamarse constructivista, no sólo tolera la intervención de la "subjetividad" de los teóricos sino que reconoce que esa intervención es prácticamente inevitable y absolutamente legítima. Verdad es que unas teorías son mejores que otras. Pero, según Einstein, "no hay un puente lógico entre los fenómenos y los principios destinados a explicarlos". Ahora bien, si esos principios no se derivan de los fenómenos, ¿ de dónde proceden?

La opinión de Einstein puede resumirse como sigue : aunque el científico aspira a dar una imagen "racional" del mundo, no tiene acceso a una Razón única y absoluta que le proporcione, de manera puramente lógica, los conceptos y principios que necesita. Es apelando a sus propios recursos y a sus propias experiencias (en el sentido más lato del término) como los hombres tratan de forjar herramientas intelectuales más o menos adecuadas a la "realidad". La génesis de las teorías científicas no es pues exclusivamente cuestión de lógica y de epistemología, sino también de psicología, de sociología y de antropología cultural. Las llamadas sociedades adelantadas propagan una imagen de la ciencia que pone sobre todo de relieve sus aspectos rigurosos, lógicos, "objetivos". Pero Einstein, tanto con sus declaraciones cuanto con su propia actividad científica, nos brinda una excelente ocasión para percibir mejor el reverso de esa imagen, con todo lo que entraña de emociones, impulsos imaginativos, convicciones filosóficas e incluso pasión "mística".

Sabido es que una larga amistad unió a Einstein y Michele Besso. La hermana de este último preguntó un día a Einstein : "¿ Por qué Michele no ha hecho descubrimientos importantes en matemáticas ?". A lo cual Einstein respondió riendo : "Pero si es muy

---

PIERRE THUILLIER, *catedrático de letras y de filosofía, es profesor de historia de las ciencias en la Universidad de Lille y en la Universidad de París. Pertenece a la redacción de la revista francesa de información científica* La recherche. *Dedicado al estudio de las relaciones entre la ciencia y la sociedad, ha publicado un libro de ensayos de epistemología crítica titulado* Jeux et enjeux de la science *(ediciones Robert Laffont, París, 1972).*



Einstein en su escritorio de la Universidad de Princeton, en 1948. Cuando en cierta ocasión alguien le preguntó dónde se encontraba su laboratorio, sacó de un bolsillo del pecho una pluma estilográfica y respondió : "Aquí".

Foto © Parımage, París

buena señal... Michele es un humanista, un espíritu universal, demasiado interesado en demasiadas cosas para convertirse en un monomaniaco. Sólo un monomaniaco obtiene eso que se llama 'resultados'." Y como Besso le incitara a explicarse, Einstein insistió : "Sigo creyendo que habrías podido hacer germinar ideas valiosas en el campo científico si hubieras sido suficientemente monomaniaco. Una mariposa no es un topo, pero ninguna mariposa tiene por qué lamentarlo".

Ahora bien, en lo que a Einstein mismo atañe, ¿ en qué fue él un "topo" o un "monomaniaco" ? ¿ Qué obsesión pudo engendrar, de una manera más o menos directa, las teorías de la relatividad restringida y de la relatividad general ?

El gran científico propone la siguiente respuesta : el verdadero hombre de ciencia está totalmente impregnado de un "sentimiento religioso cósmico". Se trata, según él, del tercer grado de la vida religiosa, siendo los dos primeros la religión-temor y la religión-moral, respectivamente. "Sostengo (...) que la religiosidad cósmica es el resorte más fuerte y más noble de la investigación científica. Sólo quien puede medir los esfuerzos inmensos y, sobre todo, la abnegación sin los cuales las creaciones científicas que abren nuevos caminos no podrían realizarse, está en condiciones de apreciar la fuerza de ese sentimiento que es el único que puede dar origen a un trabajo tan desligado de la vida práctica inmediata. (...) Es el sentimiento religioso cósmico el que presta a un hombre semejante fuerza".

Como vemos, en este punto la opinión de Einstein es muy diferente de la de los positivistas : "En nuestra época materialista, los trabajadores científicos serios son los únicos hombres profundamente religiosos". Afirmaciones semejantes son moneda corriente en Einstein. A veces se tiene incluso la impresión de que lleva su idea hasta la exageración. "No puedo concebir un científico verdadero que no tenga una fe profunda. La situación puede resumirse en una imagen : la ciencia sin la religión es coja, la religión sin la ciencia es ciega".

Quizás no sea inútil hacer unas cuantas observaciones sobre esa religión einsteiniana. Ante todo, nada tiene que ver con las religiones que admiten la existencia de un Dios personal, distribuidor de castigos y de recompensas. Tal doctrina, estima Einstein, es impura y las religiones deberían abandonarla por completo. Es verdad que la idea de un Dios personal suscita esperanzas y temores, confiriendo con ello a los sacerdotes "un amplio poder" sobre los espíritus. Pero a la larga no puede sino causar "un daño incalculable al progreso humano". De ahí que Einstein prefiera calificarse a sí mismo de panteísta. Ser religioso es tratar modestamente de comprender mejor el orden del mundo.

En efecto, Einstein asocia, de manera más o menos sistemática, la idea de "religión" a la idea de que el mundo es inteligible y racional. Más exactamente, el científico debe creer que el mundo es así. Si tiene el coraje de dedicarse al estudio de la naturaleza es precisamente porque abriga la convicción de que ésta se halla construida de conformidad con leyes armoniosas. Según Einstein, ello significa, entre otras cosas, que por doquier reina una rigurosa causalidad. El verdadero científico cree que "la ley causal rige todos los acontecimientos". Se comprende así que no pueda admitir la idea de un Dios personal, es decir de "un ser que interviene en el curso de los acontecimientos".

Einstein es, a su manera, muy lúcido. En lugar de considerar la causalidad como una evidencia absoluta, la convierte en objeto de una creencia "religiosa", de una decisión personal. Lo cual no le impidió, naturalmente, servirse en la práctica del principio de causalidad como de un criterio decisivo para apreciar el valor de las teorías científicas.

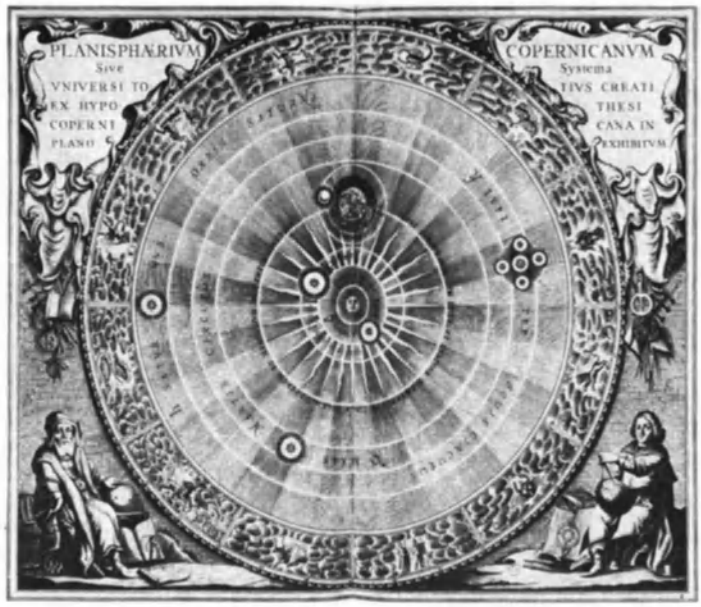
Por ejemplo, jamás quiso reconocer la legitimidad de la mecánica cuántica. Porque "Dios no juega a los dados". Mediante esta fórmula, por él tan reiterada, Einstein afirmaba su fe en una determinación rigurosa de los fenómenos naturales. No podía aceptar el "capricho estadístico" tal como se manifestaba en las especulaciones de un Bohr, un Born, un Heinsenberg y un Pauli. El gran defecto de la teoría de los quanta radicaba, a su juicio, en que no ofrece una descripción completa de la realidad ; las "probabilidades" no pueden constituir la última palabra del saber. En este punto la correspondencia entre Einstein y Born es elocuente : jamás



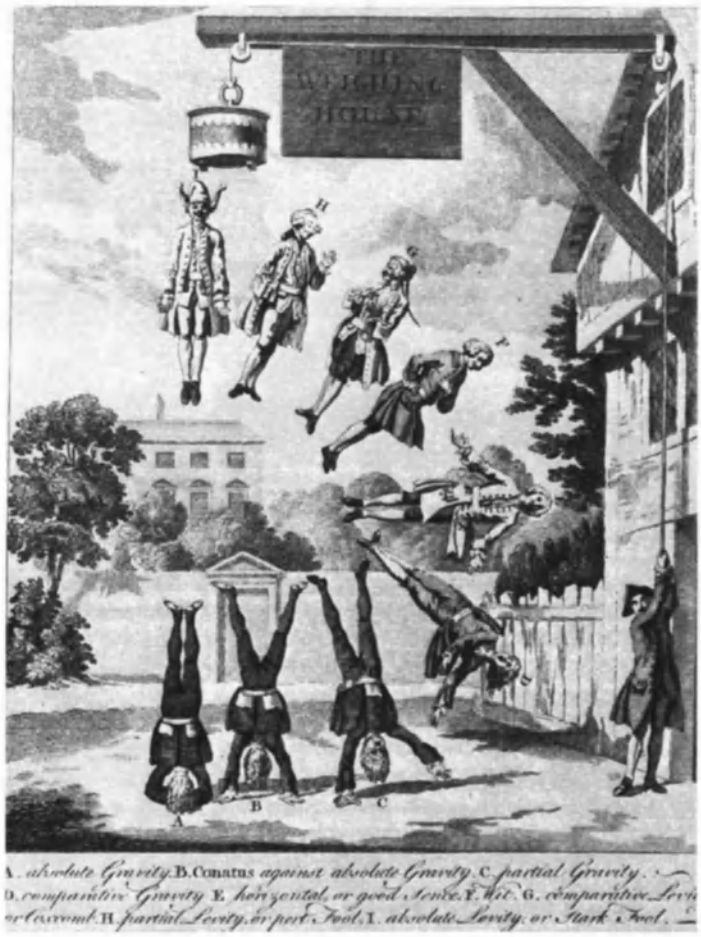
1



2



3



4

Una constelación de cosmógrafos

En la historia del pensamiento occidental, la obra del filósofo griego Empédocles (490-430 a.J.) constituye el primer intento de la razón para explicar el Universo a partir de los principios que lo rigen, esto es, sin recurrir a la intervención de poderes divinos o sobrenaturales. En el Universo que él concibió, limitado y esférico, no existe el vacío sino que por doquiera se encuentran, inextinguibles y vivos, los cuatro elementos — el Fuego, el Aire, la Tierra y el Agua — cuyas combinaciones determinan la apariencia y los diversos estados de la materia. Sus principios para explicar la naturaleza, recogidos por los pitagóricos que los completaron con sus propias concepciones geométricas y matemáticas, fueron expuestos en el siglo IV a.C. por Platón en su *Timeo*.

Los griegos, al igual que los astrónomos babilonios cuyas observaciones milenarias habían recogido, no dudaban de que la Tierra fuera el centro del Universo. Esta idea es fundamental en la obra del gran astrónomo Hiparco, quien hacia 150 a.C. había descubierto la precesión de los equinoccios. Las ideas de Hiparco fueron recogidas y desarrolladas por Claudio Ptolomeo (hacia 90-168), matemático, geógrafo y astrónomo de Alejandría, cuyo sistema cosmológico iba a dominar el pensamiento occidental durante más de mil años. Los árabes dieron el nombre de *Almagesto* ("el más grande") al principal tratado de astronomía que nos dejó y en el que se resumen todos los conocimientos matemáticos de la Antigüedad. Desde el ocaso de la época helenística hasta fines de la Edad Media predominará un sistema planetario con la Tierra inmóvil, situada por Dios en el centro del Universo, bajo la bóveda de las estrellas.

En el siglo XV el médico, jurista y astrónomo polaco Nicolás Copérnico (1473-1543) quiso perfeccionar el sistema ptolomeico. Sus cálculos y reflexiones iban a conducirle a una visión del mundo completamente distinta. En el sistema ptolomeico quedaban sin

pudo éste quebrantar la "religión cósmica" de Einstein, quien consideraba escandaloso que un corpúsculo pudiese no tener un comportamiento totalmente previsible.

Pero la creencia en la causalidad universal es más bien trivial : en sí misma no habría bastado para "inspirar" a su autor la teoría de la relatividad. En cambio, resulta singular el hecho de que Einstein definiera frecuentemente su posición "religiosa" oponiendo a la "sublimidad" y al "orden maravilloso" de la naturaleza "la inanidad de los deseos y de los objetivos humanos". La existencia individual es "una especie de prisión". El afán de saber tiene, pues, una significación fundamental : en cuanto individuo, el hombre no es gran cosa, pero le cabe la posibilidad de contemplar y de comprender el orden universal. Mediante el conocimiento "el individuo desea sentir el universo como una unidad dotada de significación". Un hombre religioso es un hombre que, en la medida de sus posibilidades, "se ha liberado de las trabas que constituyen sus deseos egoístas y que se ha abierto a pensamientos, sentimientos y aspiraciones que tienen un valor suprapersonal". En sus "Notas autobiográficas" Einstein vuelve sobre el tema : hay que "liberarse de las cadenas de lo 'puramente personal' y esforzarse por descubrir un 'mundo extrapersonal' que constituya un nuevo paraíso. Queda así asentada la existencia de un mundo real", independiente de nosotros, cuya contemplación ejerce (o ejercerá) una acción liberadora.

Como se ve, el realismo epistemológico de Einstein arraiga directa y profundamente en su "subjetividad". Nos hallamos así en condiciones de formular una hipótesis capital : si Einstein elaboró las teorías de la relatividad restringida y de la relatividad general, fue precisamente para poder gozar de un mundo más real y más satisfactorio que el pobre mundo en que nos toca vivir cada día.

¿ Cuál es, en efecto, el contenido esencial del "principio de relatividad" ? Basta con leer los escritos de Einstein para comprobar que, pese a su nombre, ese principio expresa el deseo de descubrir "leyes de la naturaleza" cuya forma permanezca idéntica cualquiera que sea el sistema de referencia que se adopte. En su forma restringida, el principio sólo se aplica a los sistemas galileicos, es decir a aquellos en los que es válida "la ley fundamental conocida con el nombre de ley de inercia : un cuerpo suficientemente alejado de otros cuerpos persiste en su estado de reposo o de movimiento rectilíneo y uniforme". En su forma general, el principio de relatividad puede enunciarse de la manera siguiente : "Todos los sistemas de referencia, cualquiera que sea su estado de movimiento, son equivalentes a efectos de formular las leyes generales de la naturaleza".

Dicho más sencillamente, el principio de relatividad expresa la voluntad de dar con una imagen del mundo que sea independiente de la posición de los diferentes observadores. De ahí que, desde hace mucho tiempo, a diversos autores haya sorprendido que ese "postulado" refleje de manera tan fiel las ideas personales de Einstein a que más arriba nos hemos referido. Parece como si la física relativista fuera la realización, en una esfera particular, de un programa más general : el de construir un mundo "suprapersonal", situado más allá de nuestras sensaciones y percepciones pero dotado de una realidad superior.

Los adversarios de la nueva teoría no se equivocaron al respecto. En efecto, se percataron claramente de que las especulaciones relativistas no estaban, ni mucho menos, basadas en la pura y simple "objetividad". Así, Christian Cornelissen lamentaba las alucinaciones de Einstein en un opúsculo publicado en París en 1923, deplorando que hubiese desarrollado algunas ideas "hasta el absurdo" y que se hubiera "dejado extraviar en las esferas de la Metafísica". Y, en cierto modo, tenía razón. Para atreverse a formular teorías semejantes había que tener (cosa que se propende a olvidar ahora) una extraordinaria confianza en diversos supuestos que no eran en modo alguno evidentes. No es pues de extrañar que a algunos espíritus tímidos les costara compartir esta "fe" a comienzos del siglo.

En su artículo de 1905, en el que sentaba las bases de la teoría de la relatividad, Einstein daba muestras de originalidad. Pero esta originalidad no radicaba tanto en la novedad de las ideas expuestas cuanto en la manera de aplicarlas.

Así, el matemático francés Henri Poincaré se dio clara cuenta de los nuevos usos que podían hacerse del "principio de relatividad". En cuanto al físico holandés Hendrik Antoon Lorentz, ya había elaborado la "transformación" que lleva su nombre y de cuyo formalismo se sirvió Einstein. De modo tal que el inglés Edmund Whittaker, cuya "Historia de las teorías del éter y de la electricidad" goza de gran autoridad, atribuyó a Poincaré y a Lorentz la teoría de la relatividad, lo cual escandalizaba a Max Born. Efectivamente, Poincaré y Lorentz no sólo no fueron los verdaderos padres de esa teoría, sino que jamás la aceptaron realmente. El error de Whittaker es a la vez psicológico y epistemológico : menospreció el coraje intelectual de Einstein o lo que podríamos llamar su radicalismo filosófico-científico.

Porque Poincaré comprendía seguramente el "principio de relatividad" tan bien como Einstein, pero lo consideraba solamente como "una norma convencional sugerida por la experiencia". Los físicos, agregaba, pueden muy bien prescindir de él. En otras palabras, Poincaré no se atrevía a alterar la teoría clásica, dando muestras de una timidez que era enteramente extraña a Einstein. Este no se andaba con rodeos : para reconstruir totalmente el edificio teórico, decide que el "principio de relatividad" es un supuesto fundamental que, por lo menos provisionalmente, no debe ser puesto en tela de juicio. He ahí toda la diferencia : Poincaré adoptaba una estrategia conservadora mientras que Einstein decidía, resueltamente, abrir un nuevo camino. De ahí la importancia de ser "monomaniaco", porque para inventar la teoría de la relatividad no bastaba con ser inteligente : era preciso ser también lo bastante "loco" para elegir nuevas bases, pese a su carácter paradójico.

La audacia de Einstein en su famoso artículo de 1905 consistía en admitir de golpe dos principios fundamentales : el *principio de relatividad* (del que acabamos de ocuparnos) y el *principio de constancia de la velocidad de la luz*. Y ello era tanto más audaz cuanto que, según el propio Einstein, ambos principios eran aparentemente incompatibles. Surgen en este punto algunas preguntas y, en particular, la siguiente : ¿ cómo se le ocurrió a Einstein afirmar que la velocidad de la luz era constante ?

En opinión de varios físicos y filosófos, fueron las experiencias del norteamericano Albert Michelson (1881) y de Michelson y Morley (1887) las que condujeron a Einstein a concebir tal idea. En efecto, por entonces se consideraba generalmente que la luz se desplaza en un medio absolutamente inmóvil, el *éter*, y que debía ser posible mostrar el movimiento de la Tierra en relación con el éter. No nos interesan aquí los detalles de los experimentos de

---

explicación algunos fenómenos, como el desplazamiento retrógrado de algunos planetas. Copérnico tuvo la audacia de preguntarse si no cabría atribuirlo a un movimiento de la Tierra y no del Universo que la contiene. "Todos los movimientos visibles del Sol y de los planetas — escribió — no son así en sí mismos sino solamente vistos desde la Tierra".

El tratado en que Copérnico consignó su teoría del movimiento de la Tierra y de los planetas no se publicó hasta 1543, año de su muerte. Inmediatamente suscitó la condenación oficial y pronto fue incluido en el *Index* de la Iglesia. Dos sabios italianos, Giordano Bruno y Galileo, pagaron muy caro haber seguido el camino abierto por Copérnico. Las observaciones del danés Tycho Brahe (1546-1601) y los trabajos matemáticos de su colaborador checo Juan Kepler (1571-1630) dieron una continuidad rigurosa al descubrimiento de Copérnico. Pero hubieron de transcurrir varias generaciones para que en el espíritu de los hombres se produjera la "revolución copernicana".

Isaac Newton (1642-1727), físico y matemático inglés, inventa el cálculo infinitesimal y descubre las leyes fundamentales de la mecánica y la ley de la gravitación : puede ya elaborarse así un sistema cosmológico basado en el principio de la gravitación universal. Las ideas de Newton fueron impugnadas a veces por sus contemporáneos, particularmente por el filósofo alemán Leibniz. Según el historiador científico Bronowski, el modelo del Universo elaborado por Newton "ha funcionado sin tropiezos durante cerca de doscientos años". Hasta que, poco después de comenzado nuestro siglo, Einstein iba a alterar la concepción que sus contemporáneos tenían del Universo.

1) *Empédocles escrutando el Universo*, obra de Luca Signorelli, pintor italiano de la segunda mitad del siglo XV.
Foto © Alinari, FLorencia

2) El Sol, la Luna y los planetas giran en torno a la Tierra en el sistema de Ptolomeo. Grabado barroco de Andreas Cellarius (1661).
Tomado de *Harmonia macrocosmica* de Andreas Cellarius, Amsterdam, 1661

3) El sistema de Copérnico, una nueva concepción astronómica del Universo.
Foto © Biblioteca Nacional, París

4) Grabado satírico de la época de Newton en que se hace mofa de la teoría de la gravitación.
Foto Grupo John Freeman © Museo Británico, Londres

Michelson. Digamos solamente que éste se proponía demostrar la influencia ejercida por el "viento de éter" sobre los rayos de luz. Pero su esperanza fue vana : imposible detectar el misterioso éter... Según la interpretación empirista, fue en este *hecho experimental* en el que se inspiró Einstein : mediante una generalización muy amplia, estableció que la luz se desplazaba siempre a la misma velocidad (y que, por tanto, escapaba a varias leyes notorias de la física clásica).

Tal parecer es muy discutible. Ante todo, es manifiesto que la experiencia de Michelson podía interpretarse de diversas maneras. Así, Lorentz, basándose en una sugestión del irlandés Fitzgerald, propuso una explicación original : el "viento de éter" ejercía sobre la materia cierta *contracción,* lo cual impedía comprobar los efectos luminosos esperados. Ello prueba que la solución propuesta por Einstein (el principio de constancia de la velocidad de la luz) no se desprendía estrictamente de "los hechos".

Más aun, ahora sabemos que el experimento de Michelson no desempeñó un papel determinante en la manera de operar de Einstein : "No sé de modo cierto —dice— cuándo oí hablar por primera vez de la experiencia de Michelson. No tenía conciencia de que hubiera influído sobre mí directamente". Y en diversas ocasiones reitera : "La experiencia de Michelson no ha desempeñado ningún papel, o por lo menos ningún papel decisivo, en mi combate personal". En cambio, se puede suponer que intervinieron ciertas exigencias "subjetivas". Por fortuna, Einstein nos ha dejado algunas indicaciones sobre el camino recorrido por su pensamiento.

En sus "Notas autobiográficas" cuenta que durante diez años reflexionó sobre una paradoja que había advertido desde la edad de dieciséis años. Se trataba de una suerte de experimento imaginario sobre la siguiente cuestión : ¿ qué sucedería si persiguiera un haz de luz yendo yo mismo a una velocidad igual a la de la luz ? Y anota como respuesta : "Observaría ese haz como un campo electromagnético oscilatorio en reposo". Pero, por diversas razones, aquello le parecía imposible. Se plantea pues un problema, una paradoja para él apasionante. "Como se ve —agrega— el germen de la teoría de la relatividad restringida está contenido ya en esa paradoja". Lo que equivale a decir que Einstein estaba, desde hacía mucho tiempo, mentalmente preparado para manejar ciertos problemas fundamentales, para poner en funcionamiento determinados conceptos.

Naturalmente, Einstein estaba enterado de una serie de resultados experimentales. Creía, de manera general, que la física debía elaborarse en contacto con la experiencia y, en la medida de lo posible, ser confirmada por ella. De estudiante se había sentido atraído por la experimentación. En resumen, sería ridículo presentarlo como un soñador dedicado a la "especulación" pura. Mas la teoría de la relatividad no fue concebida para resolver las dificultades planteadas por un experimento dado, sino que fue el fruto de una maduración mucho más general y teórica.

Otro problema que condujo a la elaboración de la teoría de la relatividad restringida es el de la *ausencia de simetría de acción* entre los conductores eléctricos y los imanes. En efecto, si se aplica la teoría del físico escocés James Clerk Maxwell, es preciso recurrir a dos interpretaciones diferentes para explicar lo que sucede : 1) cuando se desplaza un conductor en relación con un imán en reposo, y 2) cuando se desplaza el mismo imán en relación con un conductor en reposo. Einstein veía en ello una especie de escándalo, y en un manuscrito no publicado escribió que esa asimetría le parecía "insoportable". Sin embargo, la teoría de Maxwell explicaba satisfactoriamente los resultados experimentales. Pero Einstein se guiaba por una convicción estética : puesto que en la realidad lo único que cuenta es el desplazamiento relativo del imán y del conductor, es preciso que también la teoría sea simétrica. Por lo demás, la primera frase del artículo de 1905 es explícita : "Sabido es que la electrodinámica de Maxwell, tal como se la concibe ahora, da lugar, cuando se la aplica a los cuerpos en movimiento, a asimetrías que no parecen ser inherentes a los fenómenos".

Esto nos lleva nuevamente a la "subjetividad" de Einstein, a la necesidad que sentía de encontrar (y, en todo caso, de postular) un orden armonioso en el universo. En varias ocasiones recurrió a consideraciones de índole estética para elaborar sus concepciones teóricas. Porque tal es la "religión cósmica", que exige explicar el mayor número posible de fenómenos de la manera más elegante posible, es decir mediante el menor número posible de enunciados fundamentales. El "racionalismo" de Einstein tiene pues raíces sumamente profundas : lo alimentan y lo guían ideas, imágenes y emociones muy personales.

Con ocasión de una encuesta sobre la invención en matemáticas, Jacques Hadamard obtuvo de Einstein la siguiente respuesta : "Las palabras y el lenguaje, ya sean escritos o hablados, no parecen desempeñar el más mínimo papel en el mecanismo de mi pensamiento. Las entidades psíquicas que sirven de elementos al pensamiento son determinados signos o bien imágenes más o menos claras, que pueden ser reproducidos y combinados 'a voluntad'. Naturalmente, existe cierta relación entre esos elementos y los conceptos lógicos que intervienen". En sus "Notas autobiográficas" Einstein vuelve a ocuparse del tema : "Para mí —escribe— no hay duda de que nuestro pensamiento funciona, en su mayor parte, sin servirse de signos (palabras) y, además, de manera en gran parte inconsciente".

Observaciones como éstas van mucho más lejos de lo que parece. En efecto, es posible que la utilización de un "pensamiento en imágenes" ayudara poderosamente a Einstein a concebir de manera original los conceptos de tiempo y de espacio. El texto que reproducimos a continuación tiene por lo menos el mérito de tratar la cuestión sin rodeos : "A veces me pregunto cómo es posible que yo fuera el único que desarrolló la teoría de la relatividad. La razón, se me ocurre, es que un adulto normal no se preocupa por los problemas que plantean el espacio y el tiempo, estimando que todo cuanto es preciso saber al respecto, lo sabe ya él desde su más tierna infancia. Por el contrario, yo me desarrollé tan lentamente que sólo comencé a plantearme preguntas sobre el espacio y el tiempo cuando había crecido. En consecuencia, pude penetrar hasta el fondo del problema con mayor profundidad de lo que un niño normalmente desarrollado lo hubiera hecho". Dicho de otra



Vista de Zurich a principios de siglo, cuando Albert Einstein trabajaba en la ciudad como profesor.

Foto © Archivos de la ciudad de Zurich

manera, se alegra de que el niño Albert Einstein tuviera, como confirman sus biógrafos, dificultades para hablar...

¿ Qué mostraba, en el fondo, la negativa de Einstein niño a hablar sino una resistencia a ciertos esquemas cognoscitivos impuestos por la sociedad ? Una educación "acertada" es aquella que hace aceptar como naturales unos cuantos conceptos e interpretaciones concernientes a "la realidad". Es también, por definición, una educación que vuelve conformistas a quienes la reciben y que les priva de la posibilidad de poner en duda los supuestos, generalmente implícitos, en los cuales se basan los "conocimientos" así transmitidos. Esta era, justamente, una idea que Einstein compartía decididamente : algunas de las dificultades que plantea un sistema cognoscitivo no pueden ser resueltas a menos que empiece por comprenderse los fundamentos más o menos arbitrarios y más o menos inconscientes de ese mismo sistema. Un espíritu demasiado socializado, demasiado conforme al modelo, no puede tener el desapego ni la autonomía necesarios. La actitud crítica que engendró la teoría de la relatividad sólo fue posible gracias a una auténtica autonomía intelectual. Desde este punto de vista, importa poner de relieve el alejamiento de Einstein respecto de las ideas generalmente aceptadas. Según sus propias palabras, había llegado a "un librepensamiento francamente fanático" que se manifestaba en "una sospecha respecto de todas las formas de autoridad y una actitud escéptica para con las convicciones reinantes en cualquier contexto social".

Por lo demás, diversos historiadores han señalado que, de joven, Einstein vivió en un medio que no estimulaba el conformismo intelectual. En efecto, hizo sus estudios superiores en la Escuela Politécnica de Zurich, y trabajaba en la Oficina de Patentes de Berna cuando escribió su artículo de 1905 sobre la relatividad. Ahora bien, en esa época Suiza "acogía a una multitud cosmopolita de estudiantes, de revolucionarios emigrados y de jóvenes que habían huído de la opresión nacional o social que reinaba en sus países". Zurich era, hacia 1900, "un inmenso club permanente".

He aquí algunos nombres importantes : Rosa Luxemburg, Jorge Plejanof, Mussolini, Karl Radek, Lenin... Las discusiones eran tan numerosas como acaloradas, y en ellas no se trataba solamente de política sino también de epistemología y de psicoanálisis. Recordemos, por otra parte, que Einstein se calificaba a sí mismo de "herético". Estos datos quizás contribuyan a explicar la audacia teórica que le permitió formular sus ideas tan novedosas.

Para terminar, nos referiremos al problema que plantea esa expresión, hoy tan corriente, de teoría de la relatividad. Pocas palabras han dado lugar a tantas tergiversaciones, como si la "relatividad" tuviera algo que ver con el relativismo o con el subjetivismo. En realidad, sería mejor hablar, como sugería el matemático lituano Hermann Minkowski, de "postulado del mundo absoluto", porque sería menos engañoso. Es cierto que según la teoría de Einstein nuestras medidas del espacio son relativas, al igual que nuestras medidas del tiempo, lo cual significa que dependen de la posición del observador y que no existe ningún observador privilegiado. Pero el famoso "espacio-tiempo" es en sí mismo algo absoluto : expresa en forma teórica la existencia de una "realidad" que no es directamente accesible pero en relación con la cual adquieren una significación precisa todas las observaciones individuales ("locales").

La expresión "teoría de la relatividad" no figura en los títulos de los trabajos de Einstein anteriores a 1911. El prefería hablar de "teoría de las invariantes" (*Invariantentheorie*) ; y en 1928 indicaba que sería más justo llamar al principio de relatividad "principio de covariancia" (es decir, principio que exige que las ecuaciones fundamentales guarden la misma forma en todos los sistemas de referencia). ¿ Por qué, pues, aceptó finalmente una expresión cuando menos engañosa ? Seguramente también aquí hay que apelar a los factores psicosociológicos. Hablar de "relatividad" significaba recordar que los absolutos newtonianos habían muerto : no hay espacio absoluto, no hay simultaneidad absoluta. Se trataba, por tanto, de hacer hincapié en la mutación operada por Einstein, mutación que muchos científicos y profanos calificaron de "revolucionaria". La palabra "relatividad" correspondía, además, al espíritu de la época y, más concretamente, al espíritu "rebelde" y "creador" que animaba a Zurich y a Berna.

P. Thuillier

La ciencia en las fronteras de lo posible

por Arkadii B. Migdal

¿PUEDE rastrearse el largo y tortuoso camino que va de la idea inicial al axioma científico? ¿ Cómo se transforma una conjetura en una ley exacta de la naturaleza? ¿ En qué se diferencian el criterio científico y el criterio usual de la autenticidad?

La primera operación de un enfoque científico consiste en delimitar las fronteras del campo que ocupan las conquistas indudables de la ciencia y las fronteras de lo imposible, de lo que se halla en pugna con una experiencia científica repetida de muchos años. Entre esas fronteras hay un campo de fenómenos no estudiados pero posibles.

En nuestra época las fronteras de lo posible se han ensanchado tanto que rozan con lo portentoso. ¿ No es un prodigio que el hombre trabaje durante meses enteros a bordo de laboratorios espaciales o que podamos presenciar un partido de hockey disputado a miles de kilómetros de nuestra casa? Y, por supuesto, es prodigioso que haya computadoras que juegan al ajedrez, traducen, versifican y, sobre todo, realizan en pocos instantes cálculos que, sin ellas, solicitarían los esfuerzos de toda una generación.

Llegados a este punto, es natural preguntar si la ciencia conoce por dónde pasan esas fronteras y si no puede sobrevenir una revolución científica que desbarate todas nuestras representaciones. La historia y la lógica de la ciencia dicen que esa revolución es imposible.

Ni siquiera las pasmosas ideas de la relatividad fueron una revolución total : surgieron como consecuencia del desarrollo de la ciencia y se apoyaban en la sólida base de anteriores conquistas científicas. Concernían a un ámbito en cierto modo restringido de cuestiones y no modificaron lo más mínimo las leyes ya establecidas de la mecánica y la electrodinámica de los cuerpos que se mueven con velocidades ordinarias, no relativistas. Lo que ocurrió fue que nuestros conocimientos se extendieron a la esfera, no estudiada hasta entonces, de las velocidades de magnitud

Arkadii B. Migdal, *físico teórico soviético, es miembro de la Academia de Ciencias de la URSS y consejero del Instituto de Física Teórica de la Academia de Landau. Especialista en teoría de las partículas elementales y núcleos atómicos, es autor de numerosos artículos y estudios científicos entre los cuales cabe destacar su* Qualitative Methods in Quantum Theory, *publicado en Estados Unidos en 1977 (Benjamin-Cummings Publishing Co., Menlo Park, California).*

comparable a la de la luz. Antes de la teoría de la relatividad era lógico suponer que las leyes de la mecánica y de la electrodinámica seguían siendo válidas para velocidades superiores a aquellas respecto de las cuales se habían demostrado experimentalmente.

Las dudas comenzaron al realizarse experimentos que impugnaban esa presunción. Tal es la senda habitual del desenvolvimiento de la ciencia.

En los albores del siglo pasado hubo quien dispuso que debían desestimarse los trabajos en que se describían las piedras que caían del cielo. Considerábase que toda descripción de meteoros —"piedras siderales"— era producto de la fantasía, puesto que del cielo no podían caer piedras. Negar y rechazar cuanto parece inexplicable es una postura muy peligrosa que suele dar lugar a errores.

Podría citar otros muchos casos en que opiniones preconcebidas frenaron el avance de la ciencia. Incluso el gran autor de la teoría de la relatividad cometió un error de este tipo, sacando una deducción incorrecta por partir de un criterio preconcebido. Me refiero a la cosmología de Einstein.

Es notorio que, después de relacionar la gravitación con la geometría, Einstein dio otro paso de intrepidez inaudita : aplicó su teoría de la gravitación al conjunto del mundo, reemplazando la distribución real de las masas en el Universo por una densidad media de materia.

Resultó que las ecuaciones de la gravitación para un mundo como el nuestro no admiten una solución estacionaria. Einstein, al objeto de obtener una solución sobre la base de un mundo encerrado en sí mismo, con un radio de curvatura independiente del tiempo, introdujo artificialmente un elemento adicional que vulneraba la elegancia de las ecuaciones de la gravitación.

Aproximadamente al mismo tiempo, A.A. Friedmann, excelente matemático de Petrogrado, estudiando posibles soluciones para las ecuaciones einsteinianas no deformadas, dedujo que el Universo se expande y que, al lado de su modelo cerrado, cabe (en función de la magnitud de la densidad media de materia) un modelo abierto en el que la escala del mundo crece ilimitadamente. Einstein criticó en un principio el trabajo de Friedmann, pero luego se mostró de pleno acuerdo con él y renunció a introducir un miembro adicional en las ecuaciones de la gravitación.

"La carta de Friedmann, que me ha comunicado el señor Krutkov —escribe Einstein—, me ha persuadido de que mis críticas partían de un error de cálculo. Creo que los resultados de Friedmann son correctos y proporcionan nueva luz". Friedmann tuvo noticia de estas palabras poco antes de su muerte prematura (1925). Su solución se confirmó experimentalmente cuando el astrónomo norteamericano Edwin Hubble demostró que el Universo se halla en expansión.

Ya hoy en día se analizan con minuciosidad los errores científicos y se infieren las conclusiones metodológicas correspondientes. La más indiscutible es que conviene rehuir las afirmaciones categóricas en esferas poco estudiadas. Actualmente los errores científicos, aun cuando se produzcan, no duran mucho.

Además de establecer las fronteras de lo posible, la ciencia separa implacablemente las hipótesis, por verosímiles que parezcan, de las afirmaciones ya demostradas. Cabe, desde luego, conceder que nos han visitado seres extraterrestres, pero no existe ningún fundamento para asegurar que lo hayan hecho.

Ni que decir tiene que negar cuanto se aparta de lo habitual es un cometido harto enojoso. Esta labor selectiva, en cambio, pone de relieve prodigios no imaginarios sino reales, como la "paradoja de los gemelos". De la teoría de la relatividad se deriva que, si uno de los gemelos emprende un viaje a bordo de un vehículo cuya velocidad sea comparable a la de la luz, regresará más joven que el que no hizo el viaje. Este aserto asombroso ha sido demostrado tanto teórica como experimentalmente. Un supercronómetro atómico embarcado en vuelo espacial atrasaba, a la vuelta, en relación con otro reloj exactamente igual que no se había movido de la Tierra.

O este otro auténtico prodigio. Siempre se había considerado que la fauna y la flora marinas sólo aparecían en pequeñas profundidades donde penetran los rayos solares y se opera la fotosíntesis. Pero recientemente se han localizado en el fondo del Océano, a varios kilómetros de profundidad, donde no llegan ni por asomo los rayos solares, zonas volcánicas de temperatura elevada, con su fauna y su flora, como resultado, al parecer, de procesos de síntesis química.

A propósito de estos casos no cabe decir : "Mucho quisiera creer, pero no existe fundamento". Las palabras "no existe fundamento" significan que el estudio del problema ha revelado que no hay base para dar crédito a las tesis iniciales. Esa es la fórmula del enfoque científico : se "quiere creer", pero si "no existe fundamento", hay que renunciar a creer.

¿Cómo nacen las leyendas? El anhelo de lo misterioso, de lo extraordinario es inherente a la naturaleza humana, lo mismo que el sentido de la belleza. Pushkin dijo : "A las tinieblas de verdades mezquinas preferimos la ilusión que enaltece".

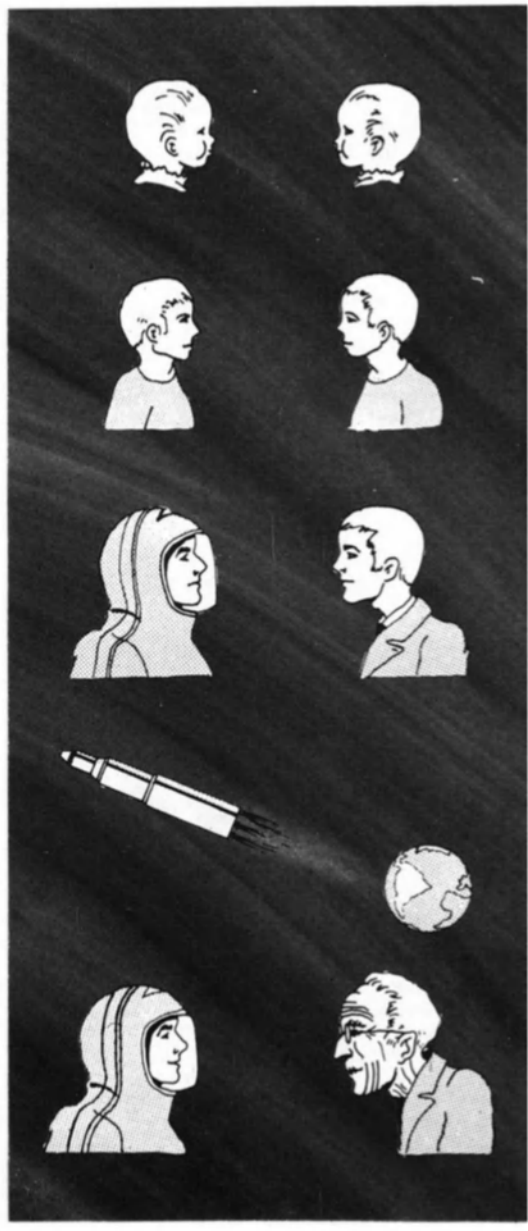
Yo agrego a estos versos de Pushkin las siguientes palabras de Einstein : "La sensación más hermosa y profunda del hombre es la de misterio". A juicio de Einstein, la sensación de misterio subyace en las tendencias más recónditas del arte y de la ciencia. Por desgracia, ese afán es, también, origen de muchas lucubraciones anticientíficas.

La misión de la ciencia es seleccionar las explicaciones más verosímiles y sostenerlas hasta que la experiencia obligue a renunciar a ellas. Eso no quiere decir que deban prohibirse los intentos de descubrir fenómenos inverosímiles. Como ha dicho el físico norteamericano Richard Feynmann, "un procedimiento infalible para detener el progreso de la ciencia es autorizar solamente la experimentación en las esferas cuyas leyes ya han sido descubiertas".

La ciencia ha aceptado hace mucho la sencillísima y convincente suposición de que los procesos de la naturaleza están determinados en última instancia por leyes de interinfluencia entre experimentos físicos.

La paradoja de

Dibujo taller Philippe Gentil © *El Correo de la Unesco*



Hasta ahora esta hipótesis viene confirmándose y es tan fecunda que ha permitido esclarecer un fenómeno tan enigmático como el de la herencia.

Hay numerosos planteamientos profesionales que son comunes a todas las ciencias exactas. Pero el factor esencial para el éxito, aun en presencia de las mejores dotes profesionales, es que el investigador sea capaz de entusiasmarse y de maravillarse ante cada progreso, hasta el más pequeño, y que tenga por la ciencia esa veneración de la que Einstein dice en su credo : "Me limito a conjeturar con asombro sobre estos enigmas y procuro humildemente concebir un cuadro, muy incompleto, de la perfecta estructura de todo lo existente".

A.B. Migdal

los gemelos

Como es sabido, la teoría de la relatividad general afirma que ni el tiempo ni la distancia son valores absolutos sino que dependen del movimiento relativo de los observadores y que el único valor absoluto y constante es la velocidad de la luz. Tales supuestos conducen a conclusiones aparentemente muy curiosas en lo que respecta a los fenómenos que se producen a enormes velocidades. Por ejemplo, para un espectador que observara una nave espacial alejarse de la plataforma de lanzamiento a una velocidad cercana a la de la luz, el reloj de abordo (suponiendo que pudiera verlo) parecería moverse muy lentamente. En cambio, para alguien que viajara en la nave, sería el tiempo terrestre el que parecería transcurrir más lentamente. Esta aparente contradicción ha dado origen a un famoso enigma conocido con el nombre de "paradoja de los gemelos". Si el individuo que viaja por el espacio y el que se queda en la tierra fueran gemelos, ¿se produciría una diferencia de edades y, en caso afirmativo, cuál, al volver a la tierra el gemelo astronauta? Einstein mostró que, dados los diversos efectos de la relatividad, en particular el de la aceleración que imprimiría a los pasajeros la vuelta a la tierra de la nave espacial, el gemelo astronauta envejecería menos de prisa que su hermano terrestre. El astrofísico británico Herbert Dingle considera absurda semejante hipótesis. Si, como afirma la teoría de la relatividad, no existe movimiento absoluto, ya que todo movimiento lo es en relación con otros objetos, ¿no podría perfectamente afirmarse que la nave espacial no se ha movido y que es la tierra la que se ha alejado de ella a gran velocidad para volver luego en su dirección? En tal caso, el más joven al finalizar el viaje sería el gemelo terrestre. Pero, como es natural, cada gemelo no puede ser más joven que el otro. Sin embargo, existe una diferencia fundamental entre el movimiento relativo del gemelo astronauta y el del terrestre. Si se afirma que la tierra se aleja de la nave espacial, entonces es el universo entero el que se pondrá en movimiento con ella. Dicho de otro modo, la tierra permanecerá inmóvil en relación con el universo, por lo que los efectos de la relatividad vinculados con la aceleración sólo se aplicarán al gemelo instalado en la nave espacial. En resumen, que hay que viajar a gran velocidad para mantenerse joven.



Foto © I.P.S., París

Albert Einstein y Robert Oppenheimer. En 1943 Oppenheimer fue nombrado director del Centro de Investigaciones sobre Energía Atómica de Los Alamos donde se fabricó la primera bomba atómica y en 1947 director del Instituto de Estudios Superiores de Princeton. "A Einstein se le suele criticar o elogiar por esas miserables bombas", ha escrito Oppenheimer. "Creo que es un error... Su contribución consistió en producir una revolución intelectual y en descubrir más que ningún otro científico de nuestra época lo profundos que eran los errores cometidos por los hombres hasta entonces... Pero Einstein mismo no es responsable de todo lo que vino después".

La responsabilidad moral del científico

por Albert Einstein

VIVIMOS en una época en que la inseguridad exterior e interior es tan grande y los objetivos firmes son tan raros que la mera confesión de nuestras convicciones puede ser de importancia, aun cuando esas convicciones, como todos los juicios de valor, no puedan ser justificadas por la lógica.

Surge inmediatamente una pregunta : ¿debemos considerar la búsqueda de la verdad —o, para decirlo más modestamente, nuestros esfuerzos por comprender el universo cognoscible mediante el pensamiento lógico constructivo— como un objetivo absoluto de nuestro trabajo? ¿O debe nuestra búsqueda de la verdad estar subordinada a otros objetivos, por ejemplo, de carácter "práctico"? No es en la lógica donde podremos hallar la respuesta. Sin embargo, ésta influirá considerablemente en nuestro pensamiento y en nuestro discernimiento moral, a condición de que se origine en una convicción profunda e inalterable. Pero permítaseme hacer una confesión : a mi juicio, el esfuerzo por conseguir una mayor percepción y ampliar nuestros conocimientos es uno de esos objetivos absolutos sin los cuales ningún ser pensante puede adoptar una actitud consciente y positiva frente a la existencia.

Por su naturaleza misma, nuestro esfuerzo por comprender trata, por una parte, de abarcar la vasta y compleja diversidad de la experiencia humana y, por otra, de alcanzar la sencillez y la economía en las hipótesis fundamentales. El convencimiento de que estos dos objetivos pueden coexistir es, dado el estado primitivo de nuestros co-

nocimientos científicos, una cuestión de fe. Sin una fe semejante, yo no podría tener la convicción firme e inalterable del valor absoluto del conocimiento.

Esta actitud, en cierto modo religiosa, del hombre de ciencia influye en el conjunto de su personalidad, porque para él no existe, en principio, autoridad alguna —fuera del conocimiento que brinda la experiencia acumulada y de las leyes del pensamiento lógico— cuyas decisiones y afirmaciones puedan pretender ser en sí mismas la "Verdad". Llegamos así a la paradójica situación en que una persona que dedica todos sus esfuerzos al estudio de la realidad objetiva se convierte, desde el punto de vista social, en un individualista irreductible que, por lo menos en principio, no confía sino en su propio juicio. Se puede afirmar que el individualismo intelectual y la aspiración al conocimiento científico aparecieron simultáneamente en la historia y siguen siendo inseparables desde entonces.

Podría objetarse que el hombre de ciencia así definido no existe en la realidad, es sólo una abstracción, a la manera del *homo oeconomicus* de la economía clásica. Sin embargo, creo que la ciencia, tal como hoy la conocemos, no habría podido nacer ni conservar su vitalidad si, a lo largo de los siglos, numerosos hombres no se hubieran acercado a ese ideal.

Naturalmente, para mí no es hombre de ciencia todo el que ha aprendido a utilizar instrumentos y métodos que directa o indirectamente aparecen como "científicos". Me refiero únicamente a aquellos en quienes el espíritu científico está realmente vivo.

¿Cuál es, pues, la situación del hombre de ciencia actual dentro la sociedad? Evidentemente, se siente bastante orgulloso de que el trabajo de los científicos haya contribuido a cambiar radicalmente la vida económica de la humanidad al eliminar casi por completo el esfuerzo muscular. Pero le acongoja que los resultados del trabajo científico hayan suscitado una amenaza para la especie humana, al caer en manos de poseedores del poder político moralmente ciegos. Tiene conciencia de que los métodos tecnológicos que su trabajo ha hecho posibles han dado lugar a una concentración del poder económico y político en manos de pequeñas minorías que han llegado a dominar por completo la vida de las masas populares, las cuales parecen cada vez más amorfas. Pero hay algo peor : esa concentración del poder económico y político en manos de unos pocos no sólo ha reducido al hombre de ciencia a una situación de dependencia económica sino que además amenaza su independencia interior. El empleo de sutiles métodos de presión intelectual y física impedirá la formación de personalidades independientes.

Así, el destino del hombre de ciencia, tal como lo vemos con nuestros propios ojos, es realmente trágico. Buscando sinceramente la claridad y la independencia interior, ha forjado él mismo, gracias a esfuerzos verdaderamente sobrehumanos, los instrumentos utilizados para esclavizarle y para destruirle desde dentro. No puede evitar que quienes ejercen el poder político le amordacen. Al igual que un soldado, se ve obligado a sacrificar su propia vida y a destruir la vida de otros, aunque esté convencido de lo absurdo de tales sacrificios. Tiene plena conciencia de que la destrucción universal es inevitable desde el momento en que las circunstancias históricas han conducido a la concentración de todo el poder económico, político y militar en manos del Estado. Sabe también que sólo instaurando un sistema supranacional, basado en el derecho y que elimine para siempre los métodos de la fuerza bruta, la humanidad podrá salvarse. Sin embargo, el hombre de ciencia ha llegado hasta aceptar como algo fatal e ineluctable la esclavitud que le impone el Estado. Y se ha envilecido hasta el extremo de contribuir obedientemente a perfeccionar los medios para la destrucción total de la humanidad.

¿No hay, pues, escapatoria para el hombre de ciencia? ¿Debe realmente tolerar y sufrir todas esas ignominias?

¿Han pasado ya los tiempos en que su libertad interior y la independencia de su pensamiento y de su obra le permitían ser guía y bienhechor de sus semejantes? Al exagerar el aspecto puramente intelectual de su trabajo, ¿no ha olvidado su responsabilidad y su dignidad? He aquí mi respuesta : se puede destruir a un hombre esencialmente libre y escrupuloso, pero no esclavizarlo ni utilizarlo como un instrumento ciego.

Si los hombres de ciencia pudieran encontrar hoy día el tiempo y el valor necesarios para considerar honesta y objetivamente su situación y las tareas que tienen por delante, y si actuaran en consecuencia, acrecerían considerablemente las posibilidades de dar con una solución sensata y satisfactoria a la peligrosa situación internacional presente.

Albert Einstein

Este artículo es una versión ligeramente abreviada de un mensaje que Albert Einstein dirigió en 1950 al 43° congreso de la Sociedad Italiana para el Progreso de las Ciencias.



Foto Georg Gerster © Rapho, París

Según la teoría de la relatividad, la masa de un cuerpo aumenta con su velocidad (véase el dibujo de la página 14). En la vida ordinaria las velocidades son demasiado reducidas para poder captar los efectos de la relatividad, cosa que en cambio es posible cuando entramos en el mundo de la desintegración del átomo y de los aceleradores de partículas. Estos últimos son gigantescos aparatos en los que se acelera a las partículas atómicas hasta que alcanzan velocidades fantásticas. En el acelerador lineal de Stanford, California (vista aérea en la photo), los electrones acelerados se aproximan tanto a la velocidad de la luz que su masa se multiplica por 40.000. Al final del acelerador, de un poco más de tres kilómetros de largo, hay un anillo de almacenamiento donde las partículas entran en colisión y producen una nueva materia. Los investigadores pueden observar con precisión la evolución de las partículas gracias a las "cámaras de burbujas" llenas de un líquido "pesado", muy calentado y comprimido. Al ser proyectadas a través de este líquido, las partículas, demasiado pequeñas para poder ser observadas, dejan una estela de burbujas microscópicas que se fotografían. Los especialistas pueden así medir la masa y las demás propiedades de las partículas invisibles. Página de la derecha, arriba los clichés muestran huellas de partículas fotografiadas en la cámara de burbujas "Garganelle" del CERN (Centro Europeo de Investigaciones Nucleares) de Ginebra, Suiza. Abajo, cuatro ventanillas de observación de la cámara. En ella se puede medir con precisión la conversión de la energía cinética en materia y en masa, conversión que confirma la célebre ecuación de Einstein $E = mc^2$, en virtud de la cual "la masa y la energía son la misma cosa".

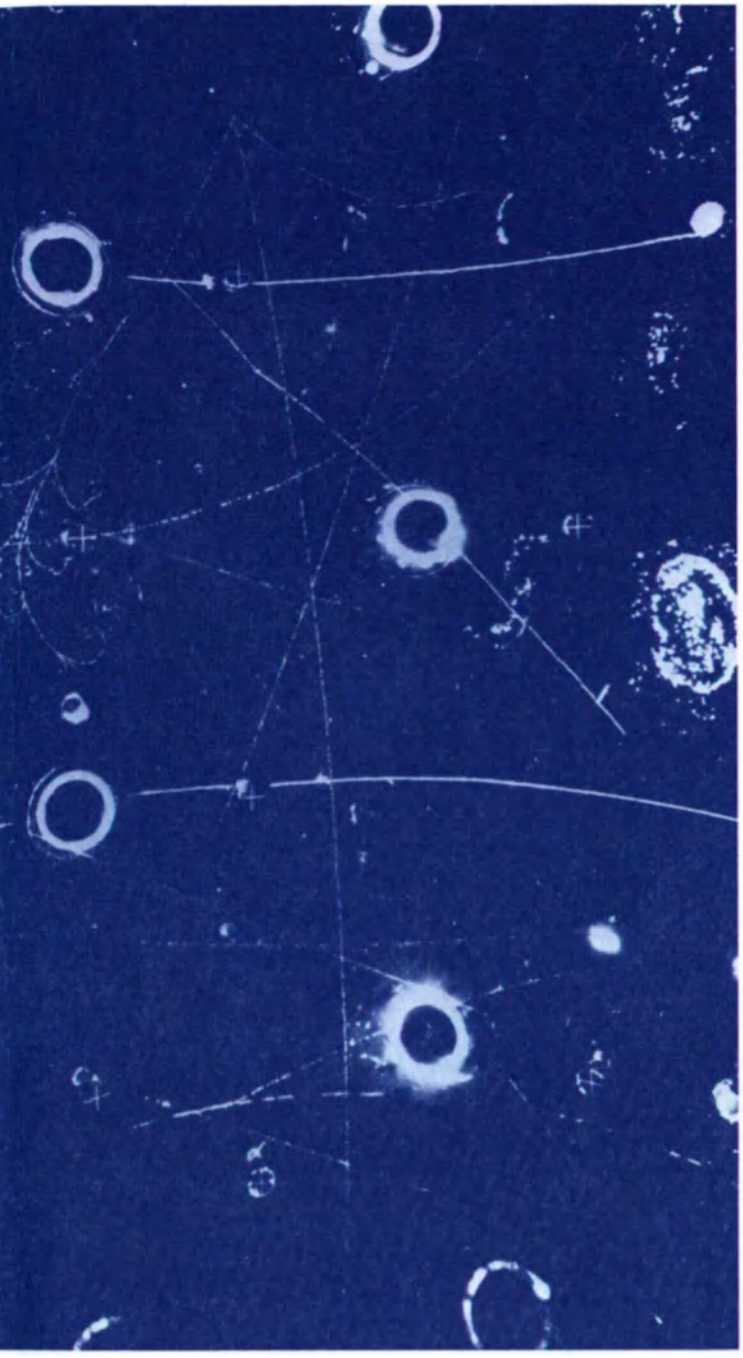


Foto © CERN, París

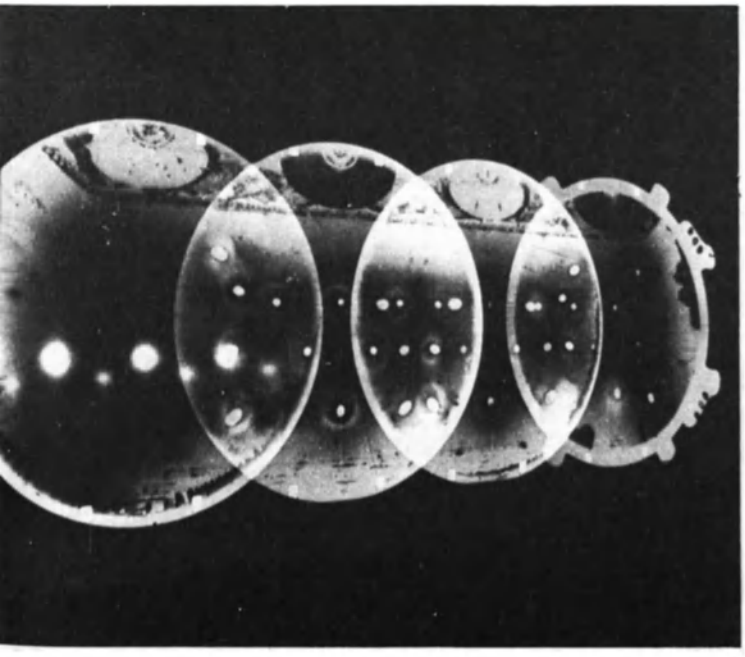


Foto © CNRS, París



Una medalla "Albert Einstein" de la Unesco

La Unesco acaba de acuñar una medalla oficial de oro, plata y bronce para conmemorar el centenario del nacimiento de Albert Einstein (14 de marzo de 1879). La medalla es obra del grabador francés Max Léognany. En el anverso se ve la efigie del sabio hacia el final de su vida con la inscripción : 1879 ALBERT EINSTEIN 1955- UNESCO 1979. En el reverso el artista ha trazado el perfil de Einstein detrás de las tres ecuaciones matemáticas en las que se resume lo esencial de su contribución a la física. La más célebre ($E=mc^2$) expresa una relación fija, cuantitativa, entre la energía (E) y la masa (m), determinada por el cuadrado de la velocidad de la luz (c). La segunda ecuación sintetiza sus trabajos sobre la ley del efecto fotoeléctrico, que le valieron el Premio Nobel de Física en 1921. La última fórmula, que es una de las ecuaciones del campo gravitatorio, constituye una aplicación de la teoría de la relatividad. Einstein es la primera ilustre personalidad de los tiempos modernos que la Unesco honra en su serie "Aniversarios de grandes hombres", donde le han precedido Aristóteles, Miguel Angel y Rubens. Las medallas, acuñadas por el Hotel des Monnaies de París, pueden adquirirse dirigiéndose al Programa Filatético y Numismático de la Unesco, Place de Fontenoy, 75700 París.

Foto Michel Claude, Unesco

Miscelánea einsteiniana



Foto © Ullstein, Rep. Fed de Alemania

De paso por Hollywood en 1931, Einstein y su mujer fueron invitados por Charles Chaplin a asistir al estreno de su película *Luces de la ciudad.* La muchedumbre reunida con tal ocasión reconoció y aclamó tanto al físico, ya mundialmente famoso, como al gran cineasta. "Si le aplauden", le dijo Chaplin a Einstein, "es porque nadie le comprende, y a mí porque todo el mundo me comprende".

Einstein tocando el violín (dibujo del artista ruso Leonid Pasternak).

Dibujo © Sra. Lydia Sater-Pasternak, Oxford





Cuando un genio se ve de espaldas junto con su familia (siluetas recortadas por Einstein).

Foto tomada de *Einstein, a Centenary Volume* de A.P. French, Heinemann Educational Books Ltd., Londres.



Foto © Francis Everitt, BBC, Londres

La extremada precisión de las técnicas de fabricación modernas permite una verificación experimental cada vez más exacta de las teorías de Einstein. En la foto, una bola de cuarzo del tamaño de una pelota de tenis, perfectamente redonda (con una aproximación de 1/4.000 de mm), es controlada en la Universidad de Stanford, California, para preparar una ingeniosa demostración de la relatividad general. En el próximo decenio se colocarán cuatro esferas semejantes a bordo de una nave espacial en órbita alrededor de la Tierra. Con el experimento se intenta mostrar la ligerísima inflexión del espacio como consecuencia de la rotación de la Tierra.

BRODARD GRAPHIQUE. COULOMMIERS. — Dépôt légal C 1 — Mai 1979 — IMPRIMÉ EN FRANCE *(Printed in France).* Commission paritaire N° 27.253

Acaba de aparecer

Dentro de la serie de la Unesco sobre "La enseñanza de las ciencias básicas" aparece ahora este nuevo volumen dedicado a la física y dirigido a todos aquellos que se interesan por el mejoramiento de la enseñanza de esta disciplina en cualquier nivel : profesores universitarios o de instituciones de formación pedagógica, profesores de enseñanza secundaria, servicios especializados de los ministerios de educación, etc.

El volumen es el resultado de las discusiones habidas en una gran conferencia internacional sobre la materia convocada en Edimburgo en 1975 por la Unesco y una serie de prestigiosas organizaciones internacionales y del Reino Unido.



Cada uno de los veinte capítulos que lo componen trata de un aspecto concreto de la enseñanza de la física. Ciertos capítulos están dedicados a la enseñanza universitaria, otros a la secundaria, otros finalmente a los problemas que se plantean en ambos niveles. En algunos capítulos se examina también la enseñanza extraescolar. Cada capítulo aparece complementado por una bibliografía.

368 páginas **38 francos franceses**

Para renovar su suscripción
y pedir otras publicaciones de la Unesco

Pueden pedirse las publicaciones de la Unesco en las librerías o directamente al agente general de la Organización. Los nombres de los agentes que no figuren en esta lista se comunicarán al que los pida por escrito. Los pagos pueden efectuarse en la moneda de cada país.

ANTILLAS HOLANDESAS. Van Dorp-Eddine N.V., P.O. Box 200, Willemstad, Curaçao, — **ARGENTINA.** EDILYR S.R.L., Tucumán 1699 (P.B."A".), 1050, Buenos Aires. — **REP. FED. DE ALEMANIA.** Todas las publicaciones : S. Karger GmbH, Karger Buchhandlung, Angerhofstr. 9, Postfach 2, 8034 Germering / Munchen. Para "UNESCO KURIER" (edición alemana) únicamente : Colmantstrasse 22, 5300 Bonn. — **BOLIVIA.** Los Amigos del Libro, casilla postal 4415, La Paz ; Perú 3712 (Esq. España), casilla postal 450, Cochabamba. — **BRASIL.** Fundaçao Getúlio Vargas, Editora-Divisao de Vendas, caixa postal 9.052-ZC-02, Praia de Botafogo 188, Rio de Janeiro, R.J. (CEP. 20000) ; Carlos Rohden, Livros e Revistas Técnicos, Ltda., Av. Brigadeiro Farla Lima, 1709, 6° andar, caixa postal 5004, Sao Paulo. — **COLOMBIA.** Editorial Losada, calle 18 A, No. 7-37, apartado aéreo 5829, Bogotá, y sucursales ; Edificio La Ceiba, oficina 804, calle 52, N° 47-28, Medellín.— **COSTA RICA.** Librería Trejos S.A., apartado 1313, San José. — **CUBA.** Ediciones Cubanas, O'Reilly No. 407, La Habana. — **CHILE.** Bibliocentro Ltda., Constitución N° 7, casilla 13731, Santiago (21). **REPUBLICA DOMINICANA.** Librería Blasco, Avenida Bolívar, No. 402, esq. Hermanos Deligne, Santo Domingo. — **ECUADOR.** RAYD de Publicaciones, García 420 y 6 de Diciembre, casilla 3853, Quito ; Casa de la Cultura Ecuatoriana, Núcleo del Guayas, Pedro Moncayo y 9 de Octubre, casilla de correos 3542, Guayaquil. — **EL SALVADOR.** Librería Cultural Salvadoreña, S.A., Calle Delgado No. 117, apartado postal 2296, San Salvador. — **ESPAÑA.** MUNDI-PRENSA LIBROS S.A., Castelló 37, Madrid 1 ;Ediciones LIBER, Apartado 17, Magdalena 8, Ondárroa (Vizcaya) ; DONAIRE, Ronda de Outeiro 20, apartado de correos 341, La Coruña ; Librería AL-ANDALUS, Roldana 1 y 3, Sevilla 4 ; Librería CASTELLS, Ronda Universidad, Barcelona 7. — **ESTADOS UNIDOS DE AMERICA.** Unipub, 345, Park Avenue South, Nueva York, N.Y. 10010. Para "El Correo de la Unesco" : Santillana Publishing Company Inc., 575 Lexington Avenue, Nueva York, N.Y. 10022. — **FILIPINAS.** The Modern Book Co., 926 Rizal Avenue, P.O. Box 632, Manila, D-404. — **FRANCIA.** Librairie de l'Unesco, 7, place de Fontenoy, 75700 París (CCP París 12.598-48). — **GUATEMALA.** Comisión Guatemalteca de Cooperación con la Unesco, 3a Avenida 13-30, Zona 1, apartado postal 244, Guatemala. — **HONDURAS.** Librería Navarro, 2ª Avenida N° 201, Comayaguela, Tegucigalpa. — **JAMAICA.** Sangster's Book Stores Ltd., P.O. Box 366, 101 Water Lane, Kingston. — **MARRUECOS.** Librairie "Aux Belles Images", 281, avenue Mohammed V, Rabat ; "El Correo de la Unesco" para el personal docente : Comisión Marroquí para la Unesco, 20, Zenkat Mourabitine, Rabat (C.C.P. 324-45). — **MEXICO.** SABSA, Insurgentes Sur, No. 1032-401, México 12, D.F. — **MOZAMBIQUE.** Instituto Nacional do Livro e do Disco (INLD), Avenida 24 de Julho, 1921, r/c e 1° andar, Maputo. — **PANAMA.** Empresa de Distribuciones Comerciales S.A. (EDICO), apartado postal 4456, Panamá Zona 5. — **PARAGUAY.** Agencia de Diarios y Revistas, Sra. Nelly de García Astillero, Pte. Franco 580, Asunción. — **PERU.** Editorial Losada Peruana, Jirón Contumaza 1050, apartado 472, Lima. — **PORTUGAL.** Dias & Andrade Ltda., Livraria Portugal, rua do Carmo 70, Lisboa. — **REINO UNIDO.** H.M. Stationery Office, P.O. Box 569, Londres S.E. 1. — **URUGUAY.** Editorial Losada Uruguay, S.A., Maldonado 1092, Montevideo. — **VENEZUELA.** Librería del Este, Av. Francisco de Miranda 52,Edificio Galipán, apartado 60337, Caracas ; La Muralla Distribuciones, S.A., 4a. Avenida entre 3a. y 4a. transversal, "Quinta Irenalis" Los Palos Grandes, Caracas 106.

MAYO 1979

actualidades de la unesco

Boletín publicado por
la Oficina
de Información Pública
Unesco
7, place de Fontenoy
75700 París, Francia

Sobre la predicción de los terremotos

Aunque la predicción de los terremotos está progresando paulatinamente, los científicos no han logrado todavía elaborar una teoría que permita explicar la razón de que un terremoto se produzca en un lugar y en un momento determinados, ni pueden por ahora predecir con exactitud la intensidad de un movimiento sísmico. Esta declaración la hizo en una conferencia de prensa el Dr. Frank F. Evison, del Instituto de Geofísica de la Universidad Victoria de Wellington (Nueva Zelandia), quien presidió el coloquio internacional sobre la predicción de los terremotos que se celebró de 2 al 6 de abril pasado en la Casa de la Unesco, de París.

Sin embargo, agregó, en los últimos años se han salvado muchas vidas gracias a predicciones certeras, particularmente en China, y "la experiencia y el éxito de China en esta esfera es una de las principales razones de que consideremos con optimismo la posibilidad de que se hagan predicciones exactas de los terremotos en otros lugares".

Los principales progresos alcanzados en los últimos años, añadió el Dr. Evison, han consistido en la compilación de observaciones y datos adicionales sobre quince tipos de anuncios "precursores" de un terremoto : se trata de fenómenos y anomalías naturales de los que se sabe ya que suelen preceder a los movimientos sísmicos.

"Actualmente —dijo— estamos esperando poner a prueba nuestras hipótesis sobre la predicción de los seísmos, y para ello es preciso no sólo reunir un mayor número de informaciones sino observar un mayor número de terremotos, a menos que se produzca un espectacular avance en la investigación científica teórica"

El Dr. Tsuneji Rikitake, del departamento de física aplicada del Instituto de Tecnología de Tokio, señaló que, pese a todo, China había logrado predecir cuatro de los cinco terremotos más importantes (de una intensidad superior a 7 en la escala de Richter) que se produjeron en 1975 y 1976. Esas predicciones "inminentes" (ya que oscilaron entre unos pocos días y cerca de veinte minutos antes de que ocurrieran) permitieron salvar muchas vidas, por lo menos en el caso de uno de esos movimientos sísmicos. Los otros tuvieron lugar en regiones poco habitadas de China.

El Dr. Makane Simizu, del departamento de predicción de terremotos del Organismo de Ciencia y Tecnología de Tokio, informó que el Japón había destinado este año un presupuesto de 36 millones de dólares a



Foto Unesco-Alexis N. Vorontzoff

Daños causados por el terremoto del 6 de mayo de 1976 en Friuli (Italia).

la predicción de los temblores de tierra, y que gastaba 3.500 millones de dólares anuales en programas orientados a disminuir los riesgos en caso de terremoto, incluidos los de ingeniería antisísmica. Además, el Japón ha puesto en marcha un procedimiento administrativo gracias al cual las predicciones científicas pueden convertirse rápidamente en decisiones gubernamentales : así podría alertarse a la población sobre la inminencia de un terremoto en un lapso de sólo dos horas después de que los científicos hubieren advertido las primeras anomalías geodésicas.

Por su parte, el Dr. Ralph H. Turner, del departamento de sociología de la Universidad de California, en Los Angeles, dijo que si bien los métodos de predicción de los terremotos habían progresado gradualmente, en cambio las investigaciones de los efectos sociales y económicos de tales predicciones y anuncios se encontraban aun en su etapa inicial

"Mejorar las predicciones es sólo la mitad de la tarea —añadió—, porque es preciso utilizarlas de la mejor manera posible, y es allí donde intervienen las investigaciones de ciencias sociales. La utilidad de la predicción de los terremotos como medio de reducir los riesgos depende de los planes para prevenir a la población una vez que se conocen las predicciones, lo cual a su vez depende de la manera en que las personas y los grupos reaccionan a una alerta de terremoto".

El Dr. Turner indicó que las investigaciones sistemáticas sobre esta cuestión comenzaron sólo hace tres o cuatro años ; anteriormente, los especialistas en ciencias sociales se basaban en lo que sabían del comportamiento individual y colectivo en otros tipos de catástrofes. Incluso hoy día los conocimientos en la materia son sumamente incompletos y se basan principalemente en estudios efectuados en el Japón y los Estados Unidos.

Pero lo que se sabe —dijo— "basta para calmar los temores más exagerados sobre el pánico colectivo y la respuesta irracional o enloquecida a la predicción de un seísmo. En realidad, la mayoría de la gente tiende a seguir viviendo normalmente en todo momento"

Los problemas de la comunicación

Los especialistas indios que participaron en una discusión de mesa redonda sobre comunicación y desarrollo, celebrada en Nueva Delhi en marzo pasado, llegaron a la conclusión de que los medios de comunicación desempeñan un papel importante en el logro de los objetivos del desarrollo de la India, pero que están orientados hacia la política (y no hacia la economía), los intereses de la clase media, un público masculino y la población urbana. Participaron en la discusión algunos miembros de la Comisión Internacional para el Estudio de los Problemas de la Comunicación que celebraba simultáneamente su quinta reunión.

En el curso de otra mesa redonda, sobre comunicación y tecnología, expertos de Canadá, India, Japón, Estados Unidos, Unión Soviética y Yugoslavia presentaron ponencias sobre las repercusiones de la revolución tecnológica de la comunicación en el desarrollo.

La Comisión Internacional, compuesta por 16 miembros y presidida por el señor Sean MacBride, ex ministro de relaciones exteriores de Irlanda y Premio Nobel de la Paz, se encuentra preparando el informe final que presentará a la Unesco a fines de año. En su reunión de Nueva Delhi prestó particular atención a dos ponencias, presentadas por dos miembros de la Comisión : la del señor Johannes Pieter Pronk, de los Países Bajos, sobre las consecuencias del nuevo orden económico internacional en la difusión de la información, y la del señor Elie Abel, de Estados Unidos, sobre la comunicación en un mundo interdependiente, que fue extensamente discutida. En ella su autor señala algunos campos de acción en los que la Comisión podría adoptar decisiones concretas y ciertos problemas delicados desde el punto de vista político sobre los cuales, a su juicio, difícilmente se obtendría un consenso de opinión.

De los debates de la Comisión pudo deducirse que sus miembros no consideran que la tecnología de la comunicación fuera neutral sino que deberían tenerse en cuenta los problemas de acceso, control, costo, personal, etc. Se expresó también la opinión de que la elección de la tecnología no podía ser de competencia exclusiva de los técnicos, independientemente de las orientaciones emanadas de los gobiernos. Hubo un acuerdo general sobre la necesidad de reducir las tarifas de telecomunicaciones, de facilitar el acceso a los servicios de los satélites de comunicación y de acelerar la transferencia de tecnología de los países ricos a los pobres.

En la quinta reunión de la Comisión Internacional se discutió también el importante problema de la protección de los periodistas, que se había estudiado previamente con algunas organizaciones internacionales de juristas y de periodistas. La Comisión había solicitado además que las asociaciones profesionales y los círculos interesados le informaran sobre los resultados de futuras encuestas de consulta. Algunos miembros de la Comisión no consideran necesaria una protección especial a los periodistas, en tanto que otros sostienen que el carácter mismo de su profesión exige algunas garantías permanentes para su ejercicio.

La Comisión decidió celebrar una nueva reunión, del 4 al 8 de junio, en la que estudiará particularmente las relaciones entre cultura y comunicación, a la vez que continuará sus debates sobre la redacción del informe final.



Foto Michel Claude - Unesco

El Director General de la Unesco, señor Amadou-Mahtar M'Bow, pronuncia su discurso ante el Comité de las Naciones Unidas para la Eliminación de la Discriminación Racial. A la derecha, el Presidente del Comité, senor George O. Lamptey, de Ghana.

"La paz es inseparable de la eliminación del racismo" declara el Director General de la Unesco

La instauración de la paz en el mundo requiere no solamente una mejor comprensión entre las naciones sino también una victoria sobre la pobreza y la segregación racial y social, declaró el Director General de la Unesco, señor Amadou-Mahtar M'Bow, en la sesión inaugural de la 19a. reunión del Comité de las Naciones Unidas para la Eliminación de la Discriminación Racial.

"Nada es más urgente —agregó— que movilizar a las fuerzas vivas de la humanidad entera para combatir los azotes que la amenazan y para luchar contra el racismo y los prejuicios raciales, en todas partes y por todos los medios, a fin de desterrarlos de la memoria de cada niño, de cada mujer y de cada hombre".

Al hacer un recuento histórico de la actividad de la Unesco en esta esfera, el Director General señaló que aquella había recibido un nuevo impulso con la aprobación por aclamación de la Declaración sobre la Raza y los Prejuicios Raciales por parte de la Conferencia General de la Unesco, en su reunión del año pasado. "Esa declaración —dijo— constituye una síntesis coherente de los desafíos planteados por el racismo : desafíos biológicos, sociológicos y jurídicos y también culturales, políticos, económicos y éticos. Ella constituye un instrumento de referencia tanto más importante cuanto que su aprobación unánime por los represented de todos los Estados miembros realza su fuerza moral."

En su reunión de abril último, el Comité tuvo como tarea principal el estudio de los informes que le han enviado los 27 Estados que son partes en el Convenio internacional para la eliminación de todas las formas de discriminación racial. En la misma reunión, el Comité estudió los diversos métodos que pueden adoptarse para que se aplique en la práctica la Declaración de la Unesco sobre la Raza y los Prejuicios Raciales.

Un fondo internacional de ayuda a la comunicación en el Tercer Mundo

Al término de un coloquio sobre el derecho a la comunicación, auspiciado por las organizaciones internacionales no gubernamentales que mantienen relaciones de consulta con la Unesco, se aprobó, entre otras, una recomendación por la cual se invita a esta Organización a estudiar la posibilidad de crear un fondo internacional destinado a ayudar a los países en desarrollo a mejorar sus sistemas de comunicación. La Conferencia Intergubernamental sobre Políticas de Comunicación en Asia y Oceanía, que se celebró en Kuala Lumpur en febrero pasado, había aprobado ya una recomendación similar.

El coloquio tuvo lugar en París y participaron en él representantes de unas 70 organizaciones, quienes a lo largo de una semana sostuvieron discusiones de mesa redonda sobre temas tales como lenguas y comunicación, comunicación diversificada para públicos diferentes, el derecho a la comunicación considerado como uno de los derechos humanos, el nuevo orden internacional de la comunicación, etc.

El coloquio invitó también a la Unesco a que estudiara la posibilidad de publicar una revista trimestral sobre problemas de la comunicación.

La Unesco en la exposición de Montreal

La Unesco participará en la exposición « El hombre y su mundo » que se celebrará en Montreal (Canadá), con un pabellón sobre el tema central « ¿ Qué mundo vamos a dejar a nuestros hijos ? », como parte de su programa conmemorativo del Año Internacional del Niño.

El pabellón, en el cual participan también el Unicef y la Organización Internacional de la Aviación Civil, permanecerá abierto al público del 21 de junio al 3 de septiembre. El aspecto más importante lo constituirá una representación del mundo en forma de un globo geodésico realizado por el arquitecto y futurólogo norteamericano Buckminster Fuller. En su interior se celebrarán una exposición internacional de juguetes y un espectáculo audiovisual sobre la labor que realiza la Unesco en favor de la infancia.

Habrá también exposiciones de fotografías sobre otros aspectos del programa de la Unesco y funciones especiales de cine para niños con películas infantiles y con documentales producidos por la Unesco y por el Unicef.

Se expondrán asimismo los dibujos que hubieren sido galardonados en el concurso internacional de dibujo infantil organizado en más de 80 países por la Unesco en colaboración con el Unicef y la oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados.



Foto Unesco - Bazil Zarov

El "rincón de los niños" del pabellón de la Unesco en la exposición "El hombre y su mundo" de Montreal (Canadá). Este año el pabellón tendrá una superficie mayor y en él se realizarán las más variadas actividades.

Homenaje de la Unesco a Janusz Korczak

Para conmemorar el centenario del nacimiento de Janusz Korczak, famoso educador, pediatra y escritor polaco, la Delegación Permanente de la República Popular de Polonia y la asociación francesa "Los amigos de Janusz Korczak" organizaron diversos actos de homenaje en la Sede de la Unesco, en París, del 2 al 12 de abril.

Entre los actos conmemorativos cabe mencionar la exposición titulada "Korczak y los niños", la proyección de la película *El rey Matías 1,* basada en una novela de Korczak, y un coloquio internacional sobre la importancia de la obra del gran pedagogo polaco en el mundo de hoy y la formación de educadores.

Janusz Korczak (pseudónimo de Henryk Goldszmit) nació en Varsovia y murió en 1942 en el campo de exterminio de Treblinka, tras haber dedicado toda su vida a la infancia. Médico de profesión, comenzó a interesarse en la educación de los niños gracias a la pediatríay escribió algunas obras admirables sobre los niños y destinatas a ellos.

Bonos de ayuda mutua de la Unesco

En 1978 se vendieron bonos de ayuda mutua de la Unesco por un valor de más de 17,5 millones de dólares, lo que constituye un nuevo "record". Este programa, creado en 1950, permite a los países que no disponen de divisas pagar en moneda local sus importaciones de material educativo, científico y cultural.

Primera entrega del Premio Unesco de Enseñanza de los Derechos Humanos

Mumtaz Soysal, profesor de la Universidad de Ankara (Turquía) y vicepresidente del Comité Ejecutivo de Amnesty International, es el primer ganador del Premio Unesco de Enseñanza de los Derechos Humanos, creado el año pasado por el Consejo Ejecutivo de la Unesco en conmemoración de 30° aniversario de la Declaración Universal de Derechos Humanos.

El nombre del profesor Soysal fue propuesto por un jurado internacional que preside el profesor japonés Shigeru Oda, juez del Tribunal Internacional de Justicia de La Haya.

Al anunciar la concesión del premio, el Director General de la Unesco, señor Amadou-Mahtar M'Bow, dijo que la labor del profesor Soysal va mucho más allá del marco universitario, y que su vida y su obra constituyen un ejemplo para toda la comunidad internacional.

Por recomendación del jurado internacional se concedieron menciones de honor al profesor norteamericano Thomas Buergenthal y al abogado francés Edmond Pettiti.

BRODARD GRAPHIQUE. COULOMMIERS. — Dépôt légal C 1 — Mai 1979 — IMPRIMÉ EN FRANCE (Printed in France)

El resplandor del genio

"Creo que Einstein habría sido uno de los más grandes físicos teóricos de todos los tiempos aunque no hubiera escrito un solo renglón sobre la relatividad", afirmaba el célebre físico alemán Max Born. En realidad, Einstein recibió en 1921 el Premio Nobel de Física, no por sus teorías sobre la relatividad sino por un artículo publicado en 1905 sobre la fotoelectricidad, en el cual sostenía que la luz está constituida por partículas. Y en 1916 formuló los principios que iban a conducir, cuarenta años más tarde, al invento del láser : un dispositivo capaz de producir un rayo de luz suficientemente intenso como para volatilizar los materiales más duros y resistentes al calor. Entre las numerosas aplicaciones del láser figuran la cirujía de los ojos, la perforación de diamantes, la realización de mediciones de extremada precisión, etc. La fotografía de esta página muestra el centelleo de un rayo láser al atravesar una red o rejilla de difracción : una parte del rayo se dispersa en los diversos colores que lo constituyen.

Foto © Fritz Goro, con autorización de *Scientific American*

