

## ALBERT EINSTEIN: UNA ESTRELLA FULGURANTE

AGUSTÍN Gil MARTÍN (\*)

Albert Einstein (1879-1955) es sin duda para el gran público el científico más famoso del pasado siglo XX, hasta haberse convertido en verdadero icono de la ciencia, de la bondad y de la genialidad. Tal como dijese de él Bertrand Russell, "Einstein no sólo fue el científico más grande de su generación, sino también un hombre sabio".

Pero ello no quita reconocer otros aspectos menos luminosos de su biografía, tales como su abandono para la vida familiar o su carta al presidente Franklin D. Roosevelt a favor de la construcción del arma nuclear después de toda una vida de pacifista. Veamos con más detalle la controvertida e intensa vida de este apasionante personaje.



### INFANCIA Y JUVENTUD

"El misterio es lo más hermoso que nos es dado sentir. Es la sensación fundamental, la cuna del arte y de la ciencia verdaderas. Quien no la conoce, quien no puede asombrarse ni maravillarse, está muerto. Sus ojos se han extinguido".

Albert Einstein nació el 14 de marzo de 1879 en Ulm, una pequeña ciudad del suroeste de Alemania, en el seno de una familia judía dedicada al negocio de material eléctrico. Un año después la familia se trasladó a los alrededores de Munich, donde parece que la infancia de Albert transcurrió feliz y sin problemas y sin que la etapa de estudios primarios indicase ningún dato de su genialidad; al revés, tenía más bien fama de mal estudiante, pues no le gustaba el aprendizaje memorístico al uso y dedicaba su atención únicamente a las cosas que le interesaban. Lo que le distinguía era su lentitud y su carácter soñador; mostraba eso sí una precoz profundidad en su pensamiento, así como *capacidad de asombro* ante los problemas físicos y matemáticos. Por ejemplo, cuenta en su autobiografía que a la edad de cuatro o cinco años experimentó una sensación de asombro cuando su padre le enseñó una brújula, sensación que le produjo una profunda y duradera impresión. Igualmente experimentó esa sensación de asombro al leer un librito que trataba de la geometría euclídea.

Posteriormente, sus estudios de secundaria en el Gymnasium Luitpold de Munich tampoco fueron brillantes, dada su aversión a la disciplina militar que se imponía y a las coacciones de un sistema educativo rígido y severo que hicieron odiarse la vida del instituto. Alentado por la actitud hostil de alguno de sus profesores que no soportaban su espíritu independiente (uno de ellos llegó a decirle "altera usted, con su sola presencia, el respeto que la clase siente por mí"), así como al deseo de evitar el servicio militar, decidió sin terminar los estudios partir hacia Italia a los 16 años para reunirse con sus padres, instalados de nuevo por motivos de negocios en Pavía unos meses antes.

La mezcla de autoritarismo y disciplina cuasimilitar, con una enseñanza enciclopédica y memorística, fue lo que el joven Einstein no pudo soportar.

(\*) Asesor de Ciencias de la Naturaleza. Berritzegune de Vitoria.



Einstein con su hermana Maja

Prefería sufrir toda clase de castigos antes que aprender a recitar de memoria, y como escribió más tarde, “es un verdadero milagro que la empresa educativa moderna no haya asfixiado aún por completo la sagrada curiosidad de la infancia. Esa pequeña y frágil planta necesita estímulos y sobre todo libertad, de lo contrario perece. Es un grave error creer que el placer de observar e investigar puede ser inducido por la coacción o el sentimiento del deber”.

Este abandono del instituto unos meses antes del exámen de fin de estudios secundarios, impidió a Einstein matricularse en la universidad, tal como hubiese deseado. El vivir en un ambiente familiar vinculado al mundo técnico e industrial (su padre Hermann Einstein era un hombre de negocios cuyas empresas estaban vinculadas a la electrificación y en las que participó su tío Jakob inventor de una dinamo), fue tal vez lo que le llevó entonces a intentar entrar en una gran escuela de ingenieros. Pese a todo, su objetivo no era obtener un título de ingeniero y unirse luego al negocio familiar, sino desarrollar su afición a la física y las matemáticas. Como escribió a sus padres, “la idea de llegar a ser un profesional en alguno de los campos de la ingeniería me da pánico, pero creo que podría ser un buen profesor de ciencias”. Por ello, decidió prepararse para el exámen de ingreso como alumno libre en la Escuela Politécnica Federal de Zúrich en la que no se exigía el diploma final de los estudios secundarios, cosa que logró en 1896 al cabo de un año y después de un suspenso inicial.

El Politécnico era la escuela técnica más importante de Centroeuropa en la época, con unos laboratorios magníficamente equipados por Siemens. Sin embargo, Einstein pocas veces aparecía por clase, pasando la mayor parte del tiempo leyendo con avidez y abriéndose camino a través de los últimos avances de la física. Tenía un pequeño círculo de amigos, con los que discutía temas científicos y filosóficos y con los que frecuentaba el Café Metropole. Uno de ellos, Marcel Grossman, era quien le pasaba los apuntes para prepararse los exámenes, única forma de abarcar el programa de estudios que terminó finalmente con unos resultados irregulares. En los cuatro años del Politécnico, 1896 a 1900, conoció a una muchacha de origen serbio, Mileva Maric, estudiante de matemáticas y física como él, de la que se enamora y con la que contraerá matrimonio años después.

## LOS COMIENZOS DIFÍCILES DE LA VIDA ADULTA

“Comodidad y felicidad no me han parecido nunca objetivos que deban alcanzarse. Posesiones, éxitos de fachada y lujo me han parecido siempre despreciables, desde mi primera juventud”.

Los deseos de Einstein de iniciar una carrera académica inmediatamente de finalizar sus estudios en julio de 1900 se vieron pronto frustrados, no consiguiendo ningún puesto de ayudante ni en Zúrich ni en otras universidades. Probablemente la razón del fracaso se debiera a su propio carácter, pues tal como uno de sus profesores del Politécnico dijera de él, “es un muchacho inteligente, pero tiene un fallo. No deja que nadie le diga nada, absolutamente nada”. Pero además de su carácter insolente y engreído tal vez influyó otra característica personal que era aún más difícil de disimular que la autoestima; era judío y el antisemitismo se había extendido en Europa en los distintos ámbitos profesionales. En cualquier caso, y pese a obtener la ciudadanía suiza en 1901, Einstein tuvo que conformarse durante dos años con

realizar pequeños oficios, entre ellos el de dar clases particulares. Sin la ayuda familiar que recibía cuando era estudiante, Einstein pasó un periodo de verdaderas penurias, logrando apenas cubrir las necesidades básicas de su modestísima existencia. Como dijo una vez en broma, “en mi teoría de la relatividad puse un reloj en cada punto del espacio, pero en la realidad me es difícil comprar siquiera un solo reloj para mi habitación”.

Su vida sentimental pasa también en estas fechas por dificultades, pues a la oposición de su familia a la relación con Mileva se une el fracaso de ésta por segunda vez (julio de 1901) en su intento de conseguir el diploma de fin de estudios, agravado además por el nacimiento en enero de 1902 de una hija fuera del matrimonio a la que mencionan en sus cartas como Liser (pequeña Lisa). No se sabe si murió por enfermedad o fue dada en adopción, pero el asunto es que su rastro se pierde enseguida. Tal vez la mala situación profesional y económica fue el motivo, al no poder ofrecer a su compañera en ese momento el futuro digno que deseaba, además del posible temor a enfrentarse a la ira de su familia.

Finalmente en junio de 1902, y por recomendación del padre de su amigo y compañero de estudios Marcel Grossman, logró un trabajo estable de experto de 3ª clase en la Oficina de Patentes de Berna, casándose meses más tarde en enero de 1903. Fue en este lugar de trabajo, en el que permaneció hasta octubre de 1909, fecha en la que fue nombrado profesor asociado de la universidad de Zúrich, en donde escribió sus tres grandes artículos de 1905: el del movimiento browniano, el de la teoría cuántica de la radiación en el que explica el efecto fotoeléctrico mediante el concepto de fotón como cuanto de radiación, y el de la relatividad especial.

Las dificultades del comienzo de su vida adulta y la forma de afrontarlas indican ya una de las características de la personalidad de Einstein; como él mismo dijera varias veces, era en el ejercicio del pensamiento, en el *gozo de pensar*, donde hallaba las fuerzas para soportar las dificultades de la existencia. Toda su vida intentó protegerse contra la insoportable crueldad del mundo y la estrechez de una vida gobernada por sentimientos a los que calificaba de primitivos. Creía siempre, como Schopenhauer, que uno de los motivos más poderosos de realizar hazañas artísticas y científicas es el deseo de “substraerse a lo cotidiano con toda su crudeza dolorosa y su desierto desesperante”, el deseo de llegar, desde la existencia personal, al mundo extrapersonal de la visión y del entendimiento objetivos.

Pero tal como dijo en un discurso pronunciado en Berlín, a este motivo negativo se asocia otro positivo: “el hombre trata de construir, de algún modo adecuado para él, un cuadro del mundo físico simplificado y abarcado por la mirada, para poder sobrellevar, de esta manera, el cúmulo de las vivencias, tratando al mismo tiempo de reemplazarlas, en cierto grado, por se cuadro. Eso lo hace el pintor, el poeta, el filósofo, y el científico, cada uno a su modo. Y en este cuadro coloca, cada uno, el centro de gravedad de su vida sensitiva, para ganar así la tranquilidad y la seguridad que no puede hallar en el estrecho círculo de sus vivencias personales”. En el caso de Einstein pues, la búsqueda de la solución al enigma que plantea “el vasto mundo que existe independientemente de los hombres” le proporcionó el escudo frente a las dificultades de la vida cotidiana. “La contemplación de este mundo era como la promesa de liberación”, escribió en su autobiografía.



Retrato de boda de Mileva y Albert en Berna, enero de 1903

Pero el refugiarse en el pensamiento y el estar cada vez más absorbido por su actividad científica, actividad que a veces como en la primavera de 1905 estuvo a punto de llevarle al colapso mental, pudieron ser la causa de su fracaso familiar. Después de su frustrada paternidad, en 1904 nació su primer hijo Hans Albert, que con el tiempo llegó a ser profesor en Berkeley, y en 1910 el segundo Eduard, enfermo crónico de esquizofrenia y que representó una pesada carga sobre todo para Mileva. Por lo que se sabe, Einstein no tenía en absoluto fibra paterna, o no intentó desarrollarla. Con su primer hijo siempre tuvo unas relaciones llenas de frialdad, y en lo que respecta al segundo, dejó que su mujer Mileva se encargara de su cuidado tras su divorcio, limitándose a asumir su bienestar material gracias al dinero del premio Nobel que recibió en 1922.



Mileva Einstein y sus hijos Eduard y Hans Albert, hacia 1914

Por lo que respecta al matrimonio parece que los primeros años fueron placenteros, pese a las estrecheces económicas, la pérdida de su primera hija y la distribución de tareas bastante convencional. Como Einstein escribió a su amigo Michele Besso al poco de casarse, “ahora soy un marido completamente casado y llevo una vida muy confortable con mi esposa. Ella se cuida de todo, cocina bien y siempre está de buen humor”. De modo similar escribe Mileva por estas fechas a su amiga Helene Savic: “Estoy, si es posible, más unida a mi querido tesoro de lo que lo estaba en los días de Zúrich. Es mi único compañero en sociedad, y soy muy feliz cuando el está a mi lado”.

Pero al crecer la reputación de Einstein a partir de la publicación de sus artículos de 1905, su entrega a la tarea científica le lleva a compartir cada vez menos su trabajo con Mileva, perdiendo ésta todo el interés por una carrera en la ciencia o en la enseñanza. Como manifiesta en una de sus cartas a su amiga Savic: “Ves, con tanta fama (para Einstein) no le queda mucho tiempo para su esposa... Las perlas son para unos, los otros se quedan sólo con la concha... Ya ves que estoy muy necesitada de amor”. Los felices años de amor y el sueño inicial de “hacer trabajo científico celosamente los dos juntos para no convertirnos en viejos burgueses” habían terminado.

En 1911 Einstein fue nombrado catedrático de la Universidad de Praga y Mileva, reservada por temperamento y con poca facilidad para hacerse agradable en el trato con los demás, no se encontraba a gusto; pero la situación no mejoró cuando en 1912 se trasladaron a Zúrich al ser nombrado Einstein Catedrático de la Escuela Politécnica, ni tampoco cuando en 1914 se trasladaron a Berlín donde aceptó la oferta de investigador en la Academia Prusiana de Ciencias. Poco después de llegar la familia a Berlín, Austria declaraba la guerra a Serbia tras el atentado de Sarajevo, con lo que daba lugar el comienzo de la Primera Guerra Mundial. Mileva, que estaba con sus hijos de vacaciones de verano en Zúrich, no pudo regresar a Berlín, y Einstein prefirió continuar él solo, absorbido como estaba ahora con el trabajo de la relatividad general. Pero debido a lo delicado de su salud decidió posteriormente cambiarse a vivir a la casa de su prima Elsa, viuda y con dos hijas, con la cual había iniciado una relación epistolar en 1912 y que ahora se encargaba de los cuidados constantes que a veces necesitaba cuando se agravaba su estado de salud. Esta situación, y el encontrar en la Academia de Berlín el estímulo que deseaba para su labor científica, fue lo que le llevó a pedir a Mileva que se divorciase de él, pudiendo más en su persona la obsesión por el trabajo que estaba realizando que el amor por su mujer y sus hijos. Divorciado oficialmente desde el 14 de febrero de 1919,

se volvió a casar sin embargo a los pocos meses el 2 de junio de ese mismo año, a petición de Elsa y para evitar así las habladurías y el perjudicar a sus dos hijas.

## DEL LOGRO DE LA GLORIA AL EXILIO

“La alegría de contemplar y conocer es el regalo más hermoso de la Naturaleza”.

“Lo eternamente incomprensible del mundo es su comprensibilidad”.

Las ideas de Einstein publicadas en el *annus mirabilis* de 1905, sobre todo las relacionadas con la *teoría especial de la relatividad*, eran tan revolucionarias y tan contrarias al sentido común, que tardaron mucho en ser reconocida su importancia en el ámbito científico. Uno de los primeros en hacerlo fue Minkowski, su antiguo profesor de matemáticas en el Politécnico de Zúrich y que le había reprochado ser un “perro vago”. Otro fue Max Planck, uno de los colegas más distinguidos del Kaiser Wilhelm Institute de Berlín y del que Einstein fue nombrado Director de Física a partir de 1914.

Aquí en Berlín continuó trabajando en expandir su teoría de la relatividad a la gravitación, en un ambiente bélico y antisemita que hizo que Einstein se concentrara en su buhardilla, a menudo sin salir durante días enteros. El trabajo que le ocupaba durante este periodo ha sido descrito como “la mayor proeza del pensamiento humano sobre la naturaleza, la más extraordinaria combinación de capacidad de análisis filosófico, física intuitiva y destreza matemática”. Trabajo que le acercó al límite de sus posibilidades psicofísicas, con tal abandono de su salud y vida personal que fue presa de un trastorno emocional. No es de extrañar que en estas circunstancias encontrara en su prima Elsa, que vivía en el mismo distrito, divorciada y de carácter maternal, la compañía y ayuda que su mujer Mileva desde la distancia no podía proporcionarle.

Cuando por fin publicó sus resultados en marzo de 1916 en *Annalen der Physik*, en un artículo titulado “El fundamento de la *teoría general de la relatividad*”, las revolucionarias ideas fueron recibidas con asombro y con cierta perplejidad. Todo eso estaba muy bien, pero no era más que teoría, lo que aportaba eran matemáticas pero faltaban pruebas experimentales. Einstein propuso entonces una prueba práctica: dado que según su teoría, la luz de las estrellas lejanas debía desviarse cuando pasara a través del campo gravitatorio solar, esta desviación podría observarse durante un eclipse solar. El 6 de noviembre de 1919 el astrónomo real británico sir Arthur Eddington, que había dirigido una expedición a la isla afroportuguesa de Príncipe, en el golfo de Guinea, para fotografiar el primer eclipse solar, anunció los resultados obtenidos que confirmaban por completo la teoría. El acontecimiento tuvo rápidamente una cobertura mediática sin precedentes y Einstein, que hasta entonces no era más que un oscuro profesor de física de la universidad de Berlín, se convirtió en una leyenda viviente.

El mundo acababa de salir de las carnicerías de la 1ª Guerra Mundial y había necesidad de buenas noticias. El mundo estaba entrando en una época de populismo (los grandes hombres del pasado –militares, hombres de estado, aristócratas– estaban desacreditados), y se necesitaban nuevos héroes. Este proceso había comenzado en Norteamérica con Charlie Chaplin, y ahora Einstein le iba a acompañar. El genio modesto y despistado, que a veces se olvidaba de comer o de ponerse la camisa, que tocaba el violín y que era capaz de garabatear fórmulas en el mantel cuando se le invitaba a cenar, era justamente lo que la prensa y público estaban esperando.

Einstein se convirtió de repente en una figura pública y viajó por toda Europa y Norteamérica dando conferencias y explicando su teoría de la relatividad. Entre 1919 y 1933, fecha en la que debió salir de Alemania debido a los extremismos del nacionalsocialismo, intervino en muy diversos frentes: militó con ahínco y durante mucho tiempo en favor del desarme internacional, dió todo su apoyo al sionismo e hizo lo que pudo para detener la creciente corriente de antisemitismo en Alemania. En 1933, mientras se hallaba de viaje por estados Unidos, Hitler



Einstein con el primer ministro de Israel, Ben-Gurion

llegó al poder y Einstein a su regreso decidió permanecer en Bélgica y no ir a Berlín. Ante la agravación de la situación en Alemania, en donde se ofrecían 20.000 marcos por asesinarle y se quemaban públicamente sus escritos, envió una carta de dimisión a la Academia de las Ciencias de Prusia afirmando no desear depender de un gobierno que “niega la igualdad de derechos ante la ley así como la libertad de palabra y de enseñanza”. Finalmente, y ante la oferta que le hizo el Institute for Advanced Study de Princeton, emigró a Estados Unidos en donde residió definitivamente hasta su muerte, convertido ya en ciudadano americano desde 1940.

## LA SOLEDAD DE LOS ÚLTIMOS AÑOS

“He cantado una vez más mi vieja canción solitaria” (carta a Niels Borh en 1949).

“Hay que crear un gobierno mundial que esté en condiciones de resolver los conflictos entre las naciones por medio de decisiones basadas en el derecho”.

Einstein vivió veintidós años en Estados Unidos, sin salir casi nunca de Princeton hasta su muerte y dedicándose tanto a la investigación pura como a los diversos temas sociopolíticos para los que era constantemente solicitado. Así por ejemplo, además de su apoyo activo a los refugiados judíos alemanes, sobre todo científicos que no tuvieron tan buena acogida como él, en 1939 escribió al presidente Roosevelt una carta en la que le incitaba a iniciar un programa de fabricación de una bomba nuclear, temeroso de que los alemanes lo lograsen antes. Después de las explosiones de Hiroshima y Nagasaki en 1945 y hasta su muerte, Einstein apoyó con su autoridad moral el Comité de urgencia de los científicos atómicos en contra de la guerra, firmando un último escrito redactado por Bertrand Russell en el que llamaba a los científicos para apoyar la abolición de la guerra. También participó activamente en la resistencia de los intelectuales americanos a la histeria anticomunista que se desató durante el periodo del “macartismo”, y a causa de los problemas que creó fue motivo de investigación por parte del FBI.

En el aspecto científico, después de ganar el Premio Nobel del año 1921 y de disfrutar de las mieles del éxito, trató de proseguir su trabajo intentando ahora establecer una relación matemática entre las fuerzas electromagnéticas y la gravedad. Trataba de relacionar las propiedades de la materia en una *teoría del campo unificado* que englobase la teoría cuántica y venciese el elemento esencialmente ambiguo de ésta al tratar a la luz y la materia de forma probabilística, o lo que es lo mismo, con una naturaleza dual de onda y partícula simultáneamente.



Einstein, Oppenheimer y la bomba atómica

Esta oposición de Einstein al carácter probabilista de la teoría cuántica (“Dios no juega a los dados” decía en una carta a Max Born en 1926) le hizo apartarse de las nuevas generaciones de físicos que en los años veinte edificaron la base de dicha teoría y a cuyo nacimiento había contribuido al inventar el concepto de los cuantos de luz. Durante más de treinta años, con infinita paciencia y sin dejarse vencer por sus fracasos, Einstein trabajó en la elaboración de esa teoría unitaria como un solitario y sin ver el éxito. Como señaló su amigo Max Born: “muchos consideramos que es una tragedia, tanto para él, que anda a tientas en solitario, como para nosotros, que echamos de menos a nuestro guía y abanderado”. Einstein había desempeñado una labor fundamental en el desarrollo de la teoría cuántica; sin embargo, ahora se negaba a creer en sus implicaciones.

En 1936 murió Elsa y él se encerró aún más en su caparazón, trabajando como acostumbraba de una forma obsesiva en sus cálculos aparentemente fútiles. En 1950 publicó una nueva versión de su teoría del campo unificado que fue recibida con un incómodo silencio por parte de la comunidad científica. Confesó que a menudo se sentía como un extraño en el mundo, pero estaba lo bastante cómodo como para sentirse profundamente desilusionado. La continua campaña del FBI en su contra, y su incapacidad para resolver la teoría del campo unificado le estaban sobrepasando. Cada vez más cansado, en la primavera de 1955, a la edad de 76 años, murió mientras dormía en el Hospital de Princeton. Junto a su cama había una página de cálculos inacabados relativos a su teoría del campo unificado.

## DEL HOMBRE AL MITO

---

“Soy en verdad un viajero solitario, y los ideales que han iluminado mi camino y han proporcionado una y otra vez nuevo valor para afrontar la vida han sido: la bondad, la belleza y la verdad”

Einstein es sin duda la mente científica más prodigiosa desde Newton, y al igual que éste cambió nuestra forma de entender el universo. Fue siempre un hombre solitario, nunca perteneció a un equipo de investigación ni tuvo verdaderos discípulos, por lo que ya en su época era un “dinosaurio”, el último de los físicos clásicos. La necesidad de soledad creció con los años, y el refugio en las alturas del pensamiento le imposibilitó en gran medida su vida familiar y afectiva, adaptándose a una división de roles “muy natural” y que tan duramente había fustigado en su juventud.

Visto retrospectivamente, parece que Einstein, dedicado por completo a su tarea creativa en la física, buscó en sus dos esposas más un servicio que una compañía basada en compartir experiencias y afecto. Un ejemplo de ello fue la carta a Mileva en 1914 en la que le imponía duras condiciones para vivir de nuevo juntos en Berlín; en términos generales, lo que él quería era que fuese poco menos que su sirvienta y que no se metiese en sus asuntos. Y mientras que Elsa soportó bien esta situación, tal vez dulcificada por la fama obtenida ya en ese momento por su marido y por no tener ella aspiraciones intelectuales, el carácter de Mileva y los desencuentros vividos no permitieron una solución satisfactoria. No son de extrañar pues sus palabras poco antes de morir: “No supe vivir en paz y en armonía con una mujer, empresa en la que desgraciadamente fracasé dos veces”.

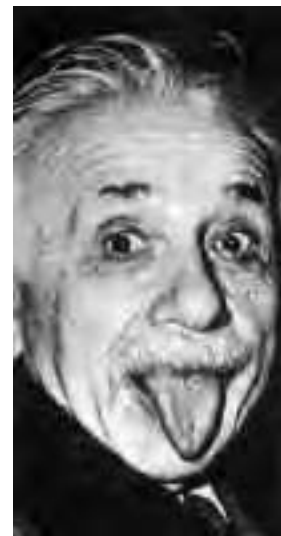
Hemos de ver a Einstein pues no sólo como un físico genial, sino también como un ser humano excepcional pero con sus virtudes y defectos. Entre estos últimos destaca sus limitaciones para la vida cotidiana, sobre todo familiar, motivada por su dedicación desmedida a la empresa científica llevada ésta a la categoría de religión. Como él mismo afirma en su autobiografía, “para un hombre de mi clase se produce un giro decisivo en su evolución cuando poco a poco deja de interesarse exclusivamente por lo que sólo es personal y momentáneo para consagrar todos sus esfuerzos a la aprehensión intelectual de las cosas. Lo esencial en la existencia de un hombre como yo es “lo” que piensa y “cómo” lo piensa, y no lo que hace o sufre”.

Durante la última mitad de su vida Einstein se convirtió en un mito, “el mayor genio del mundo”, un absurdo que aceptó de buena gana y que utilizó de un modo ejemplar para luchar incansablemente contra los males de su época, desde el antisemitismo hasta las armas nucleares. La imagen que dió al mundo fue la típica del genio distraído, pero el Einstein hombre era ambicioso, consciente de sus dotes excepcionales y al mismo tiempo del fracaso al final de su vida al intentar elaborar su teoría del campo unificado.

Ni el genio científico ni la estatura moral bastan para explicar el mito de Einstein. Tal vez la cultura de la posguerra, con su inmenso apetito por las ideas nuevas y el desenfrenado culto por la innovación, puede ser una de las razones. Otra, a su vez, la necesidad del público de asirse a una idea mítica de la ciencia y del sabio (puro, solitario, independiente, materialmente pobre, intelectualmente rico) que ya eran historia.

Einstein, aunque es evidentemente de su tiempo, por sus contribuciones se halla muy alejado de él por su concepción de la investigación y su papel en la comunidad científica. Durante la primera mitad del siglo XX la ciencia pasa del estadio artesanal (el sabio solitario) al estadio industrial (el del investigador en equipo), se institucionaliza y se jerarquiza, vinculándose cada vez más con el poder político y económico. La figura de Einstein se vuelve entonces representativa de la del sabio desaparecido, ilusoria ya, y su leyenda contribuirá en gran modo a oscurecer la naturaleza social efectiva de la ciencia contemporánea.

Como todos los mitos, éste es susceptible de una inversión brutal; después de Hiroshima, la ciencia se convierte para algunos de bien absoluto en mal total, y el pacifista Einstein será a veces considerado el “padre de la bomba”. También ahí el mito sirve sólo para apoyar una visión simplista, puramente ética, de un proceso sociopolítico mucho más complejo.



La foto más mítica de Einstein es aquella en la que saca la lengua

## BIBLIOGRAFÍA

- Albert Einstein**, 1990: *Cartas a Mileva*. Mondadori. Madrid.
- Albert Einstein**, 1984: *Notas autobiográficas*. El libro de bolsillo (nº 1005). Alianza Editorial. Madrid.
- Albert Einstein**, 1980: *Mi visión del mundo*. Cuadernos ínfimos nº 91. Tusquets editores. Barcelona (1ª edición).
- Cynthia Phillips y Shana Priwer**, 2005: *Todo sobre Einstein*. Ediciones Robinbook. Barcelona.
- Denis Brian**, 2005: *Einstein*. Acento Editorial. Madrid.
- Desiderio Papp**, 1978: *Einstein, historia de un espíritu*. Colección austral (nº 1606). Espasa-Calpe, S.A. Madrid.
- Francoise Balibar**, 1999: *Einstein, el gozo de pensar*. Biblioteca de Bolsillo S.A. Barcelona.
- José Ramón Etxebarria**, 1990: *Albert Einstein. Kosmoa pentsagai*. Gaiak Argitaldaria. Donostia.
- Peter Michelmore**, 1973: *Einstein, perfil de un hombre*. Nueva colección Labor (nº4). Editorial Labor. Barcelona (quinta edición).
- Roger Highfield y Paul Carter**, 1996: *Las vidas privadas de Einstein*. Espasa Calpe S.A. Madrid.



## ALBERT EINSTEIN: EL CIENTÍFICO

---

Cuando Einstein inició su carrera científica en los primeros años del siglo XX, la física atravesaba una crisis. Para describir el universo se necesitaban dos teorías complementarias: la *mecánica*, fundada por Galileo y Newton que estudia las relaciones entre las fuerzas que actúan sobre los cuerpos materiales y las características del movimiento que resulta, y el *electromagnetismo* de Faraday y Maxwell, que permite explicar muchos otros fenómenos de los que la mecánica no podía dar cuenta, entre ellos el comportamiento de la luz o la interacción entre corrientes eléctricas e imanes.

Sin embargo, y por desgracia, ambas teorías se contradicen en muchos puntos y ciertos hechos experimentales obligaron a cuestionar seriamente los supuestos clásicos. Justamente de este cuestionamiento surgieron las dos grandes teorías de la denominada física moderna, en contraposición a la física anterior o física clásica: la *mecánica cuántica* y la *relatividad*, de las que Einstein fue pionero en un caso y autor solitario en el otro. Para comprender las aportaciones de Einstein debemos comenzar por tanto analizando la situación de la física en su momento y cuáles eran dichos puntos críticos.

## LA FÍSICA EN CRISIS

---

“Los dos problemas de la física del siglo XIX a los que ha de enfrentarse la teoría mecánica de la naturaleza son: la incapacidad de explicar el mecanismo del movimiento de la Tierra a través del éter y la dificultad que el principio de equipartición de la energía plantea a la construcción de modelos moleculares”.

(Conferencia de William Thomson en 1900)

## LA NATURALEZA DEL ÉTER

---

Según la mecánica basta con cuatro hipótesis (las leyes de Newton del movimiento y una ley para las fuerzas, tal como por ejemplo la ley de la gravitación universal), para describir el movimiento de los cuerpos materiales. Pero hablar de movimiento supone referirlo a un “sistema de referencia”, pues tanto el reposo como el movimiento de un cuerpo son relativos al sistema de referencia elegido. Un sistema de referencia en el que se cumplen rigurosamente las leyes de Newton se llama “sistema inercial” o galileano (SI), y todo sistema de referencia que se traslade uniformemente con respecto a un Sistema Inercial, es también un Sistema Inercial. Este es el *principio de relatividad* (restringida o de Galileo).

Una consecuencia inmediata de este principio es que, desde el punto de vista de la mecánica, no es posible hablar de movimiento o reposo absolutos: sólo podemos hablar de movimientos relativos. Como ya Galileo observara, las leyes que se cumplen en un barco que se traslada con velocidad constante con respecto a la Tierra, son análogas a las que se verifican en tierra firme. Y por tanto, todo experimento mecánico realizado en el barco conducirá a resultados análogos a los que se observan en la costa. Ninguno de estos sistemas de referencia es “privilegiado”: no existen movimientos absolutos.

Los físicos del siglo XIX admitían por tanto que era imposible detectar el movimiento de un SI con respecto a otro por medio de experiencias mecánicas, dado que las leyes de Newton adoptan la misma forma en todos ellos (son invariantes). Pero el desarrollo que por entonces había adquirido la óptica física y el electromagnetismo los llevaron a preguntarse si el principio de relatividad se verifica también en otras ramas de la física. Según la teoría de la luz (el electromagnetismo) elaborada por Maxwell en la década de 1850, la luz es una onda; y por

analogía con las ondas mecánicas se suponía que las ondas luminosas también necesitaban un medio material como soporte de las mismas, el éter. Pero las propiedades de este éter no podían ser más asombrosas: debía ser una sustancia muy tenue que llenase tanto el espacio sideral y el vacío como los cuerpos transparentes e incluso el vidrio; pero dado que la luz es una onda transversal y éstas sólo pueden propagarse en un medio rígido, el éter debía tener una muy baja densidad y una elasticidad superior a la del acero: ¡una especie de gelatina!

Por otra parte, las leyes de Maxwell, como las de Newton para la mecánica, están referidas a un Sistema Inercial de referencia. En las ecuaciones aparece explícitamente la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas en el vacío (la luz no es más que un caso particular de las mismas), pero, ¿con respecto a qué Sistema Inercial dicha velocidad  $c$  vale 300.000 km/s?

( $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$  donde  $\mu_0$  y  $\epsilon_0$  son la permeabilidad magnética y la constante dieléctrica del vacío)

Por supuesto, las ecuaciones de Maxwell fueron establecidas con respecto al supuesto éter, pero un análisis de su estructura matemática muestra que la forma de tales ecuaciones, a diferencia de las leyes de Newton, no es la misma si se las refiere a un Sistema Inercial en movimiento con respecto al éter, que es así un Sistema Inercial privilegiado. Por tanto sería posible decir si un sistema se mueve o no con respecto al éter, pero para ello las experiencias a realizar deberán ser de carácter electromagnético (óptico por ejemplo) y no mecánico.

En 1887, el científico americano Albert Michelson y su colaborador Edward Morley, hicieron un experimento con el propósito de medir la velocidad de la Tierra con respecto al éter. Dado que en primera aproximación la Tierra puede ser considerada un Sistema Inercial y el Sol fijo al éter, la velocidad a ser medida será entonces del orden de los 30 Km/s (la de traslación de nuestro planeta alrededor del Sol). Si un rayo de luz se lanza en el sentido de avance de la Tierra se espera que su velocidad sea  $300.000 - 30 = 299.970$  Km/s; y si se lanza en sentido contrario, 300.030 km/s. Pero los intentos de detectar pequeñas diferencias de la velocidad de la luz para rayos luminosos lanzados en distintas direcciones, y de medir de tal modo la velocidad de la Tierra con respecto al éter, fueron infructuosos. La velocidad de la luz en el vacío, medida en cualquier dirección y desde cualquier sistema, tiene un valor empecinadamente constante: 300.000 Km/s, lo que invalida la hipótesis de un éter absolutamente inmóvil.

El resultado negativo obtenido por Michelson produjo una profunda crisis de las ideas físicas a comienzos del siglo XX: o se toma en serio la teoría de Maxwell y entonces se debe aceptar que la luz se propaga por un éter absolutamente inmóvil siendo su velocidad la misma en cualquier Sistema Inercial de referencia, abandonando por consiguiente el principio de relatividad y derribando así ese cuerpo del edificio de la física que es la mecánica. O se debe por el contrario conservar la mecánica y el sacrosanto principio de la relatividad con lo que el éter no debe existir, lo que supone derribar el otro cuerpo de edificio que es el electromagnetismo. Pero, ¿cómo explicar entonces la propagación de la luz?. Y si no es el éter, ¿qué otro medio transporta las ondas de luz a través del espacio?

## LA NATURALEZA CORPUSCULAR DE LA MATERIA Y LA OPOSICIÓN CONTINUO-DISCONTINUO

Hacia 1900 la mayoría de los físicos estaban convencidos del carácter discontinuo de la materia, aunque se carecía de evidencia experimental de la existencia de los átomos, lo que llevaba a alguno de ellos como a Mach a cuestionar tal concepto en la física. La teoría cinética de los gases era una prueba teóricamente convincente de la naturaleza corpuscular de la materia, pero los fenómenos de espectroscopia señalaban que era necesario suponer complejas vibraciones moleculares internas que impedían construir modelos coherentes de la estructura molecular.

Si los espectros eran el resultado de vibraciones moleculares comunicadas al éter, tal como suponía Maxwell, entonces los modelos moleculares necesarios para generar dichas vibraciones eran incompatibles con el teorema de equipartición de la energía. Dicho teorema afirma que la energía cinética de las moléculas de un gas se distribuye por igual entre los movimientos mecánicos internos de las moléculas, entrando en conflicto entonces con las determinaciones experimentales de las propiedades térmicas (los calores específicos) de los gases, lo que implica a su vez que debe existir una restricción de los movimientos internos de las moléculas. Había, por tanto, inconsistencia en la misma teoría molecular de los gases, y contradicciones entre las pruebas extraídas de la teoría cinética de los gases y las extraídas de la espectroscopia, al formular modelos moleculares adecuados a las exigencias de la teoría y los experimentos.

Por otra parte la física clásica, y en especial el electromagnetismo de Maxwell, era incapaz de explicar las leyes de la radiación de los cuerpos, perfectamente establecidas por otra parte a nivel experimental pero en discordancia con los resultados teóricos. Además la luz tal como Maxwell demostró debe describirse como algo continuo, lo cual representa un enigma dada la relación entre la luz y la materia. En efecto, si la luz nace de la materia cuando se calienta una sustancia o cuando se excita un gas mediante una descarga eléctrica, ¿cómo imaginar entonces que lo discontinuo pueda dar lugar a lo continuo? También aquí, la teoría atómica de la materia basada en la mecánica y la teoría de la luz parecen difícilmente conciliables.

## RELATIVIDAD ESPECIAL

“La teoría de la Relatividad Restringida no es más que el desarrollo sistemático de la electrodinámica de Maxwell-Lorentz”.

(Einstein. *Mi visión del mundo*)

Entre 1901 y 1903 Einstein publicó algunos trabajos sobre capilaridad y termodinámica estadística. Pero el año del milagro fue 1905, en el cual publicó cuatro artículos en la revista *Annalen der Physik* que supusieron deshacer las contradicciones en las que se debatía la física de su tiempo. Por lo que respecta al éter, la genialidad de Einstein consiste en suprimir dicho concepto por representar una hipótesis innecesaria. Pero entonces, ¿cuál es el medio en que se propagan las ondas electromagnéticas, la luz, por ejemplo? Einstein responde: no existe tal medio, las ondas electromagnéticas no requieren medio material alguno para propagarse, no hay nada material que vibre cuando la luz atraviesa el vacío, a diferencia de lo que ocurre en el caso de las ondas en el agua o en el sonido. La noción de éter es pues un resabio de la concepción mecánica de la realidad, que debe ser abandonada; los campos eléctricos y magnéticos que constituyen la onda electromagnética son tan reales como la materia, aunque no puedan ser percibidos como “algo que tiene masa y volumen”.

Eliminados los privilegios del éter, y el éter mismo, Einstein formuló dos hipótesis totalmente compatibles con los hechos observados en su famoso trabajo titulado “Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento”:

1. La velocidad de la luz en el vacío es la misma (300.000 Km/s) para todos los observadores inerciales, independientemente del movimiento de unos con respecto a otros.
2. El principio de relatividad es válido para toda la física, es decir, no es posible revelar el movimiento de un SI con respecto a otro por medio de ninguna clase de experimento, porque las leyes de la física adoptan la misma forma en todos ellos. No hay nada que pueda estar absolutamente inmóvil.

Estos supuestos sirven de fundamento a la llamada *teoría de la relatividad especial* (o restringida), que es aplicable solamente a sistemas inerciales, la cual unifica bajo la égida del principio del

mismo nombre tanto la teoría de la materia como de la luz. Pero, ¿cómo es posible que no exista el movimiento absoluto si la velocidad de la luz es siempre la misma?. La respuesta de Einstein es que las dos hipótesis anteriores pueden ser ciertas a cambio de modificar nuestras ideas intuitivas sobre el espacio y el tiempo. En efecto, algunas consecuencias de la relatividad especial son ciertamente espectaculares; por ejemplo dos sucesos que se presentan como simultáneos para un observador pueden no serlo para otro, es decir, la noción de simultaneidad es "relativa" al sistema de referencia desde donde se efectúan las mediciones. Esta relativización se ha de extender a otros absolutos de la física clásica, tales como la duración de un acontecimiento, la longitud de un cuerpo o la masa de un objeto. Más aún, las nociones de espacio y tiempo no pueden ser independientes, como admitía la física clásica, por lo que el universo en el que ocurren los fenómenos físicos es ahora un universo cuatridimensional, el continuo espaciotiempo.



Albert Einstein y Paul Langevin tenían en común una idéntica visión de la teoría física

Como consecuencia de ello no se pueden ya mezclar las mediciones obtenidas desde distintos sistemas en movimiento relativo, y por ejemplo la fórmula de transformación de velocidades de un Sistema Inercial a otro ya no viene dada por  $v = v' + w$  (transformación de Galileo-TG- donde  $w$  es la velocidad del sistema móvil Sistema Inercial respecto al fijo Sistema Inercial), sino por

$$v = \frac{v' + w}{1 + \frac{v'w}{c^2}} \text{ (denominada transformación de Lorentz -TL-).}$$

Las leyes de la mecánica son invariantes ante una Transformación de Galileo, pero no así las leyes de Maxwell. Einstein comprendió que la Transformación de Galileo debía ser reemplazada por otras fórmulas que conservaran las ecuaciones de Maxwell, y esas fórmulas son precisamente las de la Transformación de Lorentz, y por ello todos los Sistema Inercial son equivalentes y el *principio de relatividad* se cumple para toda la física (2ª hipótesis de Einstein). Con ello tuvo que modificar las leyes de Newton de modo que fueran invariantes ante Transformación de Lorentz, resultando como consecuencia que la masa de un cuerpo depende de la velocidad

$$m = \frac{m'}{\sqrt{1 - \frac{w^2}{c^2}}}, \text{ y lo que es más sorprendente, la equivalencia entre la masa y la energía dada}$$

por la expresión tal vez más famosa de la física  $E = m c^2$ .

La mecánica de Einstein no se contradice con la de Galileo-Newton, sino que considera a ésta como un caso particular para velocidades pequeñas comparadas con la velocidad de la luz. En cambio, permite explicar numerosas experiencias que la física clásica era incapaz de fundamentar, entre ellas la de Michelson, así como otra serie de efectos extraños y que hoy son de uso corriente en la física, tales como la contracción de las distancias y la dilatación de los tiempos para los cuerpos vistos en movimiento o la conversión de masa en energía en una reacción nuclear.

## EINSTEIN Y LA TEORÍA CUÁNTICA

“Le prometo cuatro trabajos, el primero de los cuales se lo podré enviar próximamente. Trata de la irradiación de la luz de un modo por completo revolucionario”.

(Einstein. *Carta a K. Habicht*. 1905)

Aunque el nombre de Einstein se asocia a veces exclusivamente con su teoría de la relatividad, es necesario destacar la importancia de sus aportaciones en otros campos como la teoría atómica, la física cuántica, la termodinámica estadística o la cosmología. En concreto, de los cuatro trabajos de 1905 dos de ellos tenían que ver con la teoría atómica (“Una nueva determinación del tamaño de las moléculas” en el que resume un método para describir una molécula de azúcar, y “Sobre el movimiento de pequeñas partículas suspendidas en un líquido estacionario, según la teoría cinética del calor” en el que explica el movimiento browniano) y uno sobre la teoría cuántica de la luz (“Un punto de vista heurístico sobre la producción y la transformación de la luz”, en el que explica el fenómeno fotoeléctrico).

Einstein era un atomista convencido y pertenecía a una generación que, aunque no había visto todavía átomos “de verdad”, estaba convencida de su existencia. Además era un ardiente defensor de la mecánica estadística, que estudia los movimientos de los átomos de acuerdo con las leyes de Newton pero no de forma individual sino en conjunto, lo cual está justificado dado el enorme número de átomos contenidos en la menor porción de materia. De esta manera por ejemplo fue capaz de explicar el movimiento en continuo zigzag y aparentemente aleatorio de partículas de polen suspendidas en agua, movimiento descubierto anteriormente por el naturalista Robert Brown en 1828 y que lleva su nombre.

En efecto, de acuerdo con la teoría del calor de la cinética molecular, las moléculas invisibles del líquido estaban en movimiento, intensificándose éste a medida que aumentaba la temperatura del líquido. Y el comportamiento aparentemente aleatorio de las partículas suspendidas en realidad se debía a que eran bombardeadas por las moléculas invisibles que constituían el líquido.

Utilizando la mecánica estadística Einstein fue capaz de determinar el tamaño de una molécula de azúcar disuelta en agua, e incluso de predecir el número exacto de moléculas en cualquier cantidad determinada de líquido ( $6 \cdot 10^{23}$  en 18 gramos de agua), demostrando así teóricamente la existencia de estas moléculas invisibles. Tres años después, los experimentos prácticos de Jean Perrin fueron la primera demostración práctica de la existencia física de los átomos de materia, calculando el tamaño de las moléculas de agua a partir del trabajo de Einstein, revelando además la extraordinaria precisión de los cálculos puramente teóricos de aquél.

Pero el artículo por el que recibió el Premio Nobel en 1922 (concedido el año 1921), no fue el referido a la teoría de la relatividad (algunos miembros del comité la consideraban demasiado aventurada), sino el relativo a la naturaleza de la luz. Recordemos que una de las contradicciones en las que se debatía la física era la oposición entre continuo y discontinuo, así como la discordancia entre teoría y experiencia en lo relativo a la radiación de energía por los cuerpos. En el caso de la radiación luminosa, Max Planck había ya demostrado en 1900 que para explicar dicha radiación era necesario suponer que durante la absorción o emisión de radiación, la energía se intercambiaba por medio de cantidades discretas o *cuantos*. Lo revolucionario de esta hipótesis consiste en concebir a la energía como una cantidad discontinua, es decir, que varía a saltos tal como lo hacen la materia y la carga eléctrica.

Pero Planck nunca creyó que su hipótesis fuese otra cosa que un artificio y se negó a dar crédito a su descubrimiento. Defendía que su teoría sólo describía la relación entre materia y luz, pero no se aplicaba a la naturaleza de la propia luz. Fue Einstein el que finalmente

demostró que la oposición entre continuo y discontinuo no tiene razón de ser: la luz está también constituida por granos, como la materia, a los que más tarde se denominó *fotones* (cuantos de luz). Con ello pudo dar una explicación del efecto fotoeléctrico cuando la luz choca contra ciertos sólidos y que no podía explicarse según la teoría ondulatoria de la luz de Maxwell, válida por otra parte para explicar ciertos comportamientos de la luz como la difracción o la polarización. Einstein había descubierto un objeto, la luz, que escapaba a la dicotomía continuo-discontinuo, haciendo al mismo tiempo compatibles las teorías de la luz y de la materia. Más adelante, otros investigadores demostraría que dicho comportamiento dual es también característico de la materia, ya que incluso un haz de partículas es capaz de difractarse.

Aunque la idea de Einstein guardaba un curioso parecido con la imprecisa formulación que había realizado Newton 200 años antes, representó el comienzo del final de la física de Newton. El razonamiento físico-matemático de Einstein preparó el terreno a la teoría cuántica y logró que el concepto original de Planck (los cuantos) fuera fundamental para entender la auténtica naturaleza de la luz. En la década de 1920, la teoría cuántica empezó a surgir como uno de los mayores adelantos del siglo XX, logrando Planck el Premio Nobel en 1919 y Einstein en 1921. En el terreno práctico, la teoría de la luz de Einstein iba a desempeñar un papel destacado en la invención de la televisión, pero su aplicación más notoria hoy es la “célula fotoeléctrica” que abre puertas automáticamente.



Albert Einstein ganó el Nobel de Física en 1922 por su explicación del efecto fotoeléctrico

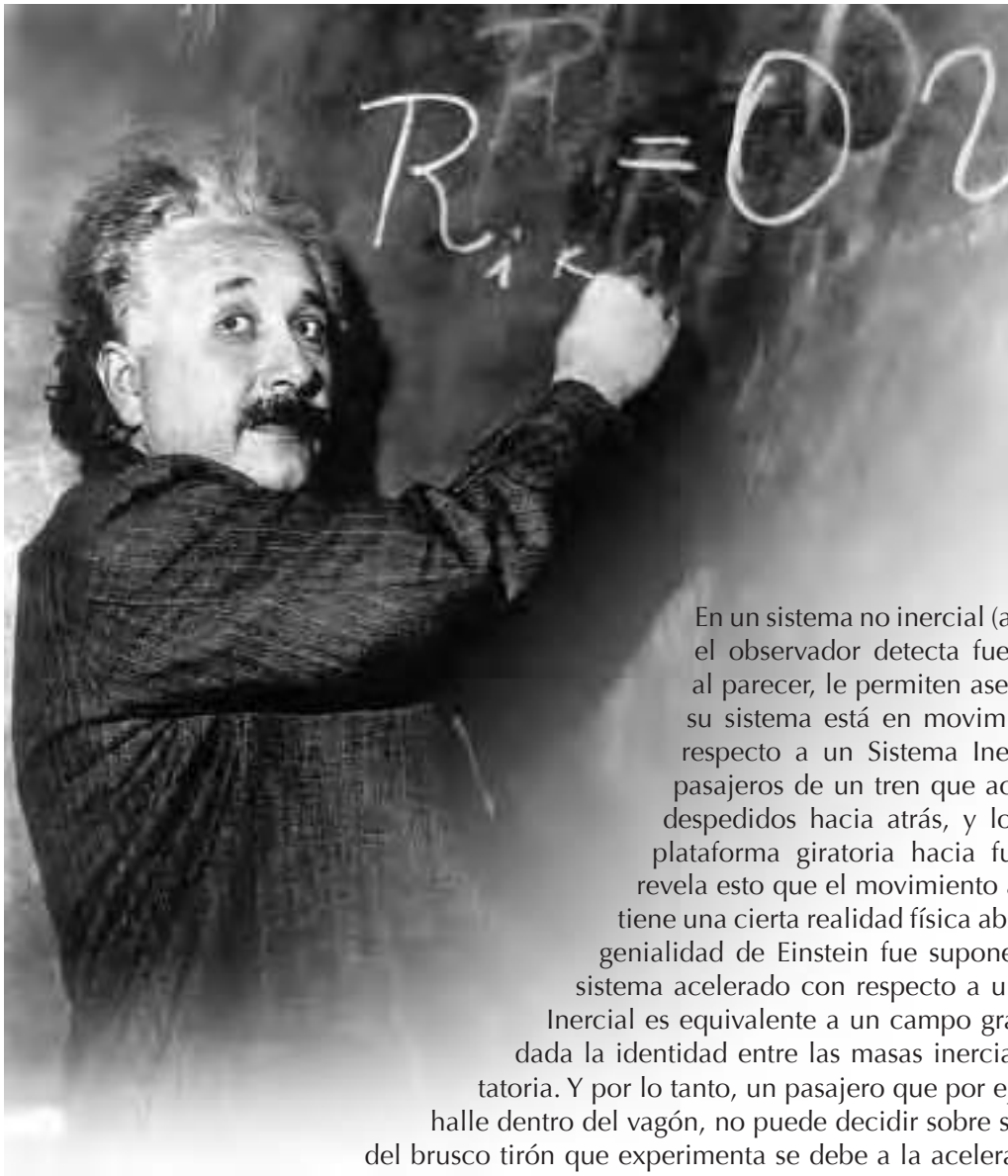
Einstein tenía solo 26 años y aparentemente era un funcionario de baja categoría en la Oficina de Patentes de Berna, cuando en sólo seis meses logró con sus artículos de 1905 deshacer el ovillo de contradicciones en las que se debatía la física. En marzo demuestra que la oposición entre continuo y discontinuo no tiene razón de ser: la luz está también constituida por granos (los cuantos de luz o fotones), como la materia. En junio del mismo año edifica una teoría de la luz sin éter, la teoría de la relatividad restringida, aboliendo así la asimetría entre mecánica y electromagnetismo. La proeza intelectual de Einstein parece no tener parangón en la historia de la humanidad. Poco más de dos siglos antes, Newton había experimentado un año parecido de creatividad milagrosa, durante la cual él también produjo la mayor parte de su trabajo más importante. Tenía aproximadamente la misma edad que Einstein, y para huir de la peste vivía aislado en el campo. Pero Newton no tenía que ir a trabajar cada día y no vivía en un pequeño apartamento con una esposa y un bebé.

## RELATIVIDAD GENERAL

“En estos momentos me ocupa por completo el problema de la gravitación. Hay algo seguro: no he estado tan atormentado en toda mi vida. Junto a este problema, la relatividad restringida es sólo un juego de niños”.

(Einstein. *Carta a Sommerfeld*, 1912)

La anterior teoría especial de la relatividad se restringe al caso de sistemas inerciales, esto es, a cuerpos que se mueven unos con respecto a otros con un movimiento uniforme. Luego de su publicación, Einstein trabajó durante diez años a fin de extender los resultados a sistemas de referencia cualesquiera. Su propósito era mostrar que ningún sistema puede ser considerado como privilegiado, para lo cual es necesario expresar las leyes de la física de manera que tomen igual forma matemática en cualquiera de ellos, sean éstos inerciales o no. El *principio de relatividad* deberá entonces ser generalizado, pero, ¿se podrá hacer tal cosa?



En un sistema no inercial (acelerado) el observador detecta fuerzas que, al parecer, le permiten asegurar que su sistema está en movimiento con respecto a un Sistema Inercial. Los pasajeros de un tren que acelera son despedidos hacia atrás, y los de una plataforma giratoria hacia fuera. ¿No revela esto que el movimiento acelerado tiene una cierta realidad física absoluta? La genialidad de Einstein fue suponer que un sistema acelerado con respecto a un Sistema Inercial es equivalente a un campo gravitatorio, dada la identidad entre las masas inercial y gravitatoria. Y por lo tanto, un pasajero que por ejemplo se halle dentro del vagón, no puede decidir sobre si la causa del brusco tirón que experimenta se debe a la aceleración con

respecto a un Sistema Inercial, o bien a la manifestación sorpresiva fuera del vagón de una gran masa gravitatoria. Por lo tanto, por la suposición de un campo gravitatorio adecuado, cualquier sistema puede ser considerado Sistema Inercial, no existiendo entonces ningún sistema privilegiado. Aunque el razonamiento anterior se ha realizado por medio de un experimento mecánico, Einstein sostuvo la imposibilidad de decidir entre movimiento acelerado y campo gravitatorio por medio de ninguna clase de experimento, sea este mecánico o electromagnético (*principio de equivalencia*).

Desarrollar las consecuencias del *principio de relatividad generalizado* supuso un arduo esfuerzo a Einstein, durante el cual tuvo que aprender muchas matemáticas (cálculo tensorial, geometría de Riemann) y ser ayudado en Zúrich (1912-1914) por su antiguo compañero de estudios Marcel Grossmann. Por fin logró expresar las leyes de la física de modo invariante, es decir, con independencia del sistema de referencia donde se halle el observador, lo cual revela el carácter formalmente absoluto de la *teoría general de la relatividad* presentada en 1916. Las consecuencias de ésta son aún más sorprendentes que las de la relatividad restringida: la presencia de un campo gravitatorio en una región del espacio modifica sus propiedades métricas de tal modo que la geometría euclidiana ya no es adecuada para describirlo, y la fuerza de atracción de Newton es sustituida por dicha modificación del espacio que rodea a los cuerpos.

La belleza de la concepción geométrica de la gravitación es deslumbrante. El principio de inercia de Galileo nos decía que, en ausencia de fuerzas, un cuerpo se mueve a lo largo de una línea recta. Ello ocurre, por ejemplo, en una región alejada de toda masa gravitatoria (sistema inercial). Einstein lo dirá de este modo: allí la curvatura del espacio es nula (espacio euclidiano) y por lo tanto el cuerpo sigue una geodésica del mismo, es decir, una recta. Si el cuerpo se acerca ahora a las proximidades de una estrella, el punto de vista clásico será el siguiente: la estrella crea a su alrededor un campo gravitatorio, y por lo tanto el cuerpo estará sometido a una fuerza que lo obligará a moverse sobre una trayectoria curva, como un planeta o un cometa. Pero, desde el punto de vista relativista, lo que ha ocurrido es que la estrella curva a su alrededor el espaciotiempo, y el cuerpo se limita a describir una recta en ese espacio, es decir, una geodésica, que en el espacio de tres dimensiones se percibe como la curva que registra el observador.

La verificación de la teoría de la relatividad general de Einstein ofrece dificultades en grado mucho mayor que la especial, ya que los efectos que predice obligan a emplear una técnica experimental u observacional altamente perfeccionada. La teoría de Newton es una excelente aproximación a la de Einstein (válida en el caso de fuerzas gravitatorias débiles) y por ello las discrepancias son relativamente pequeñas. Sin embargo éstas existen (desplazamiento del perihelio de Mercurio, curvatura de los rayos luminosos por efecto de la gravitación, influencia de la gravitación sobre la marcha de los relojes), y su confirmación experimental avala sin dudas la teoría relativista.

## LA TEORÍA DEL CAMPO UNIFICADO

---

“Estamos lejos todavía de poseer una base conceptual de la física en la cual podamos confiar”.

(Einstein, en una carta a científicos italianos, 15 días antes de morir)

La relatividad general es sin duda la más bella y formidable construcción teórica llevada a cabo individualmente por un científico, pero al mismo tiempo, para su autor, era una síntesis incompleta. La geometrización de la gravitación deja fuera al campo electromagnético, regido



por las leyes de Maxwell y la relatividad especial, y sigue subsistiendo la dualidad materia-campo, gravitación-electromagnetismo. Esta dualidad desagradaba profundamente a Einstein y ya desde 1917 creyó que debía ser superada en la unidad geométrica de un "campo único", concebido como una aproximación sustancial hacia una visión totalizadora de la realidad. Su ambición era edificar una teoría general y unitaria, que describiera en un solo sistema de ecuaciones las propiedades de la luz, de la materia y de la gravitación. Le parecía que semejante teoría debía edificarse sobre el modelo de sus teorías de la relatividad restringida y general, es decir, colocando principios en la base.

Einstein intentó incorporar el electromagnetismo a la relatividad general, a fin de hallar ecuaciones de campo que englobasen la gravitación y el electromagnetismo, eliminando de este modo la noción misma de materia: desde tal perspectiva, una partícula es concebida como una región donde el campo es muy intenso, "como un nudo en la textura de un pedazo de madera" en palabras del matemático W. Bonnor. Las leyes de la mecánica cuántica derivarían naturalmente de esas ecuaciones de campo, y Einstein confiaba en que de tal modo serían superadas la incertidumbre y el indeterminismo que gobiernan las ideas cuánticas y que él se negaba a admitir.

Durante muchos años, con infinita paciencia, sin dejarse vencer por sus fracasos, pero sin hacerse tampoco excesivas ilusiones, trabajó Einstein en la elaboración de esta teoría unitaria. Pero el problema era formidable y no había evidencia experimental que mostrase cómo interactúan el campo gravitatorio y el electromagnético; Einstein no tuvo, al respecto, una base empírica sobre la cual ejercitar su "olfato". Recuerda haber sido perseguido por visiones mientras reflexionaba acerca de sus indagaciones anteriores: la de un hombre montado en un rayo de luz lo condujo a la relatividad especial; la de otro en un ascensor que cae libremente, hacia la relatividad general. Pero en su intento de fundar una física unificada reconoció sin embargo no haber experimentado visión alguna. Entonces recurrió a la matemática, transitando por formalismos cada vez más complejos, lo cual era visto por la mayoría de físicos más empíricos y partidarios de dar la primacía a la mecánica cuántica, "como si el rabo moviera al perro y no a la inversa" (W. Bonnor). En 1945 publicó un primer intento de su *teoría del campo unificado*, pero pronto se comprobó que era errónea; en 1950 elaboró una nueva versión que consideró definitiva, aunque en la actualidad se admite que el problema subsiste. Las complejas ecuaciones de la teoría sólo han sido resueltas mediante aproximaciones numéricas, y ellas no satisfacen ciertos requerimientos esenciales, mientras que Einstein insistía en que era necesario hallar soluciones exactas. Actualmente, casi ningún físico o matemático trabaja en el proyecto de Einstein, y las soluciones exactas no han sido halladas ni se sabe si existen.

Así, Einstein murió sin alcanzar la comprensión unitaria de la trama real del universo, de la unidad del mundo en su diversidad. En esta empresa coinciden el científico con el místico, el artista, el poeta. La desmesura de su intento final llama a la admiración, su fracaso no ha sido menor ni mayor que el de otros protagonistas de una historia secreta: la del conocimiento último de la existencia y el mundo. Einstein creía firmemente en la existencia de una realidad objetiva detrás del fluir de los fenómenos, realidad que debe ser comprensible pues como afirmaba, "Dios es sutil, pero no maligno". Por ello cuando se le preguntaba por qué empleaba su tiempo y su genio en un quehacer sin esperanzas de éxito, siempre respondía que se trataba de una obligación y una necesidad. Debía intentarlo. En Einstein se cumple, magníficamente, el triunfo del pensamiento desinteresado que es, o debería ser, la característica esencial del proceder científico.

## EL LEGADO DE EINSTEIN

---

“Einstein sería uno de los más grandes físicos teóricos de todos los tiempos aunque no hubiera escrito una sola palabra sobre relatividad”. (Max Born)

La riqueza de la vida y obra de Einstein no se limita sólo a sus importantes logros científicos, sino que también ilustra una forma o estilo propio de hacer ciencia, una metodología para comprender la realidad. Pero dicha forma de hacer física y sus discrepancias con la de otros físicos, como por ejemplo con la de los seguidores de la interpretación ortodoxa de la mecánica cuántica, no se entiende bien si no comprendemos a su vez el trans fondo de supuestos y creencias personales que animaron su búsqueda, su metafísica. Sólo en esta perspectiva amplia cobran pleno sentido sus logros y su propia biografía, al mismo tiempo que se puede entender mejor qué es la ciencia y cómo se construye. Y esto a través de un caso excepcional, pues la aportación de Einstein no se limitó sólo a sus artículos científicos, sino que también escribió ampliamente sobre como entendía el método científico y sobre los contenidos de su propia cosmovisión.

### SU METODOLOGÍA

---

Un rasgo esencial de la metodología de Einstein es la forma teórica de acercarse a la realidad, algo propio del siglo XX, tan característico como lo fueran a su modo el cubismo o la música atonal. El siglo XIX había sido testigo del desarrollo de muchas ramas de la ciencia desde su infancia hasta la plena madurez, y durante este periodo el método científico había sido en gran parte empírico. Se habían logrado avances radicales a través de la observación, la experimentación y la utilización de aparatos ingeniosos. Pero el método de Einstein no era experimental, sino todo lo contrario; era un teórico impenitente y la experimentación revelaría posteriormente si los hechos se ajustaban a la teoría o no. El antiguo método de elaborar teorías basadas en hechos que se apoyaban en pruebas experimentales era un proceso demasiado lento y prosaico para Einstein. Su mente prefería adelantarse y enfrentarse a la posibilidad última, mucho más allá de la esfera de la experimentación. Mucho antes de que fueran una realidad, se demostró por ejemplo con cierto detalle, que las explosiones atómicas y las naves espaciales enviadas a la Luna eran posibles en teoría. Ahora se trataba del genio de la regla de cálculo o el ordenador en la vanguardia científica, en lugar del sabio en el laboratorio.



Despacho de Einstein

Como anécdota, se cuenta que durante su viaje a Estados Unidos en 1930, Einstein y su esposa Elsa visitaron el célebre observatorio de Monte Wilson, donde contemplaron el gigantesco telescopio cuyo espejo medía dos metros y medio de diámetro. “Para qué necesitan ustedes un instrumento de tan enorme tamaño”, preguntó Elsa. “Para establecer la estructura del Universo”, contestó el director del observatorio. “De veras?”, respondió Elsa, mi marido suele hacer eso mismo sobre el revés de un sobre”. Igualmente en otra ocasión en que alguien le preguntó a Einstein: “¿dónde tiene su laboratorio?”, éste sonrió y sacando una

pluma estilográfica de su bolsillo contestó: "aquí". Una pluma, una mesa y su cerebro fue lo único que necesitó para trastocar el edificio de la física.

Según Popper, lo que enseña el ejemplo de Einstein a la filosofía de la ciencia es que el conocimiento científico consta de conjeturas especulativas y audaces controladas por una crítica despiadada que incluye pruebas experimentales. En Einstein, la necesidad de superar las teorías es su creencia en una realidad externa, que siempre trató de captar de modo "profano" e intuitivo. Esta fe en el mundo exterior es según él la base de toda ciencia de la naturaleza. Y agrega: "puesto que la percepción de los sentidos no proporciona sino indicios indirectos de este mundo exterior, de esta realidad física, ésta no puede ser aprehendida por nosotros más que a través de la vía especulativa". Hay experiencias, nos dice Einstein, que permiten "tomar conciencia e intuición de la maravillosa arquitectura del Universo". Pero, ¿es compatible esta dimensión intuitiva y mística con el ejercicio del método científico? La respuesta de Einstein es afirmativa. "Una teoría puede ser probada por la experiencia, pero no hay camino que lleve de la experiencia a la creación de una teoría. Las leyes teóricas son creaciones libres de la mente que deben, por supuesto, obedecer al criterio de verificación empírica".

## SU METAFÍSICA



Einstein fue un virtuoso del violín; con él acostumbraba a dar conciertos para concentrarse en sus investigaciones

Si queremos entender qué tipo de persona es un científico, y qué tipo de razonamiento conduce a sus descubrimientos y al aumento del conocimiento, entonces no sólo tenemos que prestar atención al componente teórico (conceptos, leyes y teorías) y a los hechos empíricos que se tratan de interpretar, sino que es necesario un tercer elemento que guíe la construcción del componente racional y su contrastación con el componente empírico del conocimiento científico. Si los principios de una teoría tal como dice Einstein no pueden ser deducidos de la experiencia por abstracción meramente lógica, sino que son invenciones libres de la mente humana, ¿cómo es posible entonces aspirar al hallazgo del recto camino?. Aún más, ¿ese camino no será también una ilusión?

A esto responde Einstein con su personal metafísica: existe el recto camino y además podemos encontrarlo, pero para ello presupone una serie de principios o reglas directoras: primacía de las estructuras formales o matemáticas, carácter continuo de las leyes (predominio del campo frente a la discretización atomística), escala cosmológica en su aplicabilidad, causalidad, constancia e invariancia. Pero además, "las leyes finales han de ser pocas, armónicas, simples, en correspondencia con la unidad y la armonía de la

naturaleza que ciertas visiones nos hacen sospechar". Incluso añade: "Sin la creencia de que es posible asir la realidad con nuestras construcciones teóricas, sin la creencia en la armonía interior de nuestro mundo, no podría existir la ciencia. Esta creencia es, y será siempre, el motivo fundamental de toda creación científica". Por eso, para él, dice Bertand Russell, "la teoría emerge como una imprevista intuición imaginativa, como le sucede a un poeta o a un compositor", y entonces la función más alta del físico será "buscar las leyes más elementales, las más generales, para alcanzar a partir de ellas y por simples deducciones, la imagen del mundo. Ningún camino lógico conduce a estas leyes: sólo la intuición, fundada en la experiencia, puede permitir alcanzarlas".

Estos ideales, a los que Einstein se dedicó intensamente, explican por qué continuó con su trabajo incluso cuando los contrastes con la experiencia eran difíciles o no estaban disponibles, o, recíprocamente, por qué se negó a aceptar teorías apoyadas por los fenómenos pero, como en el caso de la mecánica cuántica de Bohr, basadas en presupuestos opuestos a los suyos. Explica también, en su anhelo de una imagen unificada del mundo, el camino que empezó con la relatividad especial y siguió luego con la relatividad general y la teoría del campo unificado.

Estas presuposiciones fundamentales de carácter lógico-estético que mueven la vida y obra de los científicos, y que no se derivan directamente ni de la observación ni del raciocinio son según Einstein completamente necesarias, pues "pensar sin postular categorías y conceptos en general sería tan imposible como respirar en el vacío". Aunque su selección inicial es arbitraria, su justificación reside en la utilidad que pueden aportar a la inteligibilidad de la realidad, lo cual no evita que pueda ser una trampa que conduzca a un callejón sin salida. Justamente, el hecho de que científicos individuales puedan tener compromisos metafísicos y cosmovisiones distintas, permite a la comunidad científica no quedarse atrapada en dichas trampas y al conocimiento científico progresar de manera continua.

## SU OBRA

---

Einstein nos ha dejado como herencia dos teorías: la relatividad y la teoría cuántica, de la que es el padre aunque luego no aceptó su posterior desarrollo. En cuanto a la relatividad especial, se ha dicho que estaba en el aire de la época en 1905; y el propio Einstein con modestia señaló que aunque sus trabajos no hubieran sido realizados la solución al problema hubiese llegado en pocos años más. Hoy día ya no ofrece margen alguno para la discrepancia y es considerada por los físicos como una teoría consagrada e incorporada a su quehacer cotidiano. No ocurre lo mismo con la relatividad general, una creación prácticamente exclusiva del genio de Einstein, y que de no ser por éste tal vez no existiría hoy. Pese a ser tal vez la teoría más bella de la física, permanece fuera del trabajo habitual de la mayoría de los físicos, salvo en campos como la astrofísica o la cosmología donde tiene hoy en día un inmenso campo de observación (agujeros negros, pulsares, ondas gravitatorias, etc.).

Respecto a la física cuántica, su no aceptación de la interpretación probabilística hacen de Einstein el último de los físicos clásicos. Que el resultado de un experimento no sea único y no pueda predecirse con total certidumbre, es algo que siempre rechazó. Sin embargo, según la interpretación mayoritaria de la denominada "escuela de Copenhague" (liderada por Bohr, y a la que se adherían Heisenberg, Born, Pauli y Jordan, entre otros), no es posible intentar el programa que propone Einstein, esto es: "la descripción completa de toda situación real, tal como se supone que existe, independientemente de todo acto de observación o de esfuerzo por objetivarla". La herencia de Einstein en el campo de la física cuántica está hecha en gran parte de cuestiones abiertas, de problemas planteados como la paradoja EPR de la no-sepa-

rabilidad, lo que obligó a reflexionar y avanzar más aún en el descubrimiento del carácter “absurdo” del mundo cuántico.

Su intento de una teoría del campo unificado basada en la relatividad general, y que debía otorgar a los principios cuánticos una base lógica que no prescindiese de una realidad objetiva, no tuvo éxito en parte por haberse anticipado a su tiempo. En su época en efecto no se conocían los otros dos tipos de fuerza que actúan en el núcleo de los átomos (fuerzas débil y fuerte), ni tampoco otra serie de descubrimientos recientes como son los quarks, el big bang, los agujeros negros, etc. Por el contrario, y en base a la teoría cuántica de campos, se está hoy día cerca de conseguir el sueño de Einstein. Mediante ella no solo se ha podido explicar el comportamiento de los diferentes tipos de partículas elementales, sino también las fuerzas que actúan entre dichas partículas. Más aún, se ha conseguido un tratamiento unificado para las diferentes fuerzas (teoría electrodébil para el electromagnetismo y las fuerzas débiles, y teoría de gran unificación que abarca también a las fuerzas fuertes), quedando aún por confirmar la inclusión de la gravitación (teorías de supercuerdas y teorías supersimétricas). Dicha última integración es hoy en día el mayor problema de la física, pues tal como dice Stephen Hawking en su famoso libro *Historia del tiempo*: “los científicos describen el universo con la ayuda de dos teorías fundamentales, la teoría de la relatividad general y la mecánica cuántica, pero por desgracia ambas teorías son incompatibles. Gran parte de los esfuerzos de los físicos actuales recae en la búsqueda de una teoría que incluya, a la vez, la gravitación y la teoría cuántica”.

La física se encuentra de nuevo en crisis, pues nada permite suponer que dichas teorías puedan ser invalidadas. La relatividad gobierna el macrocosmos (gravedad) y desde hace más de ochenta años resiste confrontaciones cada vez más profundas con los datos de la observación. La mecánica cuántica por su parte gobierna el microcosmos y en su desarrollo ha dado lugar a tan numerosas aplicaciones (la tecnología moderna se basa en ella) que difícilmente puede pensarse que sea falsa. La historia parece repetirse, puesto que hoy nos hallamos en una situación parecida a la de antes de 1905, la de conciliar dos teorías aparentemente incompatibles. La física espera nuevas ideas, que como las de Einstein, resuelvan esta contradicción.



## BIBLIOGRAFÍA

---

**Albert Einstein**, 2003: *Cien años de relatividad. Los artículos clave de Albert Einstein de 1905 y 1906*. Traducción, introducción y notas de Antonio Ruiz de Elorza. Nivola libros y ediciones. Madrid.

**Albert Einstein**, 1980: *Mi visión del mundo*. Cuadernos ínfimos nº 91. Tusquets editores. Barcelona (1ª edición).

**Albert Einstein**, 1984: *Sobre la teoría de la relatividad especial y general*. El libro de bolsillo (nº 1048). Alianza Editorial. Madrid.

**Albert Einstein y Leopold Infeld**, 1995: *La evolución de la física*. Salvat Editores. Barcelona (1ª edición).

**Barry Parker**, 1990: *El sueño de Einstein*. Cátedra. Madrid.

**Francoise Balibar**, 1999: *Einstein, el gozo de pensar*. Biblioteca de Bolsillo S.A. Barcelona.

**Gerald Holton**, 1998: *Einstein, historia y otras pasiones*. Santillana S.A., Taurus. Madrid.

**Guillermo Boido**, 1980: *Einstein o la armonía del mundo*. Adiax S.A. Buenos Aires.

**José A. de Azcárraga**, 2005: *Albert Einstein (1879-1955) y su Ciencia*. Revista de la Unión Iberoamericana de Sociedades de Física. 1/1/pag 35-53.

**José Ramón Etxebarria**, 1990: *Albert Einstein. Kosmoa pentsagai*. Gaiak Argitaldaria. Donostia.

**Julian Schwinger**, 1995: *El legado de Einstein*. Biblioteca Scientific American. Prensa Científica. Barcelona.

**Paul Strathern**, 1990: *Einstein y la relatividad*. Siglo XXI. Madrid.