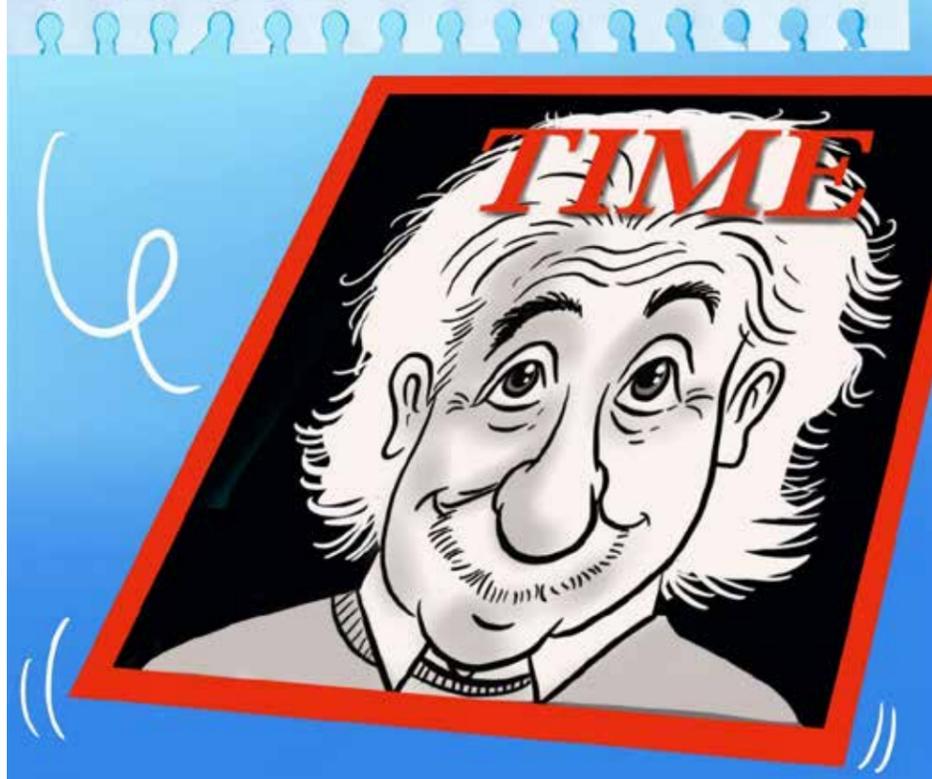


Einstein: 50 horas en Zaragoza y un legado universal

“Einstein nos muestra
su genio incluso al
equivocarse.”

Ilustraciones: Dani García-Nieto
Texto: Fernando Bartolomé, M^a Luisa Sarsa

En 1999 la revista Time eligió a Albert Einstein 'Personaje del siglo XX'. Einstein es el icono popular del "científico genial". Su trabajo influye aún enormemente en nuestras vidas, en la tecnología que usamos y en nuestra comprensión del Universo.



Del 12 al 14 de marzo de 1923 Albert Einstein pasa un par de días en Zaragoza, invitado por la Academia de Ciencias de Zaragoza y la Facultad de Ciencias de la Universidad. Coincidiendo con el centenario de la estancia de Einstein en Zaragoza, y con el objetivo de visibilizar su legado científico y su figura entre los más jóvenes preparamos esta colección de viñetas. Este formato ha demostrado ser una herramienta atractiva y efectiva de divulgación para todos los públicos.

ALBERT EINSTEIN, UN RETRATO MÍNIMO

Albert Einstein, el icono

Sin lugar a dudas Einstein es el icono popular del "científico", cuya figura y descubrimientos llegaron al gran público, tanto como para ser elegido "Personaje del siglo XX" en 1999 por la revista Time. El alcance de sus trabajos es impresionante y, sin embargo, solo pudieron ser entendidos en su tiempo por una élite de científicos del más alto nivel.

Sus trabajos en Relatividad han establecido el marco en el que se fundamenta nuestra comprensión del Universo, la relación entre masa y energía, y la estructura del espacio-tiempo. Explicó el efecto fotoeléctrico, desarrolló una teoría explicando las propiedades de los sólidos a baja temperatura, planteó experimentos "pensados" dirigidos a entender las cuestiones de fondo que subyacen en la visión cuántica de la naturaleza, etc. Su trabajo tiene repercusiones directas en nuestra vida cotidiana, puesto que son muchos los avances científicos y tecnológicos que surgen de sus ideas o las utilizan, como los láseres y el GPS.

A hombros de gigantes

La contribución científica de Einstein resiste sin apuros cualquier comparación, sea con Sir Isaac Newton, Galileo Galilei, Charles Darwin, o Michael Faraday. La viñeta hace referencia a la frase que Isaac Newton escribió a Robert Hooke en una carta en 1676:

"El alcance de sus trabajos es impresionante y, sin embargo, solo pudieron ser entendidos en su tiempo por una élite de científicos del más alto nivel."

"Si he podido ver más allá, ha sido porque iba a hombros de gigantes."

Einstein expresó siempre una gran consideración por sus colegas y, en particular, por algunas de las mejores científicas del siglo XX: Marie Skłodowska-Curie, Lise Meitner y Hendrika van Leeuwen, por ejemplo. Mención especial merece su aprecio por la matemática Emmy Noether, cuyos teoremas fueron fundamentales para el desarrollo de la Relatividad General y buena parte de la Física del siglo XX. La opinión de Einstein tampoco facilitó sus carreras, que en general fueron auténticas carreras de obstáculos.

Einstein equivocado

Para que las ecuaciones de campo de su Relatividad General reflejasen el modelo de Universo aceptado en su tiempo, Einstein incluyó en ellas un término constante que compensaba la atracción gravitatoria: la constante cosmológica. El propio Einstein consideró que este



hecho fue su mayor error cuando se confirmó la expansión del Universo en 1929. Sin embargo, a finales del siglo XX, la observación de aceleración en la expansión del Universo requirió introducir de nuevo en las ecuaciones este término, ahora denominado energía oscura, que supone un 68% del contenido de materia-energía del Universo. Einstein acertaba incluso al equivocarse.

También formuló los estados cuánticos entrelazados, con los que pensó demostrar la incompletitud de la física cuántica como teoría para describir el Universo. Sin embargo, los estados entrelazados existen, y se comportan como la teoría predice (por incomprensible y contraintuitiva que nos pueda parecer), siendo la base de las nuevas tecnologías cuánticas. Aspect, Clauser y Zeilinger recibieron el premio Nobel en 2022 por su trabajo sobre estos estados entrelazados.

El alumno A. Einstein

Uno de los bulos más extendidos sobre Einstein es que fue un mal estudiante.

Se ha escrito muy a menudo, y es generalmente aceptado que Einstein fue un mal estudiante y que tenía problemas con las matemáticas en el instituto. No es verdad: sus biógrafos atestiguan que sacaba muy buenas notas en matemáticas y física. Sí es cierto que era un alumno rebelde, que se resistía a un aprendizaje basado en la memoria. Tal vez por eso se le atragantaron a veces ciertos temas, como la historia y los idiomas. De hecho, suspendió el examen de ingreso en el politécnico de Zurich (ETH), en 1895, por una nota mediocre en la prueba de francés.

Los idiomas nunca fueron lo suyo. Aunque era evidentemente capaz de dar sus charlas en francés (como hizo en Zaragoza) y utilizar el inglés (vivió en Princeton desde 1933), sólo se sentía cómodo en alemán, al menos para expresar ideas científicas elaboradas. Él mismo se refiere a su "deficiente francés" durante su estancia en España.

1905: Annus Mirabilis

Al terminar la carrera en el ETH, Einstein no consiguió una posición académica que le permitiera dedicarse a la investigación científica como era su deseo. Finalmente aceptó un puesto en la oficina de patentes de Berna. Era un trabajo algo aburrido, pero que le obligaba a pen-

sar en los fundamentos científicos de los inventos que debía valorar y le dejaba tiempo para poner en orden y desarrollar sus ideas. En 1905, con 26 años, preparó su tesis doctoral y publicó una serie de trabajos revolucionarios: es su "año milagroso".

Einstein revoluciona la Física de arriba a abajo con la publicación de esos cuatro artículos fundamentales en 1905. Con ellos, Einstein contribuye a la ciencia y la tecnología del S. XX como nadie más lo ha hecho. Sus contribuciones de 1905, en particular, sobre el efecto fotoeléctrico, el movimiento Browniano y el tamaño de los átomos, y la Relatividad Especial, tienen implicaciones en (casi) todas las áreas de la ciencia.

Mileva Marić

Algunos autores afirman que la primera mujer de Einstein, Mileva Marić, pudo ayudarle en su trabajo sobre Relatividad Especial. Mileva estudió física en el ETH y en la misma clase que Einstein, y pasó un curso en Heidelberg estudiando matemáticas. Su carrera académica, sin embargo, se truncó muy pronto, al quedarse embarazada de la primera hija de ambos, Lieserl, que murió o fue dada en adopción (no está claro) siendo muy pequeña. Tuvieron dos hijos más, pero se separaron en 1914 y se divorciaron en 1919.

¿Contribuyó Mileva Marić al desarrollo de la Relatividad Especial? No está documentado cuál pudo ser su pa-

“Uno de los bulos más extendidos sobre Einstein es que fue un mal estudiante.”

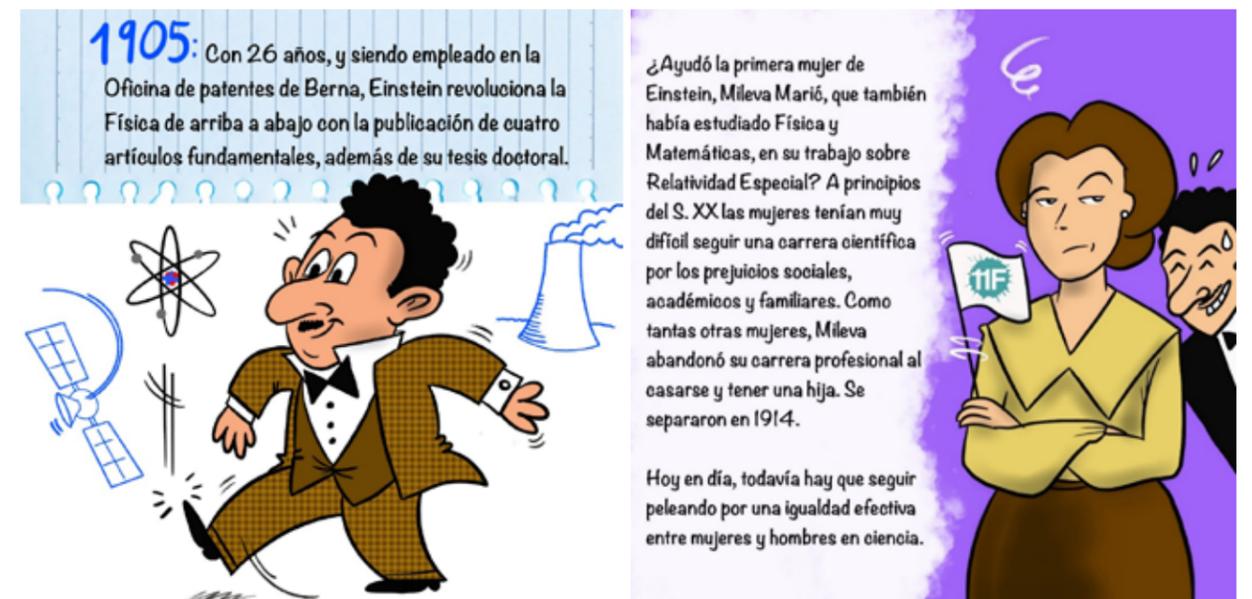
pel en los trabajos de su marido, y aunque ella no llegó a graduarse, estaba perfectamente capacitada para poder haber contribuido a los mismos. Probablemente nunca obtendremos con certeza una respuesta.

A principios del siglo XX las mujeres tenían muy difícil seguir una carrera científica debido a prejuicios sociales, académicos y familiares. Hoy en día todavía hay mucho por hacer para alcanzar una igualdad efectiva entre mujeres y hombres en ciencia.

Una violencia indómita

En marzo de 1923, solo habían transcurrido 5 años tras el final de la 1ª Guerra Mundial, y Europa pasaba por un momento de gran inestabilidad política y social.

“Einstein expresó siempre una gran consideración por sus colegas y, en particular, por algunas de las mejores científicas del siglo XX.”





Unos meses antes de la visita de Einstein a España, Mussolini, líder del Partido Nacional Fascista, recibió el encargo del rey de Italia de formar Gobierno, saltándose la vía parlamentaria. Casi al mismo tiempo, y tras cinco años de guerra que siguieron a la revolución de 1917, Rusia, Ucrania, y Bielorrusia crean la Unión Soviética. Unos meses después, Hitler intentó hacerse con el poder en Alemania en el fallido "Putsch de Múnich". Aunque acabó en la cárcel, solo cumplió uno de los cinco años de condena, y aprovechó para escribir "Mi lucha". En España, Primo de Rivera dio un golpe contra la Constitución de 1876 con el visto bueno de Alfonso XIII, en septiembre de 1923, y su dictadura duró hasta 1930. Incluso el Ayuntamiento de Zaragoza vivía tiempos muy revueltos: de 1920 a 1925 se suceden ocho alcaldes, alguno de ellos nombrado por sorteo al no llegarse a un acuerdo suficiente entre los ediles zaragozanos.

En 1922, grupos racistas violentos campaban a sus anchas en Alemania. Einstein, catedrático en Berlín, ya era una celebridad internacional. Sin embargo, su trabajo es atacado como "ciencia judía", y recibe muy serias amenazas de muerte. Tuvo que renunciar a varios compromisos y conferencias, así como a representar a la ciencia alemana ante la Sociedad de Naciones.

Pacifista...

Einstein estuvo involucrado en el movimiento por la paz desde antes de la 1ª Guerra Mundial. En tiempos convulsos, ya antes de la Gran Guerra, se opuso al nacionalismo, al militarismo, al racismo, y al uso de la violencia, pero estaba en clara minoría. Cuando comenzó la guerra, más de cien miembros de la élite cultural alemana firmaron un manifiesto público en apoyo del nacionalismo y el patriotismo alemanes.

Como respuesta, Einstein intentó publicar junto a otros pocos académicos un contramanifiesto denunciando la guerra, pero ninguno de los periódicos alemanes publicó ese texto considerado "antipatriótico". Sus textos hablan por sí solos. Valgan dos ejemplos:

"El nacionalismo es una enfermedad infantil, el sarampión de la humanidad."

"Debemos comenzar a inculcar a nuestros hijos contra el militarismo educándolos en el espíritu del pacifismo. Nuestros libros de texto glorifican la guerra y ocultan el horror. Enseñemos la paz en lugar de la guerra."

... Pero no un pacifista absoluto

Como tantos científicos judíos, Einstein emigra a los Estados Unidos huyendo del nazismo, estableciéndose definitivamente en Princeton en 1933.

En 1942, su colaborador húngaro Laszlo Szilard, judío y refugiado en América como él, le convence para que firme una carta al Presidente Roosevelt advirtiéndole de que los Estados Unidos deberían ponerse a trabajar inmediatamente en fabricar una bomba atómica antes de que los nazis consigan tenerla. Ante la amenaza que representa un ejército nazi con poderío nuclear, Einstein acaba por renunciar a sus principios antimilitaristas y firma la carta, poniendo la semilla de lo que acabó siendo el Proyecto Manhattan, en el que sin embargo no participó directamente. Más tarde, llegó a arrepentirse de haber dado incluso ese paso. En una entrevista con la revista Newsweek en 1947, dijo:

"Si hubiera sabido que los alemanes no lograrían desarrollar una bomba atómica, no habría hecho nada".

En 1923 viaja a España. Cuando el tren que le lleva de Madrid a Barcelona se detiene media hora en Zaragoza, una delegación de la Academia de Ciencias y de la Universidad le invita a pasar un par de días en la capital de Aragón a su vuelta de Madrid.



EINSTEIN EN ZARAGOZA

Invitación ferroviaria

Einstein viene a España entre febrero y marzo de 1923, en principio para visitar Barcelona y Madrid, como parte final de un viaje de seis meses que le llevó desde Francia a Hong-Kong, Shanghai, Japón y Palestina. Durante este viaje le fue comunicada la concesión del premio Nobel de Física de 1921.

El Institut d'Estudis Catalans, la Junta para Ampliación de Estudios y la Universidad de Madrid habían invitado a Einstein a España. Escribieron las cartas de invitación figuras de la talla de Julio Rey Pastor y Esteban Terradas. El propio Santiago Ramón y Cajal le escribió personalmente reiterando las invitaciones institucionales.

El día 1 de marzo, cuando el tren que le llevaba desde Barcelona a Madrid se detiene media hora en la estación de Campo Sepulcro (luego "El Portillo"), una delegación de la Academia de Ciencias y de la Universidad de Zaragoza le aborda en el tren, invitándole a pasar un par de días en Zaragoza a su vuelta de Madrid. La delegación estaba formada, entre otros, por el catedrático de física Jerónimo Vecino y por Casimiro Lana, químico de Sariñena y amigo de Einstein desde tiempo atrás.

Einstein mandó un telegrama desde Madrid confirmando su llegada a Zaragoza en el rápido del día 12 de marzo.



Las dos conferencias de Einstein y la pizarra perdida

El 12 de marzo de 1923 Einstein llega a Zaragoza con Elsa, su segunda esposa. Einstein dio esa misma tarde su primera conferencia pública en el Paraninfo sobre Relatividad Especial y la segunda en la tarde del día 13 sobre Relatividad General. A ellas asistió mucha gente, no solo los universitarios de ciencias, sino también muchos ciudadanos curiosos: Einstein era ya una celebridad mundial, con un premio Nobel recién concedido. El Rector de la Universidad de Zaragoza, Royo Villanova, pidió que la pizarra utilizada por Einstein en sus charlas se guardase como recuerdo de la ocasión, pero no hay ningún registro acerca de dónde pudo ser guardada, ni dónde podría estar en la actualidad. El Rector se temía que el público intentaría salir de la sala una vez que viesan que la charla sería impartida en francés y que el tema no era precisamente fácil de entender. Para evitarlo, ordenó cerrar las puertas de la Sala Paraninfo en cuanto empezó la conferencia.

Otra curiosidad: Einstein tenía que enviar a Estocolmo una foto oficial a la Fundación Nobel, como todos los premiados. El cónsul alemán en Zaragoza, Gustavo Freudenthal, era fotógrafo profesional... así que la foto oficial como premiado Nobel de Einstein está hecha en Zaragoza (en el Art-Studio Freudenthal, C/Coso 31 de Zaragoza).



“La foto oficial como premiado Nobel de Einstein está hecha en Zaragoza.”

Cumpleaños feliz

El día 13 de marzo se celebra en su honor una comida en el Centro Mercantil (o como se le ha llamado siempre en Zaragoza, el “casino mercantil”, en Coso 29). La Academia de Ciencias y la Universidad de Zaragoza agasajan así al sabio visitante. Asistieron todas las autoridades de la Ciudad (el alcalde, el gobernador, el cónsul alemán...) y de la Universidad (el rector y los vicerrectores, decanos, los profesores de Ciencias...).

Como el día siguiente Einstein cumpliría 44 años, invitó a champán a todos los asistentes, brindando por el alma española, que pudo percibir en Zaragoza. En sus propias palabras:

“Hasta el momento presente, sólo he percibido el latir del alma española en Zaragoza. En Barcelona y Madrid experimenté el encanto de vuestro arte, que expresa la personalidad española, pero ha sido en Zaragoza donde he encontrado una expresión robusta y elocuente de vuestra fisonomía regional”.

La ciencia en la Zaragoza de los años 20

Einstein no acepta visitar Zaragoza por casualidad. En aquella época, al comienzo de la edad de plata de la ciencia española, trabajaban en Zaragoza importantes científicos.

Reconocidos químicos como Antonio de Gregorio Rocasolano y Paulino Savirón, que continuaban la estela del fundador Bruno Solano, físicos como Jerónimo Vecino, o matemáticos como Zoel García de Galdeano daban clase e investigaban en la Facultad de Ciencias de Zaragoza. Figuras de la talla de Santiago Ramón y Cajal, Julio Rey Pastor o Miguel Catalán fueron alumnos de la Universidad de Zaragoza.

El día 14 de marzo Einstein visitó el Laboratorio de Investigaciones Biológicas, en el que gracias a un moderno “ultramicroscopio”, Rocasolano estudiaba la dinámi-



ca de coloides biológicos siguiendo el trabajo teórico de Einstein sobre movimiento Browniano. Rocasolano colaboraba con científicos de talla internacional, como Richard Zsigmondy, que recibió el premio Nobel de Química en 1925 por su trabajo en coloides. El laboratorio de Rocasolano visitado por Einstein estaba en el edificio de las Facultades de Medicina y Ciencias, que hoy es el Paraninfo de la Universidad de Zaragoza.

Y allá va la despedida

El día de su cumpleaños, 14 de marzo, y tras la visita al laboratorio de Rocasolano en la Facultad de Ciencias, Einstein visita el “Instituto General y Técnico”, anexo al antiguo edificio de la Universidad, en el barrio de la Magdalena. Era entonces el único instituto de educación secundaria en Zaragoza.

Antes de irse hacia la estación para coger un tren a Barcelona, los Einstein comieron en su hotel, el “Universo y Cuatro Naciones”, en la calle Don Jaime nº52, hoy desaparecido.

Como despedida, la Academia de Ciencias de Zaragoza le mandó una rondalla de jotas al hotel... y a Einstein le encantaron: al parecer, le gustaron tanto que se emocionó y besó a la jotera.

Einstein fue toda su vida un enamorado de la música, pasión heredada de su madre. Tocaba muy bien el violín desde niño, y también el piano. En Zaragoza tocó el violín en una recepción en el consulado alemán, acompañado al piano por la zaragozana Trinidad Castillo. También asistió a una zarzuela en el Teatro Principal.



EL LEGADO CIENTÍFICO

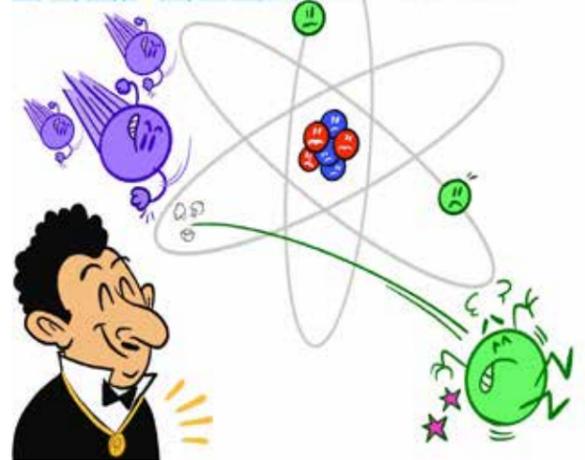
El efecto fotoeléctrico

En el primero de sus artículos de 1905, Einstein explicó el efecto fotoeléctrico. Por este trabajo se le concedió el Premio Nobel de Física de 1921, aunque con cierto retraso, en 1922.

La luz ultravioleta arranca electrones de los metales, incluso a muy baja intensidad. Sin embargo, la infrarroja no lo hace, por mucha intensidad de luz que apliquemos. Esto no lo podía explicar la teoría ondulatoria de la luz.

Einstein propone que la luz está compuesta por paquetes de energía a los que llama "cuantos de luz". La energía de cada paquete depende de su frecuencia (es decir, de su color) y no de la intensidad del haz, que sería una medida de la cantidad total de cuantos. Einstein recupera así el concepto de "cuanto" que Planck propuso en 1900 para explicar la emisión y absorción de luz en el espectro de cuerpo negro y les proporciona entidad propia. Para Einstein, no solo el intercambio de energía electromagnética ocurre en forma de paquetes o cuantos, como propuso Planck, sino que la luz misma son paquetes de energía, los "cuantos de luz" a los que ahora llamamos "fotones".

En el primero de sus artículos de 1905, Einstein explica el efecto fotoeléctrico, que hasta entonces... ¡no había manera de entenderlo! Por este trabajo, en el que Einstein demuestra que la luz está formada por partículas, se le concedió el Premio Nobel de Física en 1922.



El movimiento Browniano

Si observamos un fluido o un gas, todas las partículas inmersas en él (polvo, polen...) muestran un movimiento continuo y al azar, que fue descubierto por R. Brown en 1827. Einstein analizó de forma teórica este movimiento Browniano utilizando la mecánica estadística en dos publicaciones de 1905 (un artículo y su tesis doctoral). Las conclusiones del trabajo de Einstein permiten relacionar magnitudes experimentales (velocidad de las partículas, viscosidad y densidad del líquido) con los tamaños de los átomos o moléculas que constituyen el líquido.

Como resultado de este trabajo, Einstein ofrece una vía para determinar el tamaño de átomos y moléculas, y para calcular cuántos hay en un volumen de fluido (el famoso número de Avogadro). El experimento debía medir la velocidad de las partículas (con un microscopio), así como la viscosidad y la densidad del líquido. Se puede considerar que su trabajo permitió demostrar experimentalmente la existencia de los átomos y las moléculas, que aún era motivo de debate en 1905.

El francés Jean Perrin demostró que Einstein estaba en lo cierto, puesto que el número de Avogadro determinado con su método coincidía con el obtenido mediante métodos químicos, convenciendo por fin a todo el mundo de que los átomos son una realidad.

La Relatividad Especial

Tanto toda la evidencia experimental, como las leyes de Maxwell del electromagnetismo, indicaban a comienzos del siglo XX que la velocidad de la luz es constante. Einstein actualiza, bajo la premisa de la constancia de la velocidad de la luz, el principio de relatividad de Galileo: un experimento realizado en un sistema de referencia inercial tendrá idéntico resultado en cualquier otro sistema inercial. La rompedora teoría que Einstein propone se denominó la Relatividad Especial, y fue publicada en uno de sus famosos artículos de 1905. No debe confundirse con la Relatividad General, formulada por Einstein en 1915-1916.

La Relatividad Especial tiene consecuencias en fuerte desacuerdo con el sentido común como la dilatación del tiempo y la contracción del espacio para un observador en movimiento, así como la desaparición del concepto de simultaneidad para diferentes observadores. Dos relojes en movimiento relativo medirán el tiempo de forma diferente, y el efecto será más importante cuando la velocidad relativa de los relojes se acerque a la de la luz.

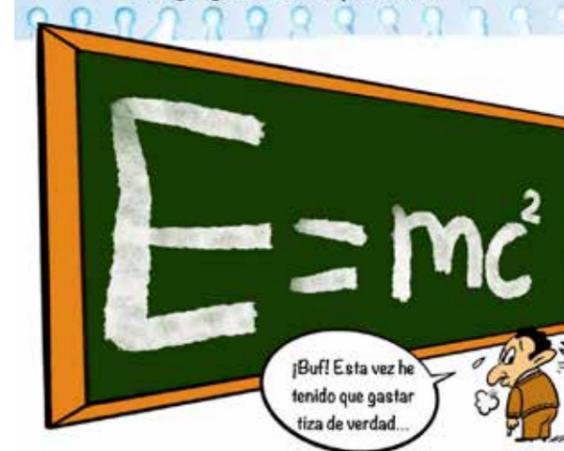
En otro artículo y en su tesis doctoral, Einstein analiza el "movimiento Browniano", que es la agitación al azar del polvo, el polen, cualquier partícula inmersa en un líquido o en un gas. Gracias a las fórmulas de Einstein, la existencia de los átomos y las moléculas se pudo demostrar con experimentos. Por ello, el francés Jean Perrin ganó el premio Nobel de 1926.



Las leyes del electromagnetismo indican que la velocidad de la luz es constante... ¡siempre! ¿Qué pasa si nos lo creemos? Lo que pasa se llama Relatividad Especial y cambia para siempre nuestro concepto del espacio y del tiempo.



En el último papel de su 'año milagroso' deduce su famosa ecuación $E=mc^2$ que determina que energía y masa son equivalentes.



La fórmula más famosa de la ciencia: $E=mc^2$

Einstein derivó la fórmula $E=mc^2$ en 1905, como una consecuencia de su teoría de la Relatividad Especial. La ecuación establece la equivalencia entre masa y energía: la energía de un sistema es igual a su masa por la velocidad de la luz al cuadrado. Como la velocidad de la luz es un número muy grande, hasta en cantidades nimias de masa hay muchísima energía almacenada. Y análogamente, la energía también puede convertirse en masa: una densidad de energía suficientemente alta hace que aparezcan partículas con masa a partir de pura energía (cumpliendo ciertas reglas en las que no vamos a entrar aquí), como se observa continuamente en los aceleradores de partículas.

En realidad, la interpretación de la ecuación es un poco más complicada, ya que esa "m" no es la masa en reposo que habitualmente utilizamos, pero es la forma más famosa, por ser más simple. La forma completa es:

$$E = \sqrt{(m_0 c^2)^2 + (pc)^2}$$

y se aplica incluso a partículas sin masa ($m_0=0$) como los fotones. Si la cantidad de movimiento "p" es muy pequeña o nula, la masa m se puede aproximar por la masa en reposo, m_0 , mientras que las partículas sin masa solo tienen la energía que se asocia a su movimiento, $E=pc$.

“Einstein derivó la fórmula $E=mc^2$ en 1905, como una consecuencia de su teoría de la Relatividad Especial.”

La Relatividad General

La Relatividad General es la gran obra de Einstein. En ella la gravedad deja de ser una interacción que no sabemos de dónde surge y que actúa a distancia entre dos masas cualesquiera, como ocurría en la teoría de Newton.

La Relatividad General se construye a partir del denominado "Principio de equivalencia". Si la masa gravitatoria y la masa inercial son la misma propiedad, cualquier sistema de referencia no inercial (es decir, acelerado) es indistinguible de un sistema en un campo gravitatorio.

Aunque surge "simplemente" como una extensión de la teoría de la Relatividad Especial, la teoría tiene muchas más implicaciones y requirió para su desarrollo de herramientas matemáticas mucho más complejas. La gravedad en Relatividad General es un efecto de la curvatura del espacio-tiempo, producida por la presencia de masa: La masa le dice al espacio-tiempo cómo curvarse, y el espacio-tiempo les dice a las masas cómo moverse.

Las predicciones de la Relatividad General han sido comprobadas repetidamente en numerosos experimentos y observaciones astronómicas.



El eclipse de 1919

La Relatividad General predice, entre otras muchas cosas, que la trayectoria de un rayo de luz se curva al pasar cerca de un objeto muy masivo, como el sol. El astrónomo inglés A. S. Eddington promovió dos expediciones, a isla Príncipe y a Brasil, para observar la posición de las estrellas que estarían en la trayectoria del sol en el cielo durante el eclipse total de mayo de 1919.

La posición "aparente" de dichas estrellas durante el eclipse debería diferir un poquito de su posición "normal". Es como un ligero "espejismo" debido a la curvatura del espacio-tiempo causada por la tremenda masa del sol. En un día normal, el brillo del sol no nos deja ver las estrellas y no podemos observar este efecto, pero durante un eclipse total, la luna nos tapa al sol por entero, así que la coincidencia de tamaños aparentes de la luna y el sol desde la tierra permite la comprobación de la Relatividad General... ¡un poco de chiripa!

Las observaciones de Eddington confirmaron la predicción de Einstein, y supusieron la aceptación de la Relatividad General. La noticia de la comprobación experimental fue dada a conocer por los periódicos en primera plana: Einstein se convirtió inmediatamente en una celebridad mundial.



“Einstein mantuvo acaloradas discusiones con los más grandes científicos del siglo XX, en particular con su amigo Niels Bohr.”

Las ondas gravitacionales

Cien años después de la publicación de la teoría de la Relatividad General, se pudo confirmar la existencia de las ondas gravitacionales. El 14 de septiembre de 2015, la colaboración LIGO detectó de forma simultánea en sus dos detectores, que están separados por 3.800 km, en Hanford (Washington) y en Livingston (Luisiana), una señal que coincidía con lo predicho en el marco de la Relatividad General para el proceso de colapso gravitatorio de un par de agujeros negros que, tras orbitar mutuamente en espiral, acaban formando un único agujero negro. En el colapso se libera gran cantidad de energía, mucha de la cual se emite en forma de ondas gravitacionales.



Esta señal fue también la primera detección directa de un agujero negro, un objeto que en sí mismo es también una predicción de la Relatividad General: una región del espacio-tiempo tan densa que nada, ni siquiera la luz, puede escapar a su atracción gravitatoria.

Con esta detección se inauguró una nueva astronomía que utiliza ondas gravitacionales y que completa una astronomía más convencional que observa el Universo con los ojos de la radiación electromagnética (luz visible, infrarroja, rayos X, ondas de radio...). Otras partículas como neutrinos o rayos cósmicos proporcionan también información del Universo, habiéndose iniciado así una Astronomía Multimensajero.

Dios no juega a los dados

Einstein mantuvo acaloradas discusiones con los más grandes científicos del siglo XX, en particular con su amigo Niels Bohr, sobre la interpretación de la física cuántica formulada en 1925. Bohr lideraba la interpretación "ortodoxa" de la física cuántica, mientras que Einstein no podía admitir que la Naturaleza tuviese un carácter intrínsecamente probabilístico: si la física cuántica sólo ofrecía una descripción así, tenía que ser una teoría incompleta. Bohr y sus colegas respondieron siempre de modo satisfactorio a las pegas que Einstein encontraba en la teoría, en ocasiones gracias a efectos relativistas, lo que no deja de ser irónico. El clímax

del debate fueron dos artículos publicados en 1935 en *Physical Review*, ambos titulados “¿Puede considerarse completa la descripción mecanocuántica de la realidad?”, uno de Einstein, Podolsky y Rosen (EPR), y el otro de Bohr. El artículo de EPR es hoy en día el artículo más citado de Albert Einstein, con más de 10.000 citas, casi todas en el siglo XXI. En él se proponen es-

tados entrelazados como ejemplo de la imposibilidad de que la mecánica cuántica sea una teoría completa. Einstein estaba equivocado en lo filosófico, pero estos estados, cuya existencia se ha verificado experimentalmente, son la base del desarrollo de las actuales, y probablemente futuras, tecnologías cuánticas. De nuevo, Einstein nos muestra su genio incluso al equivocarse.



Conjunto escultórico que conmemora los 100 años de la visita de Einstein a la ciudad de Zaragoza (Recinto Expo, Zaragoza).

wikipedia

Fernando Bartolomé
Consejería de Educación en Reino Unido e Irlanda

M^a Luisa Sarsa
Centro de Astropartículas y Física de Altas Energías
Dpto. de Física Teórica
Universidad de Zaragoza

Ilustraciones: Dani García-Nieto
IES Miguel de Molinos
Zaragoza

PARA SABER MÁS SOBRE...

- Relatividad Especial:
https://www.youtube.com/watch?v=-E_WOXNf_VI&t=0s
<https://www.youtube.com/watch?v=HVbWtwQLHKK>
- Relatividad General:
<https://www.youtube.com/watch?v=VTPZFXzUqZg>
- Ondas Gravitacionales:
<https://www.youtube.com/watch?v=0fHkEoINWFc>
<https://www.youtube.com/watch?v=X7RJHxeCuY>
- Estados entrelazados:
<https://www.bbc.com/mundo/noticias-52905149>
<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2022/summary/>
https://www.youtube.com/watch?v=xM_klvOK4f4
- Emmy Noether:
<https://mujeresconciencia.com/2015/03/23/emmy-noether-matematica/>
<https://www.youtube.com/watch?v=tNNyAyMRsgE>
- Marie Curie:
<https://mujeresconciencia.com/2015/09/14/el-ar-duo-camino-al-nobel-de-marie-curie/>
- Lise Meitner:
<https://mujeresconciencia.com/2015/03/04/lise-meitner-la-cientifica-que-descubrio-la-fision-nuclear/>
- Algunos errores de Einstein:
<https://www.youtube.com/watch?v=C2J6RvykSDI>
- Totalitarismos y la violencia en el S XX:
https://www.youtube.com/watch?v=iYCK_IK40Qw

BIBLIOGRAFÍA

- Abraham Pais - *Subtle is the Lord: Science and Life of Albert Einstein*, Oxford University Press, U.S.A. 2005. La primera edición es de 1982.
- Walter Isaacson - *Einstein: Su vida y su universo*, Ed. Debate 2016.
- Javier Turrión Berges - *Einstein en Zaragoza*. 12, 13 y 14 de marzo de 1923, Cinca Monterde Editor, 2022.
- Javier Turrión Berges - *Einstein*. Vestigios, Cinca Monterde Editor, 2022.
- Javier Turrión Berges - *Einstein*. Itinerancias, Cinca Monterde Editor, 2022.
- Samuel Graydon - *Einstein in Time and Space: A life in 99 particles*, 2023.
- Alice Calaprice - *Dear Professor Einstein: Albert Einstein's Letters to and from Children*, Ed. Prometheus, 2010.
- Thomas F. Glick - *Einstein y los españoles: Ciencia y sociedad en la España de entreguerras*, Ed. CSIC 2005.

AGRADECIMIENTOS

El proyecto “Einstein, 50 horas en Zaragoza” fue una iniciativa de la Unidad de Cultura Científica de la Universidad de Zaragoza, financiado por la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT) del Ministerio de Ciencia e Innovación en la convocatoria 2021 de las *Ayudas para el fomento de la cultura científica, tecnológica y de la innovación* (Proyecto FCT-21-16704).

El proyecto contó además con el apoyo del Ayuntamiento de Zaragoza, el Gobierno de Aragón, la Caja Rural de Aragón, el Centro de Astropartículas y Física de Altas Energías, de la Universidad de Zaragoza (CAPA), el Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón, del CSIC y la Universidad de Zaragoza (INMA) y la Real Sociedad Española de Física.