

14 miradas sobre ALBERT EINSTEIN



mi+d

El Sistema madri+d se suma a los actos del Año Mundial de la Física 2005 dedicando íntegramente su boletín de noticias a la figura de Albert Einstein.

Se cumplen ahora 100 años del centenario de la publicación en la revista alemana *Annalen der Physik* de una serie de artículos firmados por Albert Einstein que revolucionaron la física del momento y que han cambiado profundamente nuestra vida actual. Para conmemorar este acontecimiento, el año 2005 fue declarado por la UNESCO como *Año Mundial de la Física*.

Un siglo después, las disciplinas científicas han dejado de ser departamentos estancos e independientes. Más que nunca se producen intercambios entre los distintos campos del saber. La pluridisciplinaridad está en la base de la ciencia del siglo XXI y la física no está al margen de este movimiento. La física forma parte hoy de disciplinas como la biofísica, las comunicaciones, el patrimonio o la nanotecnología. Se ha convertido en una herramienta clave para comprender conceptos como el de sostenibilidad y está presente en la mayoría de los "objetos" cotidianos que nos facilitan la vida y es clave para entender nuestro lugar en el mundo.

El **Sistema madri+d** se suma a esta conmemoración publicando hoy un especial Notiweb dedicado a la figura de Albert Einstein. Para ello ha contado con la colaboración de 14 especialistas en campos muchos de ellos "extraños" a la física y tan diversos como la lingüística, la filosofía, la ingeniería, la economía, la geología e incluso la poesía.

El resultado son 14 maneras de acercarse a la figura de Einstein. Fragmentos que dan cuenta de la riqueza y complejidad de un personaje, que 50 años después de su muerte, sigue siendo un icono incontestable de la ciencia. Pero, más allá de sus aportaciones a la gran física del siglo XX, la figura de Einstein da cuenta también del complejo proceso de la ciencia, de las inevitables situaciones de incertidumbre y negociación, de las dudas y contradicciones de las personas implicadas, de la importancia de los contextos y los lugares de su desarrollo.

Coordinadores

Alfonso González Hermoso de Mendoza
Carlos Magro Mazo

sumario

EINSTEIN Y LA REVOLUCIÓN EN CIENCIAS DE LA TIERRA Francisco Anguita	3
INFLUENCIA DE EINSTEIN EN LA TECNOLOGÍA Antonio Barrero	5
EL FÍSICO QUE APRECIABA LA METAFÍSICA Fernando Broncano	7
LA CONTRIBUCIÓN DE ALBERT EINSTEIN DESDE LA PERSPECTIVA DE LA ECONOMÍA Y DE LA EMPRESA Eduardo Bueno	9
NO QUEDA NADA REALMENTE NUEVO EN TELECOMUNICACIONES, SEÑOR EINSTEIN José Ramón Casar	12
EL LEGADO CIENTÍFICO DE EINSTEIN Alberto Galindo	15
ECOS POÉTICOS DE LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD <small>(A propósito de García Lorca)</small> Miguel García Posada	17
¿PENSAMIENTO SIN IDIOMA? EINSTEIN DESDE LA LINGÜÍSTICA Francisco A. Marcos-Marín	19
LA EDUCACIÓN SEGÚN ALBERT EINSTEIN Antonio Moreno	21
EINSTEIN ANTE LA SOCIEDAD Emilio Muñoz	23
NANOCIENCIAS Y NANOTECNOLOGÍAS Juan Rojo	25
ALBERT EINSTEIN: A PHYSICIST FOR THE TWENTYFIRST CENTURY Carlo Rubbia	27
ALBERT EINSTEIN: UN FÍSICO PARA EL SIGLO XXI Carlo Rubbia	30
EINSTEIN Y LA CREATIVIDAD Francisco José Rubia	32
EL BRICOLAGE DE LA RELATIVIDAD Peter Galison. Relojes de Einstein, mapas de Poincaré. Los imperios del tiempo. Reseña: Antonio Lafuente. Centro de Estudios Históricos. Consejo Superior de Investigaciones Científicas	34

EINSTEIN Y LA REVOLUCIÓN EN CIENCIAS DE LA TIERRA

*Por muy amplia que sea la cultura científica
de un investigador, los campos de la Ciencia
no son ilimitados*



Francisco Anguita

*Profesor Titular de Paleontología de la Facultad de Ciencias Geológicas
de la Universidad Complutense de Madrid*

Debía de correr el año 1964. Tras completar con no pocos apuros el Curso Selectivo, por entonces la puerta obligatoria de acceso a las carreras de Ciencias, yo acababa de aterrizar en Geológicas de la Complutense. Pero aunque el Selectivo estaba diseñado para orientar vocaciones, recuerdo que la mía era una especie de nebulosa, en la que los rechazos habían pesado más que cualquier atracción. En suma, era el prototipo de universitario despistado.

Sin embargo, entusiasmo no me faltaba. Entre los proyectos que me forjé estaba ni más ni menos que el de leerme todos los libros de la biblioteca de la Facultad. Ésta ocupaba un pequeño local con unos 30 asientos, gestionado con autoridad por un paternal conserje que incluso nos orientaba sobre las lecturas más eficaces para mejor lidiar con las manías de los profesores. Pero sobre todo, la biblioteca era una selva llena de misterios científicos. El libre acceso era un sistema entonces desconocido en la Universidad española, de forma que teníamos que conformarnos con mirar los lomos de los libros a través de los cristales de las vitrinas.

No puedo decir por qué comencé mi titánica tarea por el Hapgood. Su lomo, de un verde descolorido, no me parece ahora especialmente atractivo. Su título, en cambio (“La corteza terrestre se desplaza”, 1958), tenía gancho. Me apresuro a aclarar que por aquella época yo no tenía la menor idea de quién había sido Alfred Wegener, y muchísimo menos de que sus ideas básicas estaban a punto de triunfar en lo que sería el momento cumbre de la historia de la Geología. Pedí el libro con la curiosidad de quien llega a un país desconocido.

En seguida descubrí que Charles H. Hapgood, un oscuro profesor de una escuela de Magisterio del Medio Oeste americano, tenía un as en la manga: el libro estaba prologado ni más ni menos que por Albert Einstein. También se reproducían, además, dos cartas del físico alemán, que respondían a otras del autor pidiéndole orientación (e, indirectamente, apoyo) para sus ideas. Como teórico aspirante a científico, el nombre del sabio de Ulm me deslumbró. Pensé: si Einstein está de acuerdo, esto no puede ser erróneo. No se me ocurrió (no podía ocurrírseme entonces) que por muy amplia que sea la cultura científica de un investigador, los campos de la Ciencia no son ilimitados, sino que están parcelados por espinosas barreras cuya trasposición nos deja inermes, faltos de las claves que nos permiten caminar seguros por nuestra propia especialidad.

Así que me leí de pe a pa las ideas de Hapgood. Que, en resumen, venían a decir que los casquetes de hielo, al no estar perfectamente centrados respecto al eje de rotación, producían una fuerza centrífuga que terminaba por desplazar toda la corteza terrestre (así, en una pieza) respecto al inte-



rior del planeta. La principal virtud de esta teoría era la explicación de parte de las anomalías paleoclimáticas; su más gigantesco escollo, la casi evidente impotencia de la fuerza aducida para explicar la magnitud del efecto propuesto. Vista con la perspectiva actual, esta obra se puede inscribir en los movimientos inquietos que se producen poco antes de un cambio de paradigma: nuevos datos empiezan a chirriar, hasta que su acumulación desemboca en una revolución científica. Pero para que ésta se produzca es necesario que algunos tipos listos sepan buscar una nueva armonía entre los crecientes chirridos, y a Charles Hapgood le faltaban muchos instrumentos.

¿Cuál había sido la actitud de Einstein ante las ideas de éste? Excepcionalmente buena, según declaraba en el preámbulo, donde decía haberse entusiasmado ante la primera carta del geólogo. Calificaba la teoría de original e importante, y agradecía que estuviese expuesta con sencillez. Continuaba con una glosa de sus puntos esenciales, que partían de las evidentes anomalías paleoclimáticas y se centraban en la propuesta de los desplazamientos centrífugos de la corteza. Esta parte concluía con una frase contundente: “Creo que esta idea sorprendente, y aun fascinante, merece la seria atención de quienquiera que se interese en la teoría del desplazamiento de la Tierra”.

Pero quedaba una reserva. En el último párrafo, Einstein incluía “una observación que se me ha ocurrido mientras escribía estas líneas”, y que “podría comprobarse”: si toda la corteza terrestre se desplazaba movida por la simple *asimetría* de los casquetes de hielo respecto al eje de rotación, la distribución de las rocas de la corteza debería ser totalmente *simétrica* respecto al mismo, ya que en caso contrario produciría fuerzas centrífugas mucho mayores que el hielo. Con esta matización, el físico destruía prácticamente la teoría del geólogo, ya que basta con examinar un mapamundi para ver que tal simetría no existe. Por tanto, el apoyo de Einstein a la nueva idea era hasta cierto punto contradictorio, y ahora me hace preguntarme sobre las causas de que el sabio alemán no siguiese su prudente línea de conducta habitual (“sólo pocas veces las ideas que recibo tienen valor científico”). Es arriesgado caminar sobre terrenos desconocidos, pero probablemente en esta etapa final de su vida Einstein estaba fatigado de su largo y vano esfuerzo por encontrar una teoría que unificase la relatividad con las ideas cuánticas y era más propenso a distracciones colaterales.

Al cabo de 41 años, releo el Hapgood (que ya ha pasado al depósito de ejemplares antiguos de la moderna biblioteca de mi Facultad) con evidente nostalgia (mi proyecto de lectura total nunca pasó de este libro) y también con una simpatía algo triste por la suerte del autor. Si hubiese esperado tan solo cinco o seis años, hubiese tenido acceso a los datos que desembocaron en la nueva Geología Global. Entonces podría haber explicado, a partir de un proceso físico también relativamente simple (la convección térmica del interior terrestre) no sólo las anomalías paleoclimáticas, sino el conjunto de la geología del planeta: desde la historia de los continentes y los océanos hasta la evolución de la vida, pasando por la distribución de los recursos naturales. Algo no tan espectacular como las teorías relativistas, pero igualmente revolucionario.

A pesar de que esta explosión de Ciencia se estaba cocinando ya en mis tiempos de estudiante, yo no pude conocerla hasta años después de acabar mi Licenciatura: mis catedráticos no frecuentaban la biblioteca, y siguieron apegados al dogma de una Tierra inmóvil hasta más allá de lo razonable. Nunca les he perdonado que me hurtasen el momento más candente de la historia de las Ciencias de la Tierra, cuando en las facultades de Geología de todos los países avanzados se celebraban, sobre estas nuevas ideas, acalorados debates que alcanzaban tonos asamblearios de revolución política. ¿Qué habría pensado Albert Einstein de haber vivido esta época? No tengo ninguna duda de que se habría entusiasmado con la Nueva Geología. Porque, como dijo en una ocasión, si él llegó a realizar sus descubrimientos fue porque se atrevió a desafiar un axioma.



INFLUENCIA DE EINSTEIN EN LA TECNOLOGÍA

Los descubrimientos de la física habidos en las últimas décadas del siglo XIX y primeras del XX revolucionaron la investigación científica y el pensamiento filosófico



Antonio Barrero

Miembro de la Real Academia de Ingeniería

Catedrático de Mecánica de Fluidos de la Universidad de Sevilla

Los descubrimientos de la física habidos en las últimas décadas del siglo XIX y primeras del XX revolucionaron la investigación científica y el pensamiento filosófico. La electrodinámica clásica, formulada por Maxwell, con el resultado fundamental de la constancia de la velocidad de la luz en cualquier sistema de referencia inercial sirvió de soporte a Einstein para formular su teoría de la relatividad especial que estableció por vez primera la equivalencia entre masa y energía y amplió, de modo drástico, las ya anticuadas concepciones de Newton sobre espacio, tiempo y gravitación. Paralelamente, la hipótesis cuántica introducida por Planck para explicar la radiación del cuerpo negro sugirió a Einstein la explicación del efecto fotoeléctrico que junto a las contribuciones posteriores de Bohr y De Broglie dieron lugar a la formulación rigurosa de la mecánica cuántica debida a Heisenberg, Schrodinger y Dirac, lo que abrió nuestro intelecto a la comprensión del comportamiento de átomos y moléculas y convirtió el determinismo filosófico y científico en mera antigualla.

Menos conocido, sin duda, es el papel extraordinario que las ideas seminales de Einstein han jugado también en el desarrollo tecnológico y en las realizaciones prácticas de la ingeniería habidos posteriormente a lo largo del siglo XX, y que han dado lugar a una transformación profunda de la vida de los ciudadanos de los países desarrollados; lamentablemente, la socioeconomía política, más atravesada sin duda que las ciencias naturales y que la ingeniería, no ha sabido encontrar todavía el modo de difundir nuestra riqueza y bienestar a los habitantes de países y continentes menos desarrollados.

Es quizás poco conocido el interés de Einstein por los inventos prácticos, debido probablemente a sus antecedentes familiares y a su temprano trabajo en una oficina de patentes. Interés que le llevó a patentar un nuevo sistema de refrigeración en colaboración con Leo Szilard, famoso ingeniero, conocido por sus trabajos pioneros en física nuclear, por su participación en el proyecto Manhattan y por su fuerte oposición a la carrera nuclear durante los años de la postguerra. Fuera ya del terreno de lo anecdótico, es preciso destacar el hecho de que son muchas las ideas de Einstein que han encontrado un desarrollo espectacular en el campo de la ingeniería. Por ejemplo, la equivalencia entre la masa y la energía puso de manifiesto la posibilidad de obtener ésta última a partir de la fisión o fusión de núcleos atómicos, lo que ha dado lugar a grandes proyectos tecnológicos. Nefastos, sin duda, algunos de ellos, como las bombas atómicas y de hidrógeno que tantos sufrimientos humanos causaron en el pasado y la inestabilidad política y el peligro potencial que causan en el presente. Otros, como los reactores de fisión, diseñados para usos pacíficos en la mayoría de los casos, se utilizan como fuentes de energía. Desafortunadamente, los reactores de fisión presentan problemas de seguridad y de ges-



ción de residuos radiactivos que han dado lugar a una fuerte contestación social. Sin embargo, en el futuro, los nuevos reactores basados en la fisión del torio, con residuos de vida media activa mucho más corta que la de los de uranio y los futuros reactores de fusión constituirán sin duda una alternativa que permitirá la obtención de energía nuclear suficientemente limpia y segura. Como es sabido, las reacciones de fusión de núcleos de hidrógeno son las responsables de la liberación de energía en las estrellas, que como nuestro Sol hacen posible la vida en la Tierra

También en el campo de la tecnología electrónica y en el de las comunicaciones se reflejan las ideas seminales de Einstein. Así, su explicación del efecto fotoeléctrico en 1905 (un fenómeno reportado en 1839 por Becquerel), según la cual la luz está compuesta por fotones o cuantos de energía que mediante colisiones con los electrones de los átomos de una placa metálica pueden comunicarles una energía suficiente para arrancarlos de ésta. Mediante este efecto podemos regular hoy día la densidad de toner en las fotocopiadoras y controlar el tiempo de exposición de las cámaras fotográficas y videocámaras. Este efecto es también de aplicación directa en los fotomultiplicadores, o dispositivos capaces de amplificar señales luminosas sin los que las comunicaciones ópticas de larga distancia serían imposibles. Otra aplicación inmediata de gran relevancia práctica es la pila o célula fotovoltaica que permite convertir la energía de la radiación solar en energía eléctrica. Las células fotovoltaicas son en nuestros días un instrumento imprescindible para el suministro de energía de satélites que orbitan alrededor de la Tierra para usos de investigación y comunicaciones. Naturalmente, las células fotovoltaicas son la base de la energía solar sobre la que descansan fundadas esperanzas de que este tipo de energía se constituya en el futuro en una fuente de energía limpia, una vez que se logre mejorar sustancialmente los rendimientos de las células y disminuir los costes de las mismas. Años más tarde de la explicación del efecto fotoeléctrico Einstein volvió a considerar el problema de la interacción luz-materia, para conjeturar que el salto de un electrón entre orbitales atómicos de mayor o menor energía venía acompañado de absorción o emisión de cuantos de luz. Aplicando esta teoría y mediante consideraciones estadísticas, Einstein fue capaz de proporcionar una derivación alternativa de la ley de Planck y al mismo tiempo poner de manifiesto la existencia del fenómeno de emisión estimulada que subyace tras el funcionamiento del laser (la incapacidad para explicar dicho fenómeno por parte de las formulaciones de la mecánica cuántica de Heisenberg y Schrodinger fue, probablemente, una de las razones que condujeron a Dirac a formular su teoría cuántica de la radiación y al advenimiento de la electrodinámica cuántica). Hoy día los láseres son herramienta común en la industria, en las comunicaciones y en la bioingeniería. Entre estas últimas cabe citar el uso del láser en la cirugía de la retina, en la corrección de defectos visuales, en la cirugía vascular y en la terapia de tumores malignos.

La descripción pormenorizada del papel que todas las ideas de Einstein han jugado en muchas de las realizaciones prácticas de la tecnología durante la pasada centuria y del que jugarán todavía en la presente excedería con creces los límites de este escrito. Basten, por tanto, los ejemplos anteriores para mostrar que las ideas de Einstein, aparte de su enorme valor, científico y filosófico, han germinado de una forma muy fecunda en aplicaciones prácticas de relevancia en la química, la biotecnología y otros campos de la ingeniería que afectan determinantemente, para mejorarla, a nuestra vida cotidiana.



EL FÍSICO QUE APRECIABA LA METAFÍSICA

Einstein pasó de una actitud profundamente instrumental hacia la filosofía, a un convencimiento militante en relación con algunas posiciones metafísicas



Fernando Broncano

*Catedrático de Lógica y Filosofía de la Ciencia en la Facultad de Humanidades.
Universidad Carlos III de Madrid.*

La relación de Einstein con la filosofía fue tan complicada como la que un científico puede tener, especialmente aquél que sea sensible a preguntas que vayan más allá de las exigencias técnicas de su trabajo: relaciones que van desde la curiosidad al entusiasmo pasando por no pocas etapas de profundo desencantamiento, hastío y desprecio. Einstein, sin embargo, a diferencia de muchos científicos, pasó de una actitud profundamente instrumental hacia la filosofía a un convencimiento militante en relación con algunas posiciones metafísicas que hicieron de él un científico filósofo (así rezaba el título del volumen que se dedicó en la Biblioteca de Filósofos Vivos). Para muchos esta progresiva conversión a posiciones filosóficas fuertes fue un claro indicio de envejecimiento científico y un producto del éxito social. Para mí que fue lo contrario, un paso más en el descenso hacia preguntas cada vez más profundas sobre el mundo y sobre nuestro puesto en él como sujetos que intentan conocerlo.

A lo largo de su etapa de formación Einstein discutió interminablemente con sus amigos, especialmente con Michele Besso acerca de las cuestiones filosóficas relacionadas con el espacio y el tiempo: si estaba o no justificada la idea newtoniana de un espacio-tiempo absoluto, si la geometría era convencional, si estaba justificado el abandono de la mecánica newtoniana por no estar suficientemente bien sostenida por los hechos, etc. En general, a lo largo del periodo de creación de la Teoría de la Relatividad, Einstein sostuvo una posición muy cercana al positivismo, influido especialmente por Ernst Mach. La referencia a lo empírico era el comienzo y el fin de todo trabajo científico: éste era el más importante argumento que permitía hacer plausible la revolución relativista, que tenía que prescindir del éter electromagnético y, sobre todo, de un marco espacio-temporal independiente de los sistemas de referencia. La forma más plausible de entender la Teoría de la Relatividad Especial era tomarla como una teoría que se apoyaba en procesos de coordinación de reglas y relojes en el universo, una teoría empírica, pues, a pesar de lo revolucionaria y especulativa que pudiera resultar.

Si Einstein no hubiese dado ningún impulso más a sus posiciones filosóficas hubiese quedado como un autor muy de su tiempo en lo que a la filosofía se refiere y, claro, como el físico revolucionario que ya era. Cambio científico y positivismo: eran los signos de los tiempos. La filosofía positivista era el medio de hacer soportable una física que se alejaba de toda comprensión intuitiva y, por lo mismo, de muchos modelos filosóficos que se apoyaban en las intuiciones cotidianas sobre la realidad. La retirada a los fenómenos observados y a un aparato matemático inaccesible al lego fue la forma en que los físicos se curaron de la crisis que provocaban los cambios que supusieron la Teoría de la Relatividad y la Mecánica Cuántica. Einstein, sin embargo, abandonó su positivismo cuando se enfrentó a Bohr

sobre el modo de interpretar la mecánica cuántica. Einstein no aceptaba que la última descripción de la realidad fuese probabilística. No le preocupaban los extraños modelos de átomo que la Mecánica Cuántica incorporaba, sino la renuncia a describir una estructura última que parecía conllevar la interpretación mayoritaria.

Einstein dedicó una buena parte de sus años de madurez a una desesperada resistencia a la visión probabilística de la Mecánica Cuántica. Sus experimentos mentales y razonamientos se mostraron fallidos con el tiempo y la Mecánica Cuántica se mostró exitosa en todas las pruebas. Para muchos físicos y filósofos esta era la mejor confirmación de los males de los científicos que se dejan arrastrar por prejuicios filosóficos y metafísicos: si el Einstein maduro hubiese sido fiel a su espíritu revolucionario habría aceptado la nueva física y despreciado sus impulsos realistas. Pero ésta es sólo una de las facetas del Einstein maduro, a pesar de que haya sido una de las más divulgadas. La otra, la que hace de Einstein una figura que sobrepasa a la misma importancia de su descubrimiento de la Teoría de la Relatividad, es su programa de investigación en una teoría unificada del campo, un programa que con los años no ha dejado de crecer en importancia convirtiéndose en el programa de unificación de la física. También en este aspecto fue criticado, como si sus preocupaciones por una constante cosmológica no fuesen sino ensoñaciones de un viejo científico en su decadencia. Hasta el punto de que sus críticas a la Mecánica Cuántica se entienden mucho mejor como corolarios de su obsesión por una física que describa de una forma unificada la estructura del universo.

Nunca renunció Einstein a su fidelidad al empirismo, pero con los años se mostró mucho más cercano a Newton de lo que él creía. Newton pensaba, también en el contexto de muchas críticas que recibía su teoría de las fuerzas, acusada de metafísica, que las propiedades que uno obtiene a través de experimentos cuidadosos nos conectan con la estructura última de la naturaleza. Esta forma de realismo es la que Einstein persiguió. No le importaba ser llamado metafísico. Sabía que ese es el destino del científico: asomarse a una realidad que no depende de los humanos a través de la ventana de experimentos diseñados para capturar invariancias que conectan indirectamente con la estructura de lo real.



LA CONTRIBUCIÓN DE ALBERT EINSTEIN DESDE LA PERSPECTIVA DE LA ECONOMÍA Y DE LA EMPRESA

Ha sido evidente a lo largo del siglo pasado que sin las aportaciones de Einstein y el desarrollo científico que las mismas han provocado, hoy en día no estaríamos hablando de la sociedad de la información



Eduardo Bueno

*Catedrático de Economía de la Empresa de la Universidad Autónoma de Madrid
Codirector del Parque Científico de Madrid*

En este año de la Física, como reconocimiento a una de las disciplinas científicas que más ha contribuido a cambiar la vida cotidiana de la sociedad y el desarrollo de la economía, ésta no podía dejar de sumarse al tributo que merece la figura de Albert Einstein, como científico genial e intelectual, cuya imagen e influencia, se sigue agrandando, como “la cara pública de la ciencia moderna”, tal y como fue reconocido en la portada del último número del siglo XX de la prestigiosa revista Time, según la consulta popular a nivel internacional que la misma llevó a cabo.

La contribución del físico alemán, perito técnico por la Escuela Politécnica de Zurich y empleado en la oficina de patentes de Berna, nacionalizado suizo, Nobel de Física en 1921 y más tarde nacionalizado norteamericano; a la economía, a la industria y a las empresas que la integran es de una monumental relevancia, pero no sólo ha influido en la actividad económica o productiva, sino que también lo ha hecho en aspectos metodológicos para su investigación y desarrollo científico.

Ha sido evidente a lo largo del siglo pasado que sin las aportaciones de Einstein y el desarrollo científico que las mismas han provocado, en concreto, y primero con su Teoría de la Relatividad Especial, formulada en 1905 en su artículo en la revista alemana de Anales de Física: “sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento”, formulando una ley de la gravitación que es válida con mayor precisión que la teoría de la Mecánica clásica o de la gravitación de Newton; de la que dedujo magistralmente en 1916 la Teoría General de la Relatividad, hoy en día no estaríamos hablando de la sociedad de la información, no se habrían desarrollado las TIC’S, las industrias de la electrónica y la informática y las empresas multinacionales que las protagonizan en Occidente y Oriente; en consecuencia, el crecimiento de la economía, su globalización durante el siglo XX no hubiera tenido como protagonistas de la competencia en los mercados: la televisión, los ordenadores, el láser, la fibra óptica, el CD, el DVD, las placas solares, los satélites, etc ...

Y todo empezó o todo se sintetizó en una sencilla ecuación que no simple, la universalmente conocida $E=mc^2$, con la que Einstein dedujo la equivalencia de la energía de un sistema (E) y la “masa inercial”, el efecto fotoeléctrico y el fenómeno de la radioactividad que tanta repercusión ha tenido y tiene para la ciencia, la sociedad y su economía.

Pero la contribución del genial físico nacido el 14 de marzo de 1879 en Ulm (Alemania), dada su capacidad intelectual y su dimensión filosófica, que impregna todo el conocimiento científico de su épo-



ca hasta el presente, incluyendo como es lógico el conocimiento económico, merece estas breves líneas de homenaje desde la perspectiva de la economía de la empresa en particular, o de la economía en general.

Volviendo a las ideas iniciales de este trabajo, hay que recordar que la “revolución relativista” de la física y de la ciencia moderna, está asociada básicamente a un solo científico, Einstein, el cual ha tenido una gran influencia en la evolución de la Física del siglo XX, no sólo por sus aportaciones, sino, desde luego, por el proceso creativo con que las logró, que contrasta con la forma en que se ha venido avanzando en la mecánica cuántica, la teoría que se ocupa de los fenómenos microscópicos, la cual ha tenido un desarrollo largo y complicado, con una sucesión de contribuciones de científicos, básicamente europeos, y con una dialéctica continua entre experimento y teoría, por la que la observación de radiaciones o de partículas elementales, por ejemplo, requiere de mucha tecnología y además de coste elevado, por lo que esta investigación necesita mucha financiación y apoyo público. Esta “revolución cuántica” aunque pertenece al conocimiento de la Física, influyó profundamente en otras disciplinas científicas, en especial en el Química y sobre todo en la Biología Molecular.

Einstein, en cambio, con su relatividad general, mostró a la ciencia de su tiempo y a la posterior cómo un proceso creativo, gracias a su pensamiento genial, y a la aplicación del cálculo diferencial absoluto, se podría avanzar científicamente además de los procesos de I+D basados en experimentos y medidas realizados en instalaciones y laboratorios de Física complejos y costosos. Él fue el revulsivo que facilitó el avance de la ciencia en general y, sobre todo, en campos diferentes de la Física moderna, como ha ocurrido con la física nuclear, la electrodinámica y cromodinámica cuántica, o más recientemente con la Física del estado sólido o de la materia condensada. En definitiva, se ha pretendido mostrar cómo la relatividad y mecánica cuántica constituyeron una gran revolución en la nueva concepción del mundo físico, trascendiendo a otras ciencias relacionadas con el mundo vivo, y sobre todo en la construcción de la sociedad de la información y la nueva economía.

Retomado la línea argumental del aspecto económico, es momento de recordar que el ciclo de la física del siglo XX se inició con el protagonismo de los científicos alemanes y de habla germana, en especial, y de los europeos en general, ciclo que presenta una ruptura con la Segunda Guerra Mundial, que desvía el foco del escenario europeo al de Estados Unidos. También es momento de mencionar que Einstein ya residía en este país y se había nacionalizado norteamericano en 1940. El citado cambio de foco lo justifica estelarmente el “invento del siglo” tal y como lo bautizó Wiener, es decir, el “transistor”, el cual estuvieron muy cerca de lograrlo los físicos europeos, pero el mismo se llevó a cabo el 1948 por tres investigadores norteamericanos, trabajando en el centro de I+D de la Bell Telephone: Bardeen, Shockley y Brattain; los cuales obtuvieron por él, el Nobel de Física de 1956. Con este descubrimiento o invento técnico aparece en el escenario económico un nuevo Rey Midas que ha transformado y capitalizado la economía mundial, pero, además, ha ejemplificado una nueva estructura y comportamiento del sistema de I+D, característico en los Estados Unidos y más exitoso que el predominante en Europa, en el que la ciencia y la empresa se unen y colaboran en un proceso eficiente de transferencia de conocimiento científico para la innovación tecnológica, proceso en el que Europa se va quedando rezagada, lo que la obliga a replantearse en 2005 la recuperación de la llamada Estrategia de Lisboa y a apostar en el horizonte de 2010 a una nueva política de I+D+i de mayor esfuerzo económico y compromiso político y social.

En resumen, la contribución de la “revolución relativista” de Einstein no sólo se ha concretado en el desarrollo tecnológico y en la estructura productiva de la nueva economía de sus sectores nuevos de actividad, de sus nuevos procesos técnicos, así como de nuevas tecnologías y nuevos productos



de consumo duradero, normales en la vida cotidiana de la sociedad de la información y del conocimiento, tal y como se ha mencionado con anterioridad. Esta contribución también hay que reconocerla en la influencia que ha tenido su pensamiento crítico, el protagonismo de su proceso de creatividad científica y su dimensión en la epistemología y metodología del conocimiento tecnocientífico, en su concepción relativista y constructivista que tanto ha influido en el análisis económico y en la investigación en organización de empresas a partir del enfoque contingente, todo lo cual ha contribuido sobremanera en la configuración de la actual sociedad y economía del conocimiento.



NO QUEDA NADA REALMENTE NUEVO EN TELECOMUNICACIONES, SEÑOR EINSTEIN

Una doctrina es, al principio, una descripción verosímil del universo; giran los años y es un mero capítulo -cuando no un párrafo o un nombre- de la historia de la filosofía.

J. L. Borges

Por no aceptar los modelos cuánticos, Einstein se empeñó en el error del descubrimiento imposible, con su teoría del todo



José Ramón Casar

Catedrático de la ETSI Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid

Las bolas del bombo de habilitar del Consejo de Coordinación Universitaria (esas bolas cuánticas, cuyo estado es indefinido hasta que el funcionario las observa y colapsan precisamente, una y otra vez, en mi número de sorteo) me reunieron con un grupo de colegas para la estúpida misión de decidir qué dos y sólo dos profesores merecían la habilitación más que otros, igualmente ameritados. En el transcurso de una de las comidas (*), alguna razón nos llevó a iniciar una disputa lúdica sobre los personajes que habían sido clave para las telecomunicaciones modernas (nuestra área de conocimiento), los que deberían estar en una lista corta de protagonistas relevantes. Fueron apareciendo nombres y reseñas. Como siempre sucede en esos ejercicios de confección de selecciones, más pronto que tarde nos encontramos cuestionando el criterio mismo: ¿qué debía entenderse por personaje clave?. Progresivamente el debate perdía argumentos experimentales y ganaba demagogia ideológica.

- Porque si es “así” como hay que interpretarlo (lo de menos es a qué se refería el “así”), como modelo yo propongo a Bell, por razones obvias; o a Edison, puestos a elegir a un inventor.
- Yo a Einstein.
- ¿Einstein? Einstein no es ninguna referencia para las telecomunicaciones, sea cual sea el criterio. Para eso, Newton o Leibnitz que inventaron el cálculo infinitesimal; o Laplace, que compendió la teoría de la probabilidad.

Nuestro colega alegó que había sido Einstein quien había explicado el efecto fotoeléctrico y quien había anticipado el fenómeno de la emisión estimulada, dos esencias de los sistemas de comunicación actuales, desde la televisión al láser; se añadió que Shockley no hubiera concebido el transistor sin Einstein y que, sin compensar los efectos relativistas de su famosa teoría, los GPS serían artefactos casi inútiles.

Se hiló entonces, con varias contribuciones, un argumento en contra, al tiempo convincente y falaz, más o menos como sigue: Maxwell había predicho todo cuanto era necesario para el desarrollo contempo-

ráneo de las telecomunicaciones, había sido Hertz quien había comprobado la existencia de las ondas y luego Marconi quien había imaginado la gran innovación de la comunicación inalámbrica. Alguien quiso cuestionar a Marconi, refiriendo las experiencias del español Julio Cervera, pero esa línea de argumentación no suscitó adhesiones. El primer crédito, en todo caso, era de Maxwell; el mismo Maxwell en el que se había basado Einstein, con inspiración en las ideas de Planck, para explicar el fenómeno fotoeléctrico que, por cierto, también había sido observado por Hertz en 1887. Se trajo a colación que el fax fotoeléctrico había sido cosa de Korn en 1902 (anterior a la explicación de Einstein, obviamente) y, en relación con esto, que las primeras células fotoeléctricas se debían a Johann Phillip Ludwig Julius Elster y a Geitel. La conclusión básica era que ni las comunicaciones ni las aplicaciones de la fotoelectricidad tenían que ver, más que remotamente, con Einstein. Por lo que hacía a su anticipación del fenómeno de emisión estimulada en 1917, había sido, según los más enterados, una anticipación tímida, en absoluto visionaria; los nombres propios en el desarrollo del láser había que buscarlos, en los años 50 y no antes, en los de Charles Townes y Theodore Maiman y su láser de rubí (se aludió también a un soviético de nombre V. A. Fabrikant, pero no puedo recordar ahora su mérito). En cuanto a la teoría de la relatividad, amén de su limitada aplicación en el desarrollo de las telecomunicaciones conocidas, innecesariamente y a falta de otros argumentos mejor fundados, razonamos que, en el contexto de la época, en la que el problema de la sincronización del tiempo era uno de los problemas relevantes de la ingeniería, lo raro habría sido que no se hubiera desarrollado. Se mencionó a Poincaré, que se había ocupado con éxito de ese mismo problema para hacer mapas, algo a la postre más práctico que imaginar la curvatura del espaciotiempo. Finalmente, uno de nosotros contó la historia del fracaso de Einstein como inventor de refrigeradores para electrodomésticos (una anécdota que la mayoría desconocíamos), y sentenció:

— A mí el nombre de Einstein me sugiere el de Maxwell.

Maxwell y Shannon eran indiscutibles en nuestra lista corta. A modo de boutade les reprochábamos que entre el uno y el otro nos hubieran dejado sin nada en qué investigar a los que nos dedicábamos a las telecomunicaciones. Ahora sí que se podía decir de verdad aquella frase de 1899, apócrifa según S. Sass, de que “everything that can be invented has been invented”, atribuida a Charles H. Duell, comisionado de la oficina de patentes norteamericana.

Fue, creo, éste el momento en que alguien recordó que, a cuenta del desarrollo de la mecánica newtoniana, el electromagnetismo y la termodinámica, eso mismo había dicho de la física, en el umbral del siglo pasado, ni más ni menos que Lord Kelvin: “There is nothing new to be discovered in physics now, all that remains is more and more precise measurement”. Sólo quedaban dos retos para completar para siempre la explicación del mundo: entender los resultados de Michelson y Morley en relación con el movimiento de la Tierra en el éter y la naturaleza de la radiación electromagnética del cuerpo negro (alguien en este punto volvió a insistir en el papel de Maxwell en la identificación de estos problemas). Dos pequeños problemas (es un decir) que acabaron por permitir el alumbramiento de la teoría de la relatividad y la concepción de la mecánica cuántica y, con ésta, unas generaciones irrepetible de físicos, desde Böhr a Feynman.

— Si Einstein hubiera adoptado una actitud resignada, no hubiera habido ni relatividad ni mecánica cuántica, al menos no tan pronto; y sin mecánica cuántica no hubiera habido física de semiconductores, y sin ella, ni comunicaciones ópticas, ni móviles ni Internet. Así pues, en el origen de la telecomunicación, tanto como el que más, Einstein.

Retomamos de nuevo la discusión sobre los nombres clave. Ahora el argumento principal contra Einstein era que su contribución a la mecánica cuántica había sido poco menos que involuntaria y que, de hecho, se había pasado los últimos decenios de su vida pleiteando intelectualmente contra



ella, empecinado en su “teoría del todo”, que, como todo el mundo sabía, no le había conducido a nada. Otros defendían, con ejemplos (que incluían a Becquerel y a Fleming), que muchas de las más relevantes contribuciones al progreso habían sido involuntarias o casuales y que la historia de las ciencias se había construido gracias a quienes se habían dedicado a cuestionar lo incuestionable, con éxito o sin él.

- El progreso de la ciencia se debe al empeño consciente o inconsciente por contradecir las teorías al uso, incluida en primer lugar la teoría absurda y persistente de que no hay nada más que teorizar.
- ¿Eso lo dijo Popper?
- No lo sé, pero si lo dijo Popper, yo voto también a Popper para nuestra lista corta.
- No sé que mérito magnífico hay que reservarle a Einstein por su obstinación en contradecir el modelo de la física cuántica, que resulta que sigue siendo la mejor descripción funcional que tenemos del mundo.

Nos dio una teórica magistral sobre las expectativas de la computación óptica, los progresos en spintrónica y los avances en computación y teletransporte cuánticos, algo que podía acabar por resolver, según él, el “grand challenge” de la seguridad en las telecomunicaciones. En su defensa apasionada de la mecánica cuántica, que había comenzado en un sofisma contra Einstein (y que, contrariamente a lo pretendido, cada vez nos disponía más a su favor), no se inmutó cuando alguien lo interrumpió para hacerle notar que los experimentos actuales de teleportación fotónica estaban basados en los principios denominados precisamente de Einstein-Podolsky-Rosen y que había sido Einstein quien había denominado el fenómeno, adelantadamente, como una “spooky action at a distance”.

- Por no aceptar los modelos cuánticos, Einstein se empeñó en el error del descubrimiento imposible, con su teoría del todo –concluyó–.
- Cometió un error, decimos ahora, pero no fue otro, entonces, que el de mantenerse al margen de los avances de la Física. A ti Einstein, decías, te sugiere a Maxwell. A mí me sugiere la pasión por comprender, por trascender. La misma que, de otro modo, guió a Armstrong con la FM o a Turing, primero con su máquina y luego con su test.
- Los dos se suicidaron (alguien contó las historias; el lector puede encontrarlas en <http://users.erols.com/oldradio/ehabio.htm> y en <http://ei.cs.vt.edu/~history/Turing.html>, respectivamente).
- Volvimos a nuestra tarea como tribunal de habilitación. Camino de vuelta a la sala pregunté a uno de mis colegas (al que más se había distinguido por su desconsideración por Einstein durante la comida):
- Bueno, tenemos que elegir a dos. ¿Ya tienes claro a quienes vas a votar? (me refería obviamente a las dos plazas del concurso de habilitación).
- Sí, yo a Faraday y a Einstein.
- ¿Y Maxwell? –seguí la broma.
- Maxwell tendrá todas las oportunidades en el siguiente concurso, con cualquier tribunal. Einstein quizás no.
- ¿Quién inventaría las áreas de conocimiento?
- No fue von Humboldt. No había de eso en la Universidad de Berlín.

(*) La presente historia apócrifa está basada en hechos reales: el concurso de habilitación tuvo lugar y hablamos sobre los personajes de la narración, en las comidas. Uno de mis colegas (ENB) nos hizo notar que posiblemente el antecedente más claro de la contribución de Einstein a nuestra área de conocimiento se encuentre en un artículo que se publicó en 1914 en Archives de Sciences Physiques et Naturelles. Le reservo, naturalmente, la prioridad en la difusión de este (re)descubrimiento.



EL LEGADO CIENTÍFICO DE EINSTEIN

Albert Einstein transformó la física, y nos sumergió en una visión inesperada de la naturaleza, sacudiendo los cimientos heredados y erigiendo nuevas estructuras conceptuales



Alberto Galindo

Catedrático de Física Teórica de la Universidad Complutense de Madrid

Un siglo después del “año admirable” 1905 del físico alemán Albert Einstein, año en el que este genial científico envió varios trabajos para su publicación a la prestigiosa revista alemana *Annalen der Physik* (AdP), sigue muy viva su presencia. ¿Por qué? Porque con cinco de esos trabajos transformó la física, y nos sumergió en una visión inesperada de la naturaleza, sacudiendo los cimientos heredados y erigiendo nuevas estructuras conceptuales. Para justificar nuestra deuda con Albert Einstein, resumiré este legado, ciñéndome a tres marcos: la luz, la materia, y el espacio-tiempo.

Antes de Albert Einstein, se creía que la luz era una onda, con su energía difuminada. Pero en realidad dicha energía está repartida en diminutos paquetes indivisibles (hoy llamados fotones). Cada fotón cede la energía solo en su totalidad, sin posibilidad de fragmentación. Así es como explicó en su primer trabajo de 1905 en AdP el llamado efecto fotoeléctrico. Este es el único de sus trabajos que él consideraba a la sazón como “muy revolucionario”, y por el que se le otorgó el premio Nóbel en Física 1921 (“*For his services to Theoretical Physics, and especially for his discovery of the law of the photoelectric effect*”). Desveló de este modo la dualidad onda-partícula para la luz, una dualidad que luego el físico y príncipe francés Louis de Broglie (premio Nóbel en Física 1929) extendería también a la materia, y que constituye uno de los principios fundamentales de la física cuántica. En gran parte de la tecnología de la vida cotidiana subyace el efecto fotoeléctrico: aparatos de visión nocturna, fotocopiadoras, detectores de luz, alarmas antirrobo, apertura automática de puertas, etc. No acabó aquí la aportación de Albert Einstein al campo de la luz. Unos años después (1916) introduciría sus famosos coeficientes para la emisión y absorción de la luz, centrales medio siglo más tarde en el principio del funcionamiento láser, una de las herramientas más útiles de la vida actual.

Antes de Albert Einstein, había físicos y químicos insignes que dudaban de la existencia real de los átomos y moléculas. En su segundo trabajo de 1905 en AdP Einstein mostró los límites de la termodinámica clásica, cuando las fluctuaciones estadísticas visibles en el movimiento irregular de partículas en suspensión en un líquido violan la segunda de sus leyes, y sentó las bases del movimiento browniano (observado por primera vez en 1827 por el botánico escocés Robert Brown en pequeñas partículas de polen, en suspensión acuosa), como resultado de su bombardeo por las moléculas del fluido, con la propuesta radical de que es su desplazamiento medio, y no su errática velocidad, el observable a tener en cuenta experimentalmente. El cuarto trabajo de Einstein enviado a AdP en 1905, pero publicado en 1906, precedió en su concepción al segundo ya citado, y está basado en su tesis doctoral (Universidad de Zürich, 1905). En él suministró un método, basado en la hidrodinámica y en la



teoría de la difusión, para estimar el número de Avogadro y el tamaño de moléculas de soluto en disoluciones diluidas no disociadas. (En el último y sexto de los trabajos enviados a AdP en 1905, publicado en 1906, Albert Einstein amplía ligeramente el segundo, sin contener nada radicalmente nuevo.) Los resultados de Einstein en este grupo de trabajos llevarían al físico francés Jean Baptiste Perrin (premio Nóbel en Física 1926) y colaboradores a nuevas medidas del número de Avogadro, a la determinación experimental de tamaños atómicos, y a desterrar para siempre el escepticismo de quienes dudaban de la realidad de los átomos y moléculas. En la actualidad, la teoría del movimiento browniano se ha ramificado al mundo de las finanzas (curvas de fluctuación de los valores en bolsa), a la robótica, a los análisis de mercado, a la toma de decisiones, etc. La aportación einsteiniana al campo de la materia continuaría: en 1906 demostró que los conceptos cuánticos eran extensibles a la materia macroscópica (calores específicos de los sólidos), dando con ello nacimiento a la moderna teoría de la materia condensada; y en 1924 amplió la estadística del físico indio Satyendranath Bose a los átomos de *spin* entero. Desde 1995 los condensados atómicos de Bose-Einstein son una realidad como quinto estado de la materia, con lugar preeminente en la investigación física y en la tecnología de vanguardia.

Finalmente, antes de Albert Einstein recibíamos de Newton un espacio y un tiempo absolutos, testigos mudos e inamovibles de cuanto ocurre en el Universo. Insatisfecho con cierta asimetría conceptual en la teoría del electromagnetismo, y en la incapacidad de la óptica para detectar el movimiento respecto del éter, Albert Einstein enunció en su tercer trabajo de 1905 en AdP el principio de relatividad. Con este principio, se vio forzado a romper la absolutidad del tiempo y del espacio. La simultaneidad pasó a ser un concepto relativo, y también las nociones de intervalos de tiempo y de longitud. En la física de altas energías se comprueba esto a diario. Como simple consecuencia de esta revisión del espacio-tiempo, obtuvo en su quinto trabajo de 1905 la equivalencia entre masa y energía, la famosa fórmula $E = mc^2$. Ignoraba Albert Einstein en aquel momento el descomunal poder escondido en las entrañas de esta fórmula. Si bien el horror de Hiroshima y Nagasaki nos hace aún estremecer, hay que decir que también la luminosidad de nuestro astro rey (sin el cual la vida aquí sería inconcebible), y el funcionamiento de la tomografía de positrones, y la esterilización de alimentos, y un largo etcétera, son consecuencia de esa fórmula.

Para terminar, quiero mencionar la obra cumbre de Albert Einstein, la del año 1915, su teoría general de la relatividad. En ella dinamizó el espacio-tiempo, haciéndole participar de los avatares del Universo, curvándose donde hay mucha materia, y vibrando en ondas gravitatorias. Hasta ahora ha pasado con éxito todas las pruebas (falta por ver con más detalle su comportamiento cuando los campos gravitatorios son muy intensos, como ocurre en las vecindades de los púlsares o de los agujeros negros). Tanto la relatividad especial de 1905 como la general de 1915, a pesar de la pequeñez de sus efectos en situaciones no extremas, no solo son imprescindibles para una descripción muy precisa del mundo que nos rodea (grandes aceleradores, campos cuánticos, dinámica del sistema solar, arrastre de inerciales), sino también en asuntos de la vida ordinaria, tales como el correcto funcionamiento del sistema de posicionamiento global.

Tenía razón su biógrafo Albrecht Fölsing al afirmar que *“never before and never since has a single person enriched science by so much in such a short time as Einstein did in his annus mirabilis”*.



ECOS POÉTICOS DE LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD

(A propósito de García Lorca)

Pese a su dificultad de comprensión, la teoría de la relatividad logró en España trascender los círculos científicos y filtrarse en la vida literaria



Miguel García Posada

*Departamento de Relaciones Institucionales
Consejería de Educación Comunidad de Madrid*

Pese a su dificultad de comprensión, la teoría de la relatividad logró en España trascender los círculos científicos y filtrarse en la vida literaria. Lo acredita la obra de uno de nuestros mayores escritores contemporáneos: Federico García Lorca, en la que se hallan ecos muy precisos de la teoría einsteniana.

García Lorca debió de conocer personalmente a Albert Einstein durante la visita que el genial científico hizo a la Residencia de Estudiantes en marzo de 1923, lugar y fecha en que el poeta granadino estaba en Madrid, como alumno de la Residencia. En cualquier caso, el poeta español tenía un instinto prodigioso, que lo mismo que lo llevó a intuir el concepto de antimateria y a postular el origen azaroso del universo, lo puso en contacto con la teoría einsteniana. Dos textos importan para lo que decimos. El primero es el poema del ciclo de "Suites" "La selva de los relojes", que debe datar del verano del veintiuno (*).

La idea más divulgada de la teoría einsteniana consistía en señalar la reversibilidad del concepto tiempo, cuya "definición racional" "era imposible" "por medio de relojes que se hallan en reposo", según decía el diario *El Sol* (8-III-23). El poema lorquiano abunda en esta idea; así en sus "Meditación primera y última":

*El Tiempo
tiene color de noche.
De una noche quieta.
Sobre lunas enormes
la Eternidad
está fija en las doce.
Y el Tiempo se ha dormido
para siempre en su torre.
Nos engañan
todos los relojes.*

El Tiempo tiene ya
horizontes.

Tres claves (hemos citado en redonda los versos más “ad hoc”: el tiempo no “pasa”; los relojes no sirven para medir el tiempo, del que transmiten una noción falaz; el Tiempo es entidad o concepto limitado.

Años más tarde, en 1931, preocupado por el gran tema, compone Lorca una de sus obras más misteriosas y fascinantes, “Así que pasen cinco años” subtitulada “Leyenda del Tiempo”. El argumento es el siguiente: el protagonista, el Joven, aguarda enamorado a la Novia, que ha regresado de un largo viaje de cinco años; pero la Novia ha conocido en esos años a otro hombre. Le dio un plazo excesivo; rehusó la pasión; le espera la muerte. No sabemos en qué etapa del tiempo de los cinco años nos situamos con exactitud; gran parte del drama es un sueño en el que el protagonista rememora sus últimas vivencias. Dato central: siempre son las seis de la tarde en el drama. Los especialistas en sueños argüirán que el trance onírico es brevísimo, pero toda la obra especula sobre la reversibilidad del tiempo en términos que no dejan lugar a dudas; hay así un personaje, el Viejo, encarnación de Cronos, que dice cosas como que “hay que recordar, pero recordar antes” (acto I). Al final, coincidiendo con la muerte del protagonista, el reloj dará las doce, arrastrado por el personaje del Eco: doce eco de seis; recordemos: “la Eternidad / está fija en las doce”. El único tiempo seguro es el de la muerte.

Parece evidente que Lorca maneja un concepto “relativo” del tiempo, y que distaba, por tanto, de suscribir su concepto convencional. Lorca pudo a buen seguro apropiarse de las ideas einstenianas en las largas conversaciones que circulaban en la Residencia de Estudiantes de acuerdo con la visión que Jiménez Fraud, su fundador y director, tenía de la educación como instrucción global, que no se dejaba compartimentar en áreas: ciencias / letras, etcétera. Lorca se impregnó de este espíritu universalista y lo trasplantó a sus versos y obras. El más universal de los poetas españoles del siglo XX rindió así homenaje al más universal de los científicos de la centuria.

(*) Un planteamiento general de la cuestión se halla en Margarita Ucelay, ed., “Así que pasen cinco años”, Cátedra, Madrid, 1995, páginas 85-87.



¿PENSAMIENTO SIN IDIOMA? EINSTEIN DESDE LA LINGÜÍSTICA

Cuatro semanas antes de su muerte, Einstein escribió que la distinción entre el pasado, presente y futuro no es más que una tozuda ilusión de los hombres



Francisco A. Marcos-Marín

Premio Humboldt de Investigación 2004

Catedrático de Lingüística General de la Universidad Autónoma de Madrid

Cuanto se repasa la parca bibliografía sobre la relación entre Einstein y los estudios glotológicos propiamente dichos, se advierte que, en general, se hace referencia a la Hipótesis Sapir-Whorf como tesis de la relatividad de la capacidad de categorizar, según las limitaciones del lenguaje por su relación con el pensamiento. Se confunden, en ese planteamiento, la relatividad física con lo relativo cultural, distorsión causada por la atracción de parentesco de las palabras. También, con mayor fundamento, se advierte la coincidencia de diversas indagaciones científicas que se refieren a presuposiciones de relatividad, en los primeros años del siglo XX, o a determinados movimientos estéticos, como los que refleja la pintura de Braque, es decir, el cubismo. La base común conceptual de todos estos movimientos sería la de *relación*, que es el concepto mínimo que subyace a la teoría einsteiniana. Un análisis más reposado añadiría pistas inmediatas en otro sentido, el de la segunda época del autor y la Física de lo infinitamente pequeño.

Einstein estaba convencido de que su pensamiento era independiente de su lenguaje. Son famosas las anécdotas sobre sus escasas habilidades lingüísticas, más allá de las cuales Roman Jakobson, en su ponencia fundamental del Simposio de Jerusalén de 1979, puso el acento sobre las consecuencias que tuvo el suspenso de Einstein en el examen de ingreso del Tecnológico de Zúrich y su desplazamiento a la escuela cantonal de Aarau, donde fue pupilo, *stricto sensu*, del original lingüista Jost Winteler, cuya tesis de 1876 distinguía científicamente entre los rasgos accidentales, o variables, del sistema de sonidos de las lenguas y sus propiedades esenciales, o constantes. Algo en lo que es fácil ver un anticipo del fonema como haz o matriz de rasgos (la diferencia, aunque importante, carece de relevancia aquí.)

A principios del siglo XX la investigación europea y americana estaba preparada para el desarrollo de un concepto que cambió el enfoque científico. Por usar el término del gran lingüista del momento, se denominará con el vocablo *valor*. Lo que Ferdinand de Saussure quiso expresar con él es, intelectualmente, la misma idea que subyace a los conceptos de *relatividad* e *invarianza* (en el sentido lingüístico de *constante*, como conservación de las leyes físicas en distintos sistemas de referencia): lo que importa de la unidad lingüística, el *signo*, no es el objeto al que se refiere ni el usuario que lo emplea, sino su relación con los otros signos en el conjunto del sistema, que define su *valor*.

Aunque él no lo pensara así, el sistema simbólico en el que se basaba el pensamiento de Einstein, como el de cualquier ser humano, como rasgo específico, no era un sistema de categorización del universo independiente, era el sistema simbólico lingüístico. Naturalmente, cabe un nivel conceptual de abstracción distinto en diferentes individuos; pero eso no autoriza a suponer un pensamiento

sin lenguaje, sin relación entre un contenido y su expresión. Hallar la expresión justa, en cualquier lengua, es otro problema, de otra índole. Más que sobre las lenguas, las observaciones del gran físico deben interpretarse como hechas sobre la cognición y dirigidas a la exigencia de que las relaciones se describan con precisión rigurosa.

Esto es lo que permitió a Jakobson trazar un cuidadoso isomorfismo entre los conceptos fundamentales de la Física de la Relatividad y las estructuras lingüísticas mínimas. Los *rasgos distintivos* de la fonología son conceptos de relación, más claros para el fonólogo moderno que para la intuición binaria en la que Jakobson se movía.

El puente que puede unir la ciencia del lenguaje con los conceptos de constantes y variables lingüísticas que Einstein pudo aprender del entorno de Winteler se encuentra en otro desarrollo de la Física de su tiempo. En Lingüística las relaciones entre los signos se establecen precisamente por los rasgos que los diferencian, en oposiciones, no por lo que tienen en común. La materia del lenguaje, como la del universo físico, es discontinua, está formada por elementos discretos, por *quantos* elementales. El lenguaje es una pura estructura geométrica de matrices, alterada por las limitaciones materiales de los usuarios.

Si se retoma ahora la oposición entre las unidades fonológicas, por ejemplo, ya no es preciso sostenerla en el binarismo, no se trata de la presencia o la ausencia de un rasgo determinado, correspondiente a una variación de formantes en el espectrograma. Es mucho más interesante considerar que la unidad lingüística es indiferente a uno u otro rasgo, *hasta que se realiza*, es decir, hasta que es percibida por el observador, en este caso, el usuario, para quien sólo está presente uno de los rasgos o formantes. Podría irse más lejos, en este sentido, hasta señalar que la teoría de la *variación* lingüística no es sino un conjunto de teorías sobre relaciones, profundamente isomórfica con la dimensión conceptual que toma la Física.

En Lingüística Histórica, campo levemente explorado en ese sentido hasta ahora, las consecuencias son mucho más interesantes, porque explican perfectamente por qué las lenguas están en permanente proceso de transición (de variación). En realidad, la lengua es la misma, lo que varía es la percepción del observador, que no puede optar por la indefinición cuántica, sólo puede percibir un resultado. Así, por ejemplo, en un proceso de diptongación, como el de las abiertas tónicas en castellano medieval, el fonema es monoptongo y diptongo, pero su expresión sólo corresponde a una de las dos situaciones posibles, porque el observador no puede percibir diptongo y monoptongo indefinidos, ya que la observación, por sí misma, define. Cualquier cambio en desarrollo es sencillamente un conjunto de *oscilaciones*, la unidad mínima sería, por tanto, el bit (0,1).

Esta noción es por principio compatible con la diacronía. Cuatro semanas antes de su muerte, Einstein escribió que la distinción entre el pasado, presente y futuro no es más que una tozuda ilusión de los hombres. Esta tozudez de los hombres no es exclusiva de ninguna ciencia, pero es más factible en los humanos, donde llega por el objeto y por el observador, portadores ambos del adjetivo *humano*. Sobre un único sistema lingüístico el observador percibe la ilusión de los cambios de lugar (dialectos geográficos), tiempo (dialectos históricos) o de los observadores observados (dialectos sociales.)

La Teoría de la Relatividad y la Mecánica Cuántica, indirectamente, como parte de un ambiente conceptual e intelectual distinto, han contribuido notablemente al desarrollo de una nueva teoría de los Universales, como categorías lingüísticas, más que cognitivas, es decir, más cercanas a la percepción de Coseriu que a la de Chomsky, si se permite un cierto reduccionismo. La búsqueda de la relación simetría-asimetría es un común denominador de la Física posterior a Einstein y la Lingüística moderna, ciencia, al fin y al cabo, de estructuras, pero preocupada por conceptos universales.



LA EDUCACIÓN SEGÚN ALBERT EINSTEIN

“La continuidad y la salud de la humanidad dependen hoy de la escuela en más alto grado que antes”



Antonio Moreno

Profesor de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Facultad de Educación de la Universidad Complutense de Madrid

Aunque en su juventud, Einstein, aspiraba a ser profesor de física y matemáticas, cuando lo consiguió no mostró demasiado entusiasmo por las aulas, prefirió trabajar con pocos alumnos y a ser posible sin un horario determinado. Su temprana fama le permitió satisfacer este deseo: en la Universidad de Berlín, a la que se incorporó en 1914, con 35 años de edad, estuvo casi eximido de obligaciones docentes, gozando de una ventajosa oferta por parte de las autoridades académicas alemanas, y tras el exilio, en 1933, en el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton, donde trabajó hasta su muerte en 1955, sólo atendía a un reducido y selecto grupo de alumnos. Fue, por tanto, un profesor escasamente comprometido con la docencia, muy desigual, más apreciado en el trato directo con los estudiantes que cuando intervenía ante clases numerosas, pero tampoco tuvo a su cargo la dirección de tesis doctorales, como sería de esperar en quien prefería trabajar bis a bis o, a lo sumo, con grupos reducidos. Su vocación era realmente pensar, enfrascarse en sus investigaciones, manteniéndose lo más al margen posible del mundo académico. Una característica dominante del carácter de Albert Einstein era su tendencia a la soledad, como *einspänner* (solitario) lo califican sus biógrafos, y así se describe él mismo: “Soy un hombre completamente solitario y, aunque todos me conocen, hay muy poca gente que realmente sabe quién soy, ni lo que hago”.

En una carta a una joven, quejosa del trato que recibía de sus profesores, Einstein le recuerda haber recibido un trato similar: “me detestaban por mi independencia y me excluían cuando querían ayudantes”. Lo que corrobora su inadaptación a la enseñanza reglada, al menos la practicada en las escuelas prusianas durante su niñez y juventud. Hasta tal punto discrepaba de aquel tipo de enseñanza que abandonó el Gymnasium Luitpold de Munich sin acabar los estudios secundarios. Más aún, con 17 años decidió renunciar a la nacionalidad alemana, manteniéndose como un “sin patria” hasta que a los 21 le concedieron la nacionalidad suiza. Fue en Suiza donde recompuso sus estudios y donde se tituló como profesor de Física, en la Escuela Politécnica de Zurich, siempre añorada por él como “un hermoso rincón del mundo”. Y continúa su carta a la joven: “Por otra parte, he venido a Princeton sólo a investigar, no a enseñar. Hay demasiada educación formal, sobre todo en los centros norteamericanos”.

A esta actitud personal ante el trabajo en las aulas hay que añadir su negligente conducta como padre. Sus hijos no se criaron con él; tras el divorcio con Mileva, su primera esposa, se quedaron con ella en Suiza, mientras él vivía en Berlín, primero, y después en Estados Unidos. Durante los años en que los niños necesitan una educación familiar afectiva y próxima, Einstein no estuvo al lado de los suyos.

Sin embargo, y contrariamente a lo que podría desprenderse de su propio ejemplo, Einstein consideraba, y así lo aireaba en sus escritos e intervenciones públicas, la educación como la vía esencial para



alcanzar la convivencia entre las gentes más diversas, para aunar voluntades contra los abusos de las tiranías, para adquirir la independencia de pensamiento necesaria para ser ciudadanos libres, y para saber lo fundamental de cualquier ámbito del conocimiento. Y opinaba, como no podía ser de otra forma, desde su condición de persona interesada en “el bienestar de la república”, no como científico ni experto en la materia: “¿De dónde he de sacar yo, que soy un lego en el campo de la pedagogía, ánimos para exponer mis opiniones sin más fundamento que la experiencia personal y la personal convicción?”

Desde su propia visión del mundo, tenía en alto aprecio a quienes se sentían con vocación para la enseñanza porque para él “la escuela ha sido siempre el medio más importante de transmitir el tesoro de la tradición de una generación a la siguiente. Y hoy más que antes, pues a causa del moderno desarrollo de la vida económica, la familia, como sostén de la tradición y de la educación, se ha ido debilitando. La continuidad y la salud de la humanidad dependen hoy de la escuela en más alto grado que antes”. Máxima que siempre enarboló como remedio a los males y desengaños de los que fue víctima o testigo a lo largo de su vida.

Por tanto, valoraba la escuela no sólo como centro para adquirir conocimientos, pensaba que “deberían cultivarse en los individuos jóvenes cualidades y aptitudes valiosas para el bien común”. Anteponía la formación personal y ciudadana al mero aprendizaje, pero el método para incidir en el desarrollo de la personalidad no debía ser, en su opinión, la transmisión verbal: “Las grandes personalidades no se forman con lo que se oye y se dice, sino con el trabajo y la actividad...con la realización de tareas concretas, y esto vale –escribe Einstein– tanto para aprender las primeras letras en la escuela como para una tesis de doctorado en la Universidad”, tareas a realizar con libertad, sin miedos ni coacciones para fomentar “esa curiosidad divina que todo niño posee, pero que tan a menudo se debilita prematuramente”. Para hacer posible esta forma de entender la educación, la requerida para que prospere la democracia entre los pueblos, aconseja: “Poned, por tanto, en manos del maestro las más débiles medidas coercitivas, de manera que la única fuente de respeto de los alumnos hacia él sean sus cualidades humanas e intelectuales”.

Einstein es contrario a quienes plantean el triunfo como objetivo primordial de la vida, objetivo que para él no debería trasladarse a la escuela: “En la escuela y en la vida el más importante estímulo de trabajo es el placer en el trabajo, placer en su resultado y en el conocimiento del valor de ese resultado para la comunidad. En despertar y fortalecer estas fuerzas psicológicas en la juventud veo yo la más importante tarea de la escuela. Solamente este fundamento psicológico conduce al gozoso deseo de los más altos bienes del hombre: el conocimiento científico y la creación artística”.

En relación con la formación científica de la juventud, opinaba: “La mente de un joven no debe atiborrarse de datos, nombres y fórmulas: cosas todas que puede encontrar en los libros, sin necesidad de seguir ningún curso universitario. Los años de estudio deben emplearse únicamente para enseñar a pensar al joven, para darle un entrenamiento que ningún manual puede sustituir. Es un verdadero milagro que la pedagogía moderna no haya llegado a ahogar completamente la santa curiosidad de la búsqueda. Creo que se podría, incluso, hacer desaparecer la voracidad de una fiera salvaje sana, a base de obligarla, bajo la amenaza del látigo, a comer constantemente aunque no tuviera hambre y, sobre todo, eligiendo de forma apropiada el alimento que le forzaría a tragar”.

Estas son, a grandes rasgos, las opiniones sobre educación de quien hizo de su vida una fatigosa caminata hacia la satisfacción de su “hambre del alma”, el deseo de saber, y la búsqueda de una pacífica forma de convivencia entre los pueblos. Al final de sus días no quedo satisfecho de ninguno de ellos, pero el recorrido y los resultados merecieron el esfuerzo.



EINSTEIN ANTE LA SOCIEDAD

Einstein no fue un superhombre sino un ser humano con sus preocupaciones y sus contradicciones



Emilio Muñoz

Profesor de Investigación del CSIC

Jefe Departamento Ciencia, Tecnología y Sociedad del Instituto de Filosofía del CSIC

Uno de los momentos más impactantes en mi vida de relación con la ciencia, que dura ya casi cincuenta años, fue encontrarme con la estatua de Albert Einstein en Washington, D.C., delante de las escalinatas que dan acceso a la Academia de Ciencias y que tiene enfrente el edificio de la Casa Blanca. La estatua muestra un Einstein cercano, casi familiar, al que tienen acceso las familias con sus niños, los pájaros y las hojas de los árboles que caen en otoño. Para quiénes nos dedicamos al análisis de las conexiones entre ciencia, tecnología y sociedad este dato tiene un gran significado, puesto que pone de relieve la necesidad e importancia de nuestro empeño al mismo tiempo que abre algunas expectativas positivas para la consecución de una ciencia que sea socialmente sostenible.

Es indudable que Einstein es un ícono de la ciencia moderna: ha sido un personaje al que se ha recurrido para las viñetas y anécdotas científicas y cuya figura ha sido asociada con la personificación de científicos en el ámbito teatral y cinematográfico. Pero, a pesar de su extraordinaria talla científica, Einstein no fue un superhombre sino un ser humano con sus preocupaciones y sus contradicciones.

Desde mediados del siglo XX cuando nace la moderna política científica tras la II Guerra Mundial, los físicos tienen que enfrentarse a una situación ambivalente. Son ellos los que con sus avances sobre la física nuclear propiciaron las armas atómicas que facilitaron la victoria aliada pero son también ellos los receptores de las acusaciones de las terribles consecuencias de su empleo y de los peligros inherentes a su desarrollo.

Einstein fue un precursor de esta línea ya que desde los 1930 abrazó la defensa activa de la paz. En su libro *“Mi visión del mundo”* (Fábula Tusquets editores, 2004, 5ª edición) declara «La participación activa a fin de resolver el problema de la paz es una responsabilidad moral que ningún hombre consciente puede dejar de lado». Confiesa su limitada intervención en la construcción de la bomba atómica circunscrita al hecho de firmar una carta dirigida al Presidente Roosevelt ante «la posibilidad de que los alemanes estuvieran trabajando en lo mismo (realizar una bomba atómica)». Interviene en el *Congreso Estudiantil para el Desarme* con un discurso en el que subraya la importancia de las “fuerzas morales”.

Su preocupación por el desarme le lleva a tomar un gran protagonismo en la Conferencia para el Desarme de 1932, a la que en su discurso atribuye un valor decisivo para el destino de la generación actual y de las siguientes. El reconocimiento de la importancia de la opinión pública está muy presente al declarar lo siguiente: «Únicamente si están respaldados por una mayoría ávida de paz, los jefes de Gobierno podrán lograr lo que se proponen. Cada uno de nosotros es responsable de la formación de una opinión pública a través de cada acto, de cada palabra».



Con estas referencias a su preocupación e iniciativas en pro de la paz, ya podríamos declarar a Albert Einstein como un científico, un intelectual plenamente vinculado al movimiento CTS, orientado a explorar las relaciones entre el desarrollo científico y tecnológico y el progreso social. Pero estas conexiones no terminan aquí.

Me parece pertinente destilar algunas citas de sus escritos de pensamiento y reflexión por su increíble vigencia, trascurrido tres cuartos de siglo desde que fueron enunciados:

En el contexto del papel de los Estados Unidos en relación con los conflictos bélicos ... «Pero no será la economía de libre mercado la que resuelva automáticamente lo más difícil. Hará falta una legislación que establezca normas de repartición del trabajo y de los bienes de consumo, sin las cuales la población de los países más ricos se asfixiaría... está claro que el progreso de la técnica ha hecho disminuir la demanda de trabajadores, ...no será el libre juego de las fuerzas (la solución), sino una adecuada legislación».

Respecto a sus pensamientos acerca de la situación de Europa: «La situación política del mundo y en especial de Europa se me aparece caracterizada por un notorio retraso en hechos y en ideas... Los intereses de los Estados deberían subordinarse a los intereses de una mayoría que se ha vuelto muy vasta»

En lo concerniente a la seguridad (futuro) de la especie humana: «El descubrimiento de las reacciones atómicas en cadena no tiene por qué ser más peligroso para la humanidad que el descubrimiento de las cerillas. Pero debemos hacer todo lo necesario para evitar su mal uso»

Sobre la verdad científica: «No es fácil dar sentido ... a la expresión "verdad científica". El sentido de la palabra "verdad" cambia según se trate de un hecho experimental, de una ley matemática o de la teoría de una ciencia de la naturaleza». En este punto me voy a permitir la osadía de la "autoreferencia" para manifestar la sintonía con este punto ya que, como he señalado en diversas ocasiones principalmente en conferencias divulgativas y en conexión con los medios de comunicación, en "ciencia no existe la verdad absoluta, sino que hay verdades que son contrastables, verificables y modificables".

De todas formas, apuntaba al principio que Einstein como ser humano no estuvo ajeno a las contradicciones. Su relación con las mujeres no pareció ajustarse a los patrones de racionalidad que caracterizaron otras facetas de sus acciones y pensamientos. Su repuesta a una asociación de mujeres norteamericanas que se creyó en el deber de protestar contra la presencia de Einstein en el país, despliega algunos detalles de la dificultad de sus relaciones con el "bello sexo" según su propia calificación.

Todas las perlas, que desde mi modesta posición para juzgar la dimensión social de Albert Einstein, he entresacado ofrecen argumentos para considerar al gran científico judío alemán como un pionero de las preocupaciones por la relación entre ciencia y sociedad. Al reconocerlo así, los cultivadores de esta línea de investigación y de pensamiento hacemos un ejercicio de modestia, ya que los estudios CTS son modernos en su faceta organizativa pero tienen una tradición de la que hay que sentirse orgullosos. Parafraseando a Newton, se podría decir «que los avances en los estudios CTS son posibles porque ha habido gigantes sobre cuyos hombros apoyarse»



NANOCIENCIAS Y NANOTECNOLOGÍAS

La teoría de la relatividad general se ocupa de la estructura global del Universo mientras que el efecto fotoeléctrico trata de fenómenos que tienen lugar en el interior de los átomos



Juan Rojo

Catedrático de Física del Estado Sólido

Director del Laboratorio de Física de Superficies en la Universidad Complutense

Celebramos en 2005 el Año de la Física al cumplirse el centenario del año 1905 en el que Einstein publicó sus tres extraordinarios trabajos que cubrían desde la teoría de la relatividad restringida hasta el efecto fotoeléctrico. La teoría de la relatividad general se ocupa de la estructura global del Universo mientras que el efecto fotoeléctrico trata de fenómenos que tienen lugar en el interior de los átomos. Es pues una buena ocasión para recordar la enorme extensión del mundo físico, que abarca desde lo más grande, el universo, hasta lo más pequeño, la estructura íntima de las partículas nucleares. Este empeño cubre no menos de 42 órdenes de magnitud que va desde los 10^{26} metros (¡un uno seguido de 26 ceros!), que es el tamaño aproximado del Universo, hasta los 10^{-16} metros (se necesitaría juntar un billón de estas partículas para tener el diámetro de un pelo de la cabeza), tamaño típico de las partículas del núcleo atómico. El mundo macroscópico que nos rodea (personas, edificios, distancias entre ciudades etc), está situado hacia la mitad de este intervalo.

Desde hace algunos años se registra una intensa actividad investigadora en sistemas y fenómenos que tienen lugar a escalas unas mil millones de veces menores que las de dicho mundo macroscópico: es el dominio de lo que se ha dado en denominar nanociencias y nanotecnologías. La investigación en este dominio se propone analizar, entender y, si es posible, modificar a voluntad estructuras cuya tamaño es de nanómetros (recordemos que $1 \text{ nanómetro} = 10^{-9} \text{ m}$ = una milmillonésima de metro), es decir tamaños comparables a las dimensiones de los átomos. Para realizar este programa se necesitan sistemas de detección susceptibles de ofrecernos imágenes a escala atómica de los materiales en estudio así como herramientas de tamaños similares, capaces de manipular átomos y moléculas.

Un avance fundamental en este estudio fue el descubrimiento y puesta a punto de los circuitos integrados, punto de partida para la construcción de dispositivos cada vez más pequeños, que valió el premio Nobel de Física a Alferov, Kroemer y Kilby. Este descubrimiento propició el desde entonces continuo avance en la integración de dispositivos electrónicos de dimensiones cada vez más reducidas. Otro hito central fue la puesta a punto por Rohrer y Binnig (premios Nobel de Física en 1986) del microscopio túnel de barrido (STM) con el que no solamente se pueden obtener imágenes de los sólidos a escala atómica sino que se pueden manipular a voluntad los átomos de una superficie. Un ejemplo de las imágenes que se obtienen con esta técnica se muestra en la figura adjunta. Con esta extraordinaria herramienta se abre la vía para confeccionar estructuras atómicas "a medida". Por su parte, la técnica denominada de fotoemisión, directamente relacionada con el efecto fotoeléctrico descrito por vez primera por Einstein, permite hoy día obtener información sobre la estructura electrónica de las mencionadas nanoestructuras y, por lo tanto, de la

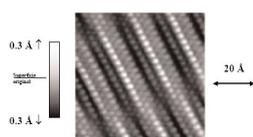


reactividad química local. La Ciencia de las Nanoestructuras constituye un auténtico punto de convergencia entre la Física y la Química.

Sería un error pensar que los avances conectados con estas nuevas técnicas consisten únicamente en el desarrollo de ingeniería inteligente, a pesar del gran interés de esta última. En el terreno de las Nanociencias hay todavía una gran cantidad de ciencia básica por desarrollar. En efecto, cuando las dimensiones de un sistema se hacen muy pequeñas aparecen propiedades novedosas, bien distintas de la que presenta el mismo material a la escala del mundo de nuestro entorno. En el dominio de las nanoestructuras, se puede hablar de una nueva física, que hay que desarrollar desde el principio y que aún encierra seguramente sorpresas importantes. A continuación analizamos algunos ejemplos.

Quizás el ejemplo más conocido sea el de las nanoestructuras de semiconductores. En efecto hoy día es posible construir nanoestructuras de dimensión 2, tales como películas delgadas en heteroestructuras, de dimensión 1, tales como los hilos cuánticos y hasta de dimensión 0, los denominados puntos cuánticos. Unas y otras presentan propiedades intrínsecas muy singulares, dependientes sobre todo del denominado confinamiento cuántico, que hacen que ya se empleen como elementos de tecnología de circuitos semiconductores. Otro ejemplo notable son las nanoestructuras magnéticas. Desde hace dos décadas se vienen estudiando las propiedades magnéticas de pequeños aglomerados de átomos de sustancias ferromagnéticas (p.ej. hierro) y se ha visto que para aglomerados menores de un centenar de átomos el momento magnético por átomo crece notablemente con respecto a su valor en un cuerpo macroscópico. Asimismo se ha observado recientemente que partículas de materiales que están lejos de ser ferromagnéticos en forma masiva (p.ej. el Au o el Pd), se vuelven ferromagnéticos cuando se depositan en ciertas condiciones sobre sustratos inertes. Para cuerpos de dimensiones macroscópicas considerar el oro como un imán era algo que hubiera merecido ser tildado de locura, pero investigaciones recientes parecen mostrar que tal puede ser el caso en una nanoestructura. Un último ejemplo que indicamos es el de las propiedades de reactividad química. En efecto, todo parece indicar que la reactividad química en estado sólido (p.ej. en catalizadores heterogéneos) en muchos casos está asociada a la presencia en la superficie de las partículas del material de centros activos tales como escalones monoatómicos o átomos que faltan (vacantes). Las nanoestructuras son especialmente ricas en este tipo de centros por lo que se está intentando caracterizar y controlar su aparición. Es este el primer paso para el diseño y construcción de auténticos nanorreactores de catálisis, capaces de acelerar reacciones químicas de forma controlada empleando muy pequeñas cantidades de catalizador e incluso de aumentar sustancialmente su eficiencia con respecto a catalizadores convencionales.

En síntesis, se dispone actualmente de técnicas capaces de producir y caracterizar nanoestructuras cuyas propiedades físicas y químicas son muy distintas, incluso cualitativamente, de las del material masivo. Cabe esperar que en un futuro próximo se puedan manipular a escala atómica dichas nanoestructuras y no parece lejano el día en que éstas puedan conducir a la producción de "materiales a medida" con propiedades prefijadas.



Ejemplo: Imagen con resolución atómica (¡se ven los átomos!) de una nanopartícula de oro. Nótese la escala horizontal señalada a la derecha. Los átomos aparecen como "bolas": el nivel de gris representa la coordenada perpendicular al plano del papel según la escala adjunta a la izquierda. La superficie en cuestión está corrugada. (Imagen STM del Laboratorio de Física de Superficies de la Universidad Complutense).



ALBERT EINSTEIN: A PHYSICIST FOR THE TWENTYFIRST CENTURY

The problem of the value of Λ is one of the greatest questions of the Universe, all along from its introduction in 1917 by Einstein: it has now become widely clear that we are facing a deep mystery and that the problem will presumably stay with us for a long time



Carlo Rubbia

1984 Nobel Laureate in Physics. Director-General of the CERN from 1989 to 1994.
CIEMAT, Madrid, Spain

Einstein's contribution to physics has been immense and has covered many different subjects, from special to general relativity, from statistical mechanics to quantum theory. Many of these subjects are today primarily of historical value. But there is one puzzle which today more than ever is preoccupying the physics community, the one of the so-called "cosmological constant" which has been recently the subject of important new experimental facts.

Several increasingly accurate astronomical observations have strengthened the evidence that today's Universe is dominated by an exotic nearly homogeneous energy density with *negative* pressure. This discovery is of the highest interest for particle physicists, gravitational physicists, and cosmologists alike, since the empty space still contains lots of invisible energy.

The simplest candidate for this so-called *Dark Energy* is a cosmological term in Einstein's field equations, a possibility that has been considered during all the history of relativistic cosmology. Independently of what the nature of this energy is, one thing is clear since a long time: The energy density belonging to the cosmological constant, currently indicated with the constant Λ , is not larger than the critical cosmological density $\Omega_0 \approx 1$, and thus incredibly small by particle physics standards. This is a profound mystery, since we expect that all sorts of *vacuum energies* contribute to the effective cosmological constant.

At this point a second puzzle has to be emphasized, because of which it is hard to believe that the vacuum energy constitutes the missing two thirds of the average energy density of the *present* Universe.

If this would be the case, we would also be confronted with the following *cosmic coincidence* problem: since the vacuum energy density is constant in time, while the matter energy density decreases as the Universe expands, it would be more than surprising if the two would be comparable just at about the present time, while their ratio was tiny in the early Universe and would become very large in the distant future.



Einstein's intention was to eliminate all vestiges of absolute space. It is along these lines that he postulated a Universe that is spatially finite and closed, a Universe in which no boundary conditions are needed.

In addition, Einstein assumed that the Universe was *static*. This was not unreasonable at the time, because the relative velocities of the stars as observed were small. Astronomers only learned later that spiral nebulae are independent star systems outside the Milky Way. This was definitely established when in 1924 Hubble found that there were Cepheid variables in Andromeda and also in other galaxies. These two assumptions were, however, not compatible with Einstein's original field equations. For this reason, Einstein added the famous Λ -term, which is compatible with the principles of general relativity.

Until about 1930 almost everybody believed that the Universe was static, in spite of the fundamental papers by Friedmann and Lemaître, largely ignored.

Einstein too accepted the idea of an expanding Universe only much later. He was extremely upset: "[Friedmann's paper] while mathematically correct is of no physical significance". In comments to Lemaître during the Solvay meeting in 1927, Einstein again rejected the expanding universe solutions as physically unacceptable, telling Lemaître: "*Vos calculs sont corrects, mais votre physique est abominable*".

It appears astonishing that Einstein did not realize that his static model was unstable, and hence that the Universe has to be either expanding or contracting.

Lemaître's successful explanation of Hubble's discovery finally changed the viewpoint of the majority of workers in the field. At this point Einstein "*rejected the cosmological term as superfluous and no longer justified*". Whether Einstein really considered the introduction of the Λ -term as "*the biggest blunder of his life*" appears doubtful, though it has been widely mentioned. Einstein discarded the cosmological term just for simplicity reasons. Paraphrasing Rabi, one might ask: "who ordered it away"?

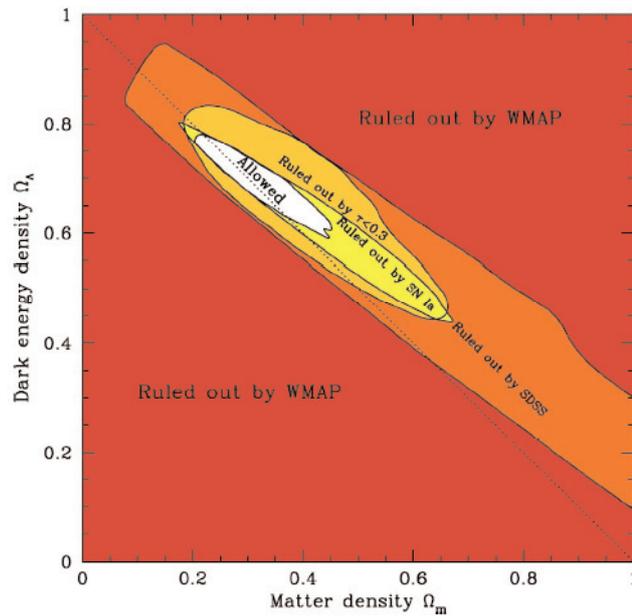
More than 50 years have passed away without a Λ -term. But new, revolutionary experiments have been recently carried out. Investigations of the cosmic microwave background have presumably contributed most to the remarkable progress in cosmology during recent years. Beside its spectrum, we also can study the temperature fluctuations over the "cosmic photosphere" at a red-shift $z \approx 1100$. Through these we get access to crucial cosmological information (primordial density spectrum, cosmological parameters, etc). These observations tell us a lot about the cosmological parameters as well as the initial conditions, and thus about the physics of the very early Universe. These are all consistent with the "cosmic concordance" model ($\Omega_M = 0.3$; $\Omega_\Lambda = 0.7$). For a flat universe with a cosmological constant, the fit gives $\Omega_M = 0.29_{-0.13}^{+0.19}$ (equivalently, $\Omega_\Lambda = 0.71$) (See Figure).

But such a value for $\Omega_\Lambda \neq 0$ opens a huge Pandora box. In particular the quantum aspects of the Λ -problem, which somehow should be also included, are really very serious, *but in the wrong direction: Λ -term is too small!* Since quantum physicists had so many other problems, it is not astonishing that in the early years they did not worry about this subject. Estimates based on quantum mechanics predict invariably values for Λ -term which are up to *fifty orders of magnitude* larger than the experimental value, $\Omega_\Lambda = 0.7$. How can we reconcile such huge differences?



The problem of the value of Λ is one of the greatest questions of the Universe, all along from its introduction in 1917 by Einstein: it has now become widely clear that we are facing a deep mystery and that the problem will presumably stay with us for a long time.

(*) For a more complete description I refer to the excellent paper by Norbert Straumann, The History and the Mystery of the Cosmological Constant, Institute for Theoretical Physics, University of Zurich from which I have been inspired.



95% constraints in the $(\Omega_M, \Omega_\Lambda)$ plane, extracted from Figure 9 of M. Tegmark et al., Phys. Rev. D69, 103501 (2004); astro-ph/0310723. Shaded dark red/gray region is ruled out by WMAP alone. The shaded light red/gray region is ruled out when adding SDSS information. Continuing inwards, the next two regions are ruled out when adding the $\tau < 0.3$ assumption and when including SN Ia information as well. The overall fit is represented by the white area.



ALBERT EINSTEIN: UN FÍSICO PARA EL SIGLO XXI

El problema del valor de la constante cosmológica Λ ha sido una de las grandes preguntas del Universo desde el mismo momento de su introducción en 1917 por Einstein. No hay ninguna duda que nos enfrentamos ante uno de los grandes misterios de la ciencia y que el problema seguirá con nosotros por un periodo largo de tiempo



Carlo Rubbia

*Premio Nobel de Física en 1984. Director General del CERN de 1989 a 1994.
Asesor del Director General del CIEMAT*

No cabe duda de que la contribución de Einstein a la física ha sido enorme y muy variada, abarcando desde la relatividad especial a la general pasando por la mecánica estadística o la teoría cuántica. Muchas de estas aportaciones tienen hoy, sobre todo, un valor histórico, pero hay una en concreto que sigue desconcertando y preocupando a los físicos actuales. Se trata de la denominada “constante cosmológica”, que ha sido recientemente sujeto de importantes comprobaciones experimentales.

Observaciones astronómicas cada vez de mayor precisión han venido a reforzar la evidencia de que el Universo actual está dominado por una exótica y casi homogénea densidad energética que produce una presión *negativa*. Este descubrimiento es de gran interés tanto para los físicos de partículas como para los físicos gravitacionales y los cosmólogos, ya que el espacio vacío contiene una gran cantidad de energía invisible.

El candidato más sencillo para esta *energía oscura* es la constante cosmológica de las ecuaciones de campo de Einstein, solución que ha sido considerada durante toda la historia de la cosmología relativista. Independientemente de cuál sea la naturaleza de esta energía oscura, una cosa parece estar clara desde hace tiempo: la densidad energética debida a la constante cosmológica, descrita normalmente por la constante Λ , no es mayor que la densidad cosmológica crítica $\Omega_0 \approx 1$, y por tanto increíblemente pequeña para lo que es habitual en la física de partículas. Se trata de algo que no deja de sorprender, ya que se supone que todos los tipos de *energía del vacío* contribuyen a la constante cosmológica efectiva.

Llegados a este punto me gustaría llamar la atención sobre una segunda paradoja que contribuye a poner en duda el hecho de que la energía del vacío constituya los dos tercios de densidad de energía oscura presentes en el Universo *actual*.

Si esto fuera cierto nos enfrentaríamos al siguiente problema de *coincidencia cósmica*. Dado que la densidad de energía asociada al vacío es constante en el tiempo, mientras que la densidad de energía asociada a la materia decrece según se expande el Universo, sería más que sorprendente que

dichas energías fueran comparables precisamente en el momento actual mientras que su cociente en los primeros instantes del Universo habría sido muy pequeño y sería enorme en un futuro lejano.

Einstein buscó eliminar cualquier indicio de espacio absoluto. Fue esta la razón por la que postuló un Universo espacialmente finito y cerrado, un Universo que no necesitara de condiciones de contorno.

Además, Einstein asumió que el Universo era estático. Algo que no era descabellado ya que los datos de velocidades relativas de las estrellas presentaban magnitudes pequeñas en esa época. Sin embargo, los astrónomos descubrieron más tarde que las nebulosas espirales formaban sistemas estelares independientes fuera de la Vía Láctea. Este hecho fue definitivamente establecido cuando, en 1924, Hubble pudo observar Cefeidas variables en Andrómeda y otras galaxias. Estas dos suposiciones no eran, sin embargo, compatibles con las ecuaciones de campo propuestas inicialmente por Einstein e hicieron que éste introdujera la famosa constante cosmológica Λ que es compatible con los principios de la relatividad general.

Aproximadamente hasta 1930 casi todo el mundo creía que el Universo era estático, ignorando artículos fundamentales publicados en esa época por Friedmann y Lemaître opinando lo contrario.

El mismo Einstein aceptó la idea de un Universo en expansión mucho más tarde, llegando a afirmar a propósito del artículo de Friedmann que *“a pesar de ser matemáticamente correcto no tiene ningún significado físico”*. Dirigiéndose a Lemaître durante el Congreso Solvay de 1927, Einstein rechazó las soluciones de un Universo en expansión como físicamente inaceptables afirmando *“sus cálculos son correctos, pero su física es abominable”*.

Es sorprendente que Einstein no se diera cuenta de que su modelo estático era inestable y por tanto que el Universo debería estar o bien en expansión o bien en contracción.

El éxito de la explicación que dio Lemaître al descubrimiento de Hubble cambió finalmente el punto de vista de la mayoría de los físicos. Es entonces cuando Einstein *“rechazó la constante cosmológica como superflua y carente de justificación”*. A pesar de ser algo a menudo citado, parece sin embargo dudoso que Einstein considerara la introducción de la constante cosmológica Λ como *“el mayor error de su vida”*. Einstein descartó la constante cosmológica por razones de simplicidad. Parafraseando al nobel Rabi, uno debería preguntarse *“¿quién solicitó eliminarla?”*.

Han pasado más de 50 años sin la constante cosmológica Λ . Sin embargo, nuevos y revolucionarios experimentos se han llevado a cabo recientemente. Las investigaciones sobre la radiación de fondo de microondas son probablemente las que más han contribuido al progreso espectacular de la cosmología actual. Además de su espectro, podemos también estudiar las fluctuaciones de temperatura alrededor de la llamada *“fotoesfera cósmica”* situada entorno al corrimiento al rojo $z \approx 1100$, lo que nos permite acceder a un conjunto importante de información cosmológica (espectro de densidad primordial, parámetros cosmológicos, etc.). Estas observaciones nos proporcionan mucha información sobre los parámetros cosmológicos, así como sobre las condiciones iniciales, y por tanto sobre la física de los primeros instantes del Universo. Todas ellas consistentes con el llamado modelo de *“concordancia cósmica”* ($\Omega_M = 0.3$; $\Omega_\Lambda = 0.7$). Para un Universo plano con constante cosmológica, la correspondencia es $\Omega_M = 0.29-0.13+0.19$ (o equivalentemente, $\Omega_\Lambda = 0.71$) (ver figura).

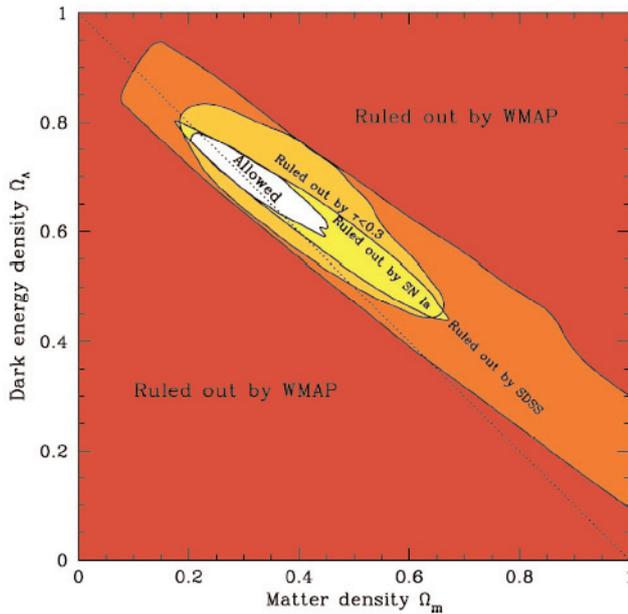
Pero un valor para $W_\Lambda \neq 0$ abre una enorme caja de Pandora. En concreto, los aspectos cuánticos del problema, que de alguna manera deberían estar incluidos, son importantes *pero en la dirección equivocada: ¡la constante cosmológica Λ es demasiado pequeña!*. Debido a que en su momento los físicos



cuánticos tuvieron muchos otros problemas, no es sorprendente que no se ocuparan de este problema. Estimaciones basadas en la Mecánica Cuántica predicen valores de la constante cosmológica que son de hasta *50 ordenes de magnitud superiores* que el valor experimental de $\Omega_\Lambda = 0.7$. La pregunta ahora es cómo reconciliar estas enormes diferencias.

El problema del valor de la constante cosmológica Λ ha sido una de las grandes preguntas del Universo desde el mismo momento de su introducción en 1917 por Einstein. No hay ninguna duda que nos enfrentamos ante uno de los grandes misterios de la ciencia y que el problema seguirá con nosotros por un periodo largo de tiempo.

(*) Para una descripción más completa recomiendo el excelente artículo de Norbert Straumann en el que me he basado, *The History and the Mystery of the Cosmological Constant*, Instituto de Física Teórica, Universidad de Zurich.



Plano $(\Omega_M, \Omega_\Lambda)$, extraído de la Figura 0 de M. Tegmark et al., *Phys. Rev. D*69, 103501 (2004); astro-ph/0310723. La zona roja oscura queda excluida solo por WMAP. La región naranja queda excluida al incorporar la información SDSS. Avanzando hacia el interior, las dos siguientes regiones quedan excluidas al añadir el supuesto $\tau < 0.3$ y al incluir también la información SN Ia. El ajuste total está representado en blanco.



EINSTEIN Y LA CREATIVIDAD

El momento de la inspiración creativa proviene muy probablemente del inconsciente y está estrechamente ligado al sistema emocional de nuestro cerebro



Francisco José Rubia

Catedrático de Fisiología

Director del Instituto Pluridisciplinar de la Universidad Complutense de Madrid

En 1971, Albert Rothenberg acuñó el término “pensamiento jánico”, basándose en el dios Jano de la mitología romana, dios que tenía dos caras mirando en direcciones opuestas, una hacia el pasado y la otra hacia el futuro. El dios Jano le dio el nombre al mes de enero que está situado entre el año viejo y el año nuevo. El hecho de que Jano pudiese mirar tanto hacia atrás como hacia delante fue lo que movió al psiquiatra Rothenberg a usar el término jánico para describir la clave, según él, de la creatividad de Albert Einstein. Según Rothenberg, el pensamiento jánico se caracteriza por poder concebir dos o más conceptos o imágenes opuestos o antitéticos al mismo tiempo. En 1979 Rothenberg escribía un libro con el título: “La diosa emergente. El proceso creativo en arte, ciencia y otros campos”; la diosa emergente es Palas Atenea, que no nace, según la mitología griega, de un parto normal, sino directamente de la cabeza de Zeus como si fuese una inspiración creativa del padre de los dioses.

Es conocido que nuestra capacidad lógico-analítica, muy probablemente localizada en el hemisferio izquierdo del cerebro, nos hace pensar en términos antitéticos o antinomias, es decir, con otras palabras, es una forma dualista de ver el mundo. El neuropsicólogo ruso Alexander Luria tuvo un paciente con una lesión en la región inferior del lóbulo parietal izquierdo que era incapaz de pensar en términos antitéticos, no sabiendo distinguir ni siquiera términos como arriba/abajo, delante/atrás, antes/después, etc. Este hecho nos hace pensar que esa visión dualista puede ser el producto de la actividad de esa región del hemisferio izquierdo que generalmente utilizamos cuando pensamos lógicamente. El psiquiatra norteamericano Eugene D’Aquili lo llamó “el operador binario”. El pensamiento dualista lo encontramos en la mitología, la filosofía y la ciencia en general, así como en el lenguaje.

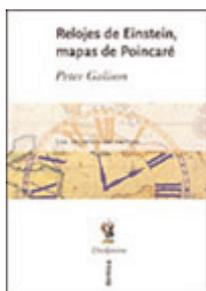
Pero existe otra forma de pensar no-dualista, holística, que se supone es la forma que utiliza el hemisferio del lado derecho de nuestro cerebro. En esta otra forma de pensamiento, el dualismo desaparece y los términos antitéticos pueden pensarse sin generar contradicciones. También desaparece el tiempo y el espacio, que es posible sean fruto del pensamiento común del hemisferio izquierdo. Esta sería la forma en la que la creatividad se expresa en cualquier campo. También es la forma en la que se expresa el pensamiento onírico. Freud lo denominó “proceso primario”, siendo el proceso secundario el pensamiento dualista normal. Jung lo denominó “pensamiento fantástico”. Su parentesco con el pensamiento onírico hace que no nos extrañe que algunos descubrimientos en ciencia se hayan hecho a partir de un sueño de sus autores. Pero no sólo en ciencia: los poetas William Blake y Samuel Taylor Coleridge informaron de estados oníricos durante la creación de sus poemas.

Pero el tema que nos ocupa es la creatividad en Einstein. En un artículo, publicado en 1919 con el título: "La idea fundamental de la relatividad general en su forma original", Einstein, refiriéndose a las teorías de Faraday y Maxwell-Lorentz escribía: "el pensamiento de que estamos tratando aquí con dos casos fundamentalmente diferentes fue para mí insoportable". Se refiere a dos pensamientos contradictorios que él supera aceptando ambos, o, con otras palabras, dando un salto no-dualista en su pensamiento.

No es este el lugar para extenderse más en el tema, pero, por los ejemplos que tenemos de la historia de varias disciplinas, el momento de la inspiración creativa proviene muy probablemente del inconsciente y está estrechamente ligado al sistema emocional de nuestro cerebro. El hemisferio derecho es el que mejor y mayores conexiones posee con el llamado sistema límbico que es en el cerebro el sistema de nuestras emociones y afectos. No estaría mal que, a la vista de esta plausible hipótesis de Rotenberg, prestemos más atención al desarrollo educativo y cultivo sistemático de nuestro hemisferio derecho y, de esta manera, fomentar la creatividad.



EL BRICOLAGE DE LA RELATIVIDAD*



Peter Galison.

Relojes de Einstein, mapas de Poincaré. Los imperios del tiempo. Barcelona: Crítica/Drakontos, 2004, pp. 440, Traducción de Javier García Sanz

Antonio Lafuente

Centro de Estudios Históricos. Consejo Superior de Investigaciones Científicas

*Esta reseña apareció publicada en el número 106 de la Revista de Libros, pp. 25-26.

Las musas siempre te pillan trabajando, dicen quienes no ven contradicción entre la genialidad y la constancia. Pero Galison, acostumbrado a huir de los tópicos recibidos y a tratar en sus escritos con sabios de muchos quilates, diría que la expresión es confusa y conformista, al menos que ahondemos en lo que encierra la palabra trabajo. Para Galison, profesor de física e historia de la ciencia en Harvard, los gestos contemplativos, sociopatas y tecnófobos deben espantar a las diosas, porque lo que encuentran las musas cuando vienen a socorrer a un científico -nos dice el historiador- es a alguien manipulando cosas, trasteando objetos, recolocando términos, negociando significados o conectando aparatos.

Pensar, sin duda, es algo más manual que cerebral y siempre involucra un sin fin de *gadgets* profesionales, desde las tablas y las computadoras a las fórmulas, los instrumentos y las bibliotecas. Nuestras historias, sin embargo, siguen empeñadas en describir la ciencia y la cultura como una logomaquia, una especie de exhudación cerebral de la que han desaparecido todos los adminículos que conforman, no por casualidad, el ecosistema del científico. No es que aparezcan pocas referencias a las máquinas, siendo así que absorben gran parte del tiempo de una actividad que es de naturaleza experimental, es que la vida en el laboratorio ha desaparecido del todo. Los científicos, con frecuencia, son presentados como escritores, gentes que publican cosas, aunque muy pocas veces sus escritos han sido analizados como artefactos retóricos, pues no se olvide que los textos traducen a palabras y lenguajes lo que se hizo con las manos y se visualizó mediante máquinas.

El caso es que Peter Galison ve las cosas de otra manera y para demostrarlo ha elegido el más difícil de todos los casos: Einstein, el científico más conocido de todos los tiempos, la mente humana más prodigiosa. En efecto, el cerebro de Einstein sigue siendo un objeto de culto. Muchos consideran increíble que de nuevo se intente encontrar una relación directa entre morfología e inteligencia¹. Y es que al aplicarle las técnicas de análisis más sofisticadas se le han encontrado un par de singularidades muy notables en sus lóbulos parietales. S. Pinker, conocido neurólogo del *Massachusetts Institute of Technology, MIT*, está encantado y pregonó su alegría a los cuatro vientos con frases de impacto mediático: "Es una extraña coincidencia que este cerebro que unificó las categorías fundamentales de la existencia: el espacio y el tiempo, la materia y la energía, la gravedad y el movimiento, nos esté ayudando a unificar la última gran dicotomía del cosmos conceptual, la de la materia y la mente". Y si con la cabeza se pueden hacer primores fisiológicos, ¿por qué no aprovechar su nombre para introducirse en la política científica? Lee Smolic, experto en gravedad cuántica en el *Perimeter Institute for Theoretical Physics* (Waterloo, Ontario), acaba de sumarse al centenario con la pregunta *Why No "New Einstein"?*² desde el influ-



yente *Physics Today*. Con independencia de la respuesta, el asunto es que todo cuanto viene referido a Einstein adquiere ese halo de misteriosa genialidad, esa mística alrededor del sabio solitario y desinteresado, que sólo se mueve para dar satisfacción a la innata curiosidad y siempre para ensanchar el común. El texto de Smolin no tiene desperdicio. Comienza afirmando que, si bien los grandes descubrimientos vienen de la mano de las mentes independientes, como la de Einstein, nuestro sistema ha evolucionado en la dirección opuesta a la más conveniente. No sólo es incapaz de captar el poco talante revolucionario que pudiera existir, sino que está amenazando el necesario espíritu crítico: Einstein sería imposible en un mundo donde los científicos son asfixiados por la doble pinza que forman la presión para investigar con fines prácticos y la obligación de publicar en revistas de impacto. La consecuencia, dice Smolin y los muchos científicos que están coreando este *blues* contra la *big science*, es que la misma democracia está amenazada. No sólo se está cercenando la creatividad e independencia de los investigadores, sino que están siendo masacrados los viejos ideales que hacían de la ciencia una empresa, decía Merton, desinteresada, comunitarista, cosmopolita y escéptica.

Pero Galison no está de acuerdo. La pregunta es mala por estar impregnada de esa ideología que ha contribuido incansable a la construcción del mito de la *old fashion science*, una ciencia recluida en pequeños espacios, protegida de la mirada pública, sostenida por mentes preclaras, hecha de paradigmas sin fronteras, y donde los dineros, las máquinas, los públicos, los gestores, las editoriales y los ministros sólo eran asuntos contingentes, actores secundarios, mero *atrezzo* en un teatro donde ardían los conceptos, los teoremas, los experimentos cruciales y los premios Nobel.

La ciencia, dice Galison, debe ser recontextualizada. La historia de las ideas científicas, más el *passe-par-tout* que suele aliñarlas (un poquito de historia institucional, aderezada con breves pinceladas de política, filosofía y prosopografía), ignora lo que es decisivo e hipostasia lo anecdótico, cuando no lo tradicional. Lo que ha hecho Galison es documentarse mejor que sus antecesores y después no desdeñar ningún hecho. Y así se ha tomado en serio algunas circunstancias de la vida de Einstein que hasta ahora no merecieron escrutinio académico. Por ejemplo, ser parte de una familia involucrada en la innovación de máquinas eléctricas, porque para él fue muy importante tener un abuelo que había trabajado con Edison y que disponía en casa de un taller de experimentación que era el sueño de cualquier *manitas* de entonces o de todos los *nerds* de hoy³. Se equivoca quien crea que Einstein no fue feliz mientras trabajaba en la oficina de patentes de Berna en donde, por cierto, pasaba entre 10 y 12 horas, seis días a la semana. Y, lo más importante, yerra mucho quien piense que su trabajo con dispositivos electromagnéticos, relojes y dinamos era una actividad con la que se ganaba la vida que no aportó nada a sus inquietudes como físico teórico.

Los relojes eran hacia 1900 lo que los ordenadores hoy. Sincronizar relojes fue entonces un trabajo de tanta enjundia técnica, filosófica y política, como hoy lo puede ser interconectar PC y diseñar protocolos de comunicación y cálculo distribuido. Por extraño que parezca, así fue. Y nada lo prueba mejor que el acercamiento a otra figura clave de la ciencia del momento, un *politechnicien*, es decir, un egresado de la *École Polytechnique* de París, la institución emblemática del republicanismo francés y cuyos ingenieros eran una hibris entre los formados en el MIT, y los instruidos en *West Point*. Hablamos de Poincaré, el científico más popular y prestigioso de Francia, una figura tan decisiva para el desarrollo de la teoría de la Relatividad, como clave en los procesos de consolidación tecnocientífica del imperio francés. El asunto, lo que hace de este libro una obra excepcional, es que logra conectar una cosa con la otra, pues Poincaré no pasó a la historia de la relatividad a pesar de sus responsabilidades desde el *Bureau de Longitudes* en el cartografiado de las colonias, sino justamente por ellas. Y lo mismo se puede decir de Einstein, pues fueron sus negocios con aquellas máquinas de medir el tiempo lo que le enseñó a manejarlo como una mera excrecencia técnica.



Hacer mapas obliga a conocer la longitud de los emplazamientos que van a ser conectados topográficamente. Para dibujarlos en un mapa hay que comparar la diferencia entre dos tiempos locales y distantes: uno, digamos, en Senegal y, el otro, en París, la capital del imperio por donde obviamente pasa el meridiano de referencia. El primero se obtiene mediante la observación (*in situ*) de algún fenómeno astronómico y, el segundo, cuando se recibe (*a distancia*) en Dakar una señal que transmite la hora de París. La precisión de los mapas, en consecuencia, dependía de la calidad de las transmisiones, primero utilizando los cables telegráficos y después los submarinos. La organización de los ferrocarriles también planteaba problemas de sincronía, pues las señales no eran instantáneas y se tomaban un tiempo para recorrer las distancias. Para los ingenieros, la noción de tiempo local era absurda y, al aliarse con la eficacia, impusieron el *dictum* de que un país además de un sistema métrico, debía elegir un tiempo nacional. En definitiva, para conocer el tiempo, los urbanitas, los curas, los maquinistas y los cartógrafos, dejaron de mirar a los cielos y comenzaron a consultar los relojes ubicados en la ciudad, incluidos los instalados en muchas torres de palacios y campanarios. Berna inauguró su sistema de sincronización horaria en 1890 y había que ser muy insensible para no asombrarse ante el espectáculo de todas aquellas agujas cambiando al compás, sin que ninguna perdiera el paso. La exactitud era honorable, pero lo importante era la sincronía. El libro está salpicado de sabrosas historias. En 1883, por ejemplo, se impuso la división de Estados Unidos en zonas horarias, difiriendo cada una de su contigua en una hora exacta. El acuerdo se adoptó “rail-cráticamente”, pues cada delegado votó según los kilómetros de railes que representaba, y así el resultado fue 79041 millas contra 1714. En fin, nuestra costumbre actual, y ya centenaria, de ver los segundos en Ferrol, Marsella y Nápoles moverse al unísono, no sólo evoca la naturaleza convencional del tiempo, sino el reto tecnológico que exige sostener el tiempo, es decir nuestro mundo.

El tiempo local era un asunto, como vemos de mucha enjundia técnica, pero también teórica. Fue Lorentz, el más grande de los físicos vivos, el primero en percibir que las ecuaciones del electromagnetismo se simplificaban considerablemente si no eran referidas a un sistema exterior fijo (el éter, que aseguraba la validez metafísica de un tiempo y un espacio absoluto), sino a otro que fuera solidario con el movimiento del sistema. Y así fue como introdujo la noción de tiempo local, una especie de subterfugio matemático sin ningún fundamento real: podía ser deducido, aunque no medido. Pero Poincaré, que ya venía de simplificar estas cuestiones metafísicas traduciéndolas a problemas técnicos, alivió al mostrar en 1900 que los tiempos cambiaban según la velocidad del sistema de referencia. La consecuencia era clara: Lorentz no había inventado una patraña, sino descubierto sin saberlo la relatividad del tiempo y del espacio. Al fin y al cabo, el espacio y el tiempo absoluto, como también la geometría euclidiana “...no existían -escribió Poincaré- antes de la mecánica más que lo que, en buena lógica, ha existido el lenguaje francés antes de las verdades que se expresan en francés”.

El tiempo local era tan real como caprichosa la hipótesis del éter. Abajo con los absolutos. Poincaré lo supo antes que Einstein, pero se quedó corto al no romper con el éter, ese fluido que (se dijo por siglos) necesitaban las ondas de luz para transmitirse (como el agua para las olas, o el aire con el sonido). Einstein era más joven y negó la necesidad del ese fluido imponderable y, a cambio, propuso dos leyes nuevas que cambiaron nuestra manera de ver el mundo: la de la constancia de la velocidad de la luz y la de la invarianza de las leyes de la física, ambas debían cumplirse en todos los sistemas, cualquiera que fuese su velocidad de desplazamiento. La teoría de la relatividad, como vemos, debió llamarse *Invariantentheorie*, y el propio Einstein lo solicitó en varias ocasiones, pero los media optaron con fuerza por un nombre que les ayudaba a entender la deriva emprendida por las otras vanguardias (¡y las crisis que querían enfrentar!) de principio de siglo.

Tomo prestada una metáfora que Galison usa con frecuencia para explicar lo que ha intentado hacer. La Cibeles no está en la calle de Alcalá ni en el Paseo del Prado, es justo la intersección lo que la con-



vierte en un hito urbano. Igual le pasa a la Relatividad, que apareció por estar en el cruce de potentes tradiciones tecnológicas, antiguos enigmas metafísicos e inesperados problemas físicos. La relatividad, contra la vulgata al uso, no fue la obra de un genio aislado, ni nació en un lugar periférico (tecnológica, cultural o económicamente hablando). Einstein estaba situado en un nodo central de la ciencia del momento. Su grandeza no hay que buscarla en el cerebro, sino que proviene de posición estratégica en la red. Esta reseña podría haberse llamado "Rewired Einstein", título que no elegí al no saber cómo traducirlo sin perder contenidos. Recontextualizar a Einstein era lo mismo que mostrarlo como un elemento nodal de una red de intercambios y como alguien que gozaba manipulando cables y artefactos. Pero también como alguien capaz, al igual que Poincaré, de situarse en la intersección de de muchas disciplinas, cuyas tradiciones, protocolos, instrumentos y fuentes de autoridad eran inconmensurables. ¿Quién podía pronosticar entonces, hacia 1900, que el pujante negocio de vender electrosimultaneidad, se iba aliar con el de los ferrocarriles y la empresa colonial, para entrecruzarse con los dilemas de Lorentz, los encargos de Poincaré y los dictámenes de Einstein y, entre todos, forzar el nacimiento de la Relatividad?

Este asunto siempre le ha preocupado a Galison: la "desunity of science", le necesidad de explorar las zonas fronterizas (*trading* o *creole zones*, las llama) entre los distintos saberes. Ya lo hizo en sus dos obras anteriores. *How Experiment End* (Chicago University Press, 1987) y en *Image and Logic: A Material Culture of Microphysics* (Chicago University Press, 1997). En la primera, hace ya 18 años, le interesó el problema de cómo saben los científicos que con sus sofisticados artefactos están produciendo hechos y no meros efectos de artificio. Y también cómo saben que ya tienen suficientes hechos, es decir una o varias pruebas. O, dicho en otros términos, lo que le preocupaba entonces era cómo interactúan las máquinas materiales (hechas de tornillos, cables y cristales) con las teorías y los conceptos. El segundo libro mencionado, continuaba con estas preocupaciones y trataba el desarrollo de la física subatómica vinculado a los dos tipos genéricos de máquinas (o instrumentos) diseñados para producir otros tantos tipos de imágenes (o representaciones o simulaciones): las analógicas, como la cámara de burbujas o las técnicas de emulsión nuclear) y las lógicas que, como el contador de Geiger, nos devuelven una imagen hecha de cifras que cuentan impulsos. El mensaje de estos tres libros siempre fue el mismo: hay mucha tecnología detrás de cada teoría y, cómo no, son muchos los conceptos que se movilizan cada vez que movemos una ruedecilla o activamos un botón. Separar la ciencia de las tecnologías que la producen, apostarle a la historia de las ideas, es condenar la disciplina a una espiral de idealizaciones tan habitual como empobrecedora. Peor aún, separar nuestras ideas de las máquinas con las que las producimos y movilizamos equivale a no querer entender cómo se hizo el mundo que habitamos. Las últimas dos líneas del libro lo dicen con contundencia: "Encontramos metafísica en las máquinas, y máquinas en la metafísica: o sea la modernidad en su sitio."

¹ Witelson, S.F., Kigar, D.L. and Harvey, T., The Exceptional Brain of Albert Einstein, *The Lancet*, 353:2149-2153, 1999.

² Lee Smolin, Why No 'New Einstein'? *Physics Today*, 58 (6), junio 2005. El texto que está siendo intensamente debatido puede encontrarse libremente en algunos blogs, como <http://waltf007.mindsay.com/>

³ "Einstein and Poincaré: A Talk with Peter Galison", http://www.edge.org/3rd_culture/galison03/galison_p3.html

