

Geometría y/o física: a cien años del premio Nobel de Albert Einstein

Kurt Bernardo Wolf

El Dr. Bernardo Wolf es investigador del Instituto de Ciencias Físicas de la Universidad Nacional Autónoma de México y miembro de la Academia de Ciencias de Morelos.

Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos.

Sigamos hablando de los Premio Nobel

Durante la pandemia tuve oportunidad de volver a leer varios de los libros que guardo desde mis tiempos de estudiante de física en la UNAM. Uno de ellos es *Ideas and Opinions*, que reúne escritos de Albert Einstein [1] sobre filosofía, política, panegíricos y explicaciones vernáculos de los trabajos científicos por los que recibió el premio Nobel en física de 1921 —hace cien años justo.

La presea le fue otorgada por su explicación del efecto fotoeléctrico —no por sus trabajos en relatividad— porque, según las reglas de la Fundación Nobel, desarrollos puramente matemáticos no podían ser aceptados. La geometría pura no se consideraba entonces como base determinante para teoría física alguna, y los efectos medibles de la relatividad no estaban aún del todo comprobados experimentalmente. Teorías excepcionales requieren pruebas excepcionales.

El “año maravilloso” de 1905

Durante ese *annus mirabilis* de 1905, Einstein inició tres grandes campos de la física moderna en tres artículos más bien cortos sobre relatividad especial, sobre procesos umbrales entre fotones y electrones en metales, y sobre agitación molecular en termodinámica. Invitado a pertenecer a la Academia Prusiana de Ciencias en 1914, Einstein amplió durante los siguientes años sus resultados con la teoría general de la relatividad, la cual aplica no solamente entre sistemas inerciales (a velocidades constantes), sino también a sistemas bajo aceleración, rotación y gravedad, que permitieron también la inclusión de los campos electromagnéticos en su formulación.

Así, la década de los 1920's vio por primera vez a un científico vuelto ícono realmente popular, cargado con rumores de magia inefable e incomprensible sabiduría bajo un impresionante bigote (figura 1). Cumplió invitaciones y festejos de diversas academias científicas en Europa y Estados Unidos, China y Japón, y la Universidad Hebrea de Jerusalén en la Palestina británica. Desde entonces comenzó a escribir también ensayos cortos sobre sociedad, religión, ética, crítica, obituarios y aforismos, varios de ellos recopilados por la editorial holandesa Querido Verlag en 1934. Otro grupo de ensayos y artículos escritos durante los años siguientes, abordaban el crecimiento del fascismo y antisemitismo en Europa. Otros más, después de la Segunda Guerra, se refieren a las nuevas amenazas de la guerra nuclear y su desazón ante el creciente macartismo de la Guerra Fría en los Estados Unidos durante los primeros años de la década de los 1950's, antes de su muerte el 18 de abril de 1955, a sus 76 años de edad.

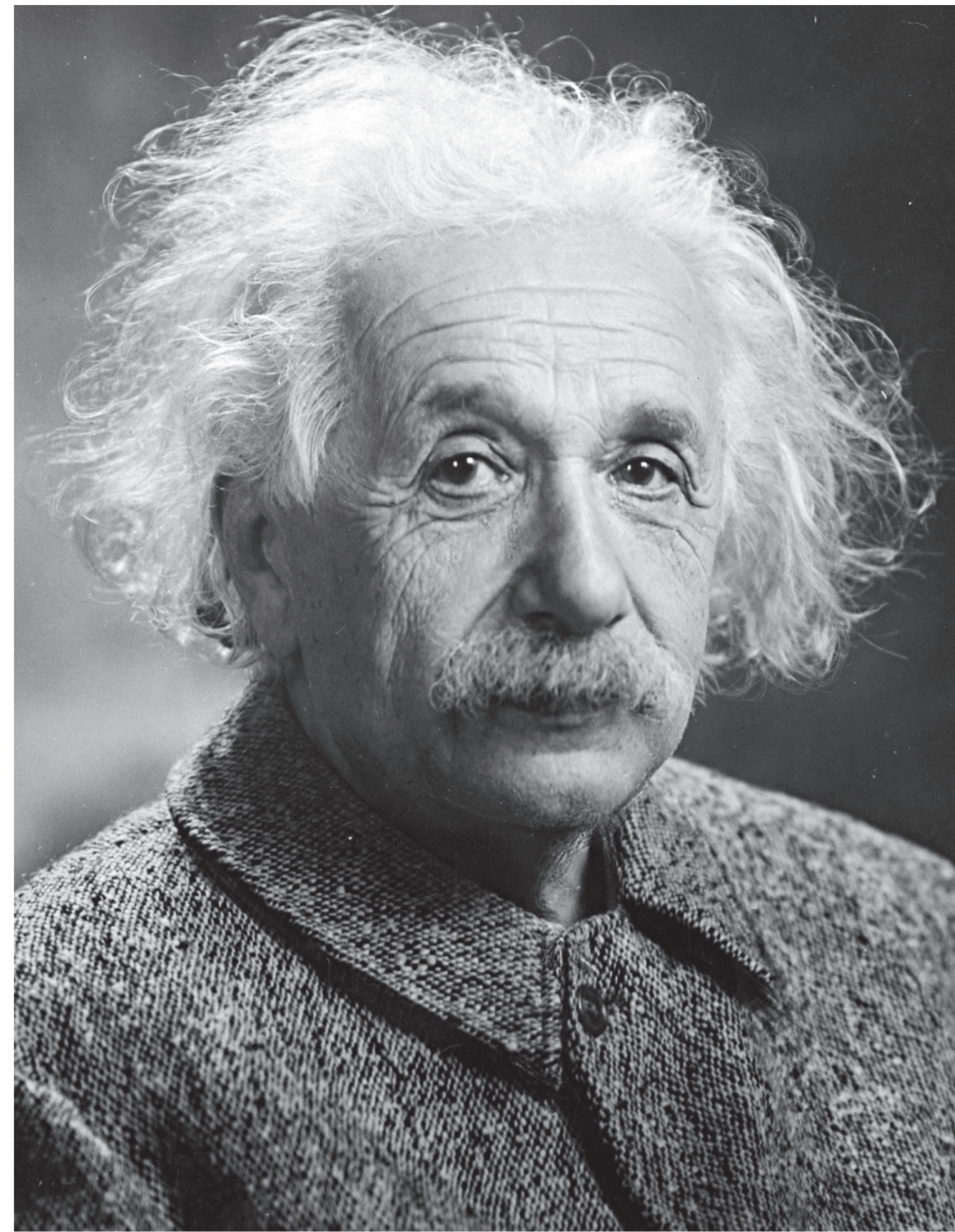


FIGURA 1. ALBERT Einstein es uno de los pocos científicos que se ha vuelto un ícono popular de la sabiduría y el humanismo. (Imagen gratuita de pixabay.com)

Las leyes de la naturaleza y las matemáticas

Aunque mi área de trabajo es lejana a la relatividad general, a menudo he recurrido a los escritos de Einstein para encontrar una cita certera sobre temas humanos, agnosticismo, activismo social, o sobre cuestiones cuasi-filosóficas como el papel de la intuición y la estética en las leyes y ecuaciones que describen la realidad física.

¿Pueden las leyes de la naturaleza obtenerse de la limpia lógica, del formalismo matemático o de la geometría pura? En las páginas del libro [1] aún están mis marcas y notas al margen con las que profusamente subrayé frases y párrafos, recordándome la ingenuidad y la de mis compañeros estudiantes en la Facultad de Ciencias de la UNAM, donde nos engarzábamos en discusiones radicales —por bisoñas— entre nuestras tribus de físicos teóricos, experimentales y matemáticos.

Sobre el problema de la base y formulación en la ciencia, Einstein se pronunció así: “Nuestra experiencia a la fecha nos justifica en creer que la naturaleza es la realización de las ideas matemáticas concebibles más

sencillas. Estoy convencido que podemos descubrir mediante construcciones puramente matemáticas los conceptos y las leyes que las conectan entre sí y que nos dan la llave para entender los fenómenos naturales. La experiencia puede sugerir los conceptos matemáticos apropiados, que ciertamente no pueden ser deducidos de ella. Por supuesto, la experiencia permanece como el único criterio de la utilidad física de una construcción matemática. Pero el principio creativo reside en matemáticas. En cierto sentido, en consecuencia, sostengo como cierto que el pensamiento puro puede conducir al entendimiento de la realidad —como los antiguos soñaron.” [2]

Opiniones como ésta lo marcaron ante los filósofos materialistas de aquel entonces; fue acremente criticado por académicos soviéticos [3] y también por algunos de mis doctos compañeros de clase como un inconsciente idealista burgués.

Refiriéndose a la formulación probabilística de la mecánica cuántica recién presentada por Erwin Schrödinger mediante una ecuación de un tipo ondulatorio, Einstein escribió en diciembre de 1926: “la teoría produce muchos resultados, pero difícilmente nos acerca a los

secretos del Viejo (*der Alte*), pero en todo caso estoy convencido que Él no juega a los dados”. (No usa la palabra Dios, pero suponemos que a Él se refería.) Incluir al observador en una teoría física le era inaceptable. Además, el formalismo cuántico y el relativista no parecen ser del todo compatibles —ni entonces ni hoy. Y sin embargo ambas teorías dan lugar a cada vez más profundos resultados avalados por experimentos, sin que la filosofía, la dialéctica, o el simple “no hagas preguntas —sólo calcula” nos acerquen a saber el porqué. Sin embargo, geometría y física de alguna manera danzan en pareja: En 1928, el físico inglés Paul Dirac publicó un artículo donde “linealizó” la ecuación de Schrödinger aplicada al electrón [4]. Con su carga eléctrica negativa, el electrón se mueve atraído por el núcleo, con cuya carga positiva forma el átomo de hidrógeno. Se entendía ya entonces que la fuerza de atracción (en proporción inversa al cuadrado de la distancia) es la misma por la que los planetas se mueven alrededor del Sol, resultando en órbitas cerradas que son siempre elipses (o hipérbolas en el caso repulsivo). Interesantemente, la ecuación de Dirac es compatible también con los requerimientos de la relatividad, aunque paga el precio con incluir una segunda solución que describe una partícula repelida del núcleo por tener carga positiva. Como sueño

vuelto realidad, en agosto de 1932, Carl Anderson descubrió esa partícula: el *positrón*, la *anti-partícula* del electrón, con la misma masa pero carga positiva. Podía aniquilarse con un electrón resultando en un destello de dos fotones de luz cuya energía es igual a la masa conjunta convertida: 0.511 mega-electrón-volts. Además de recibir el premio Nobel del año 1933, Dirac demostró así —y con fuerza— que las matemáticas sí podían dar resultados que la naturaleza estaría constreñida a obedecer. Ahora bien, según el teorema de Bertrand [5], las únicas dos fuerzas centrales que dan lugar a trayectorias de curvas cónicas (círculos y elipses, pero también parábolas e hipérbolas, figura 2) son aquellas que decrecen inversamente al cuadrado de la distancia (gravedad y electrostática), y las que crecen linealmente con la distancia (como un resorte, propiamente llamado *oscilador armónico*). Hay algo “mágico” en estos dos tipos de fuerza porque producen las mismas trayectorias, excepto que en electrostática y gravedad el centro *atractor* está en uno de los focos de la elipse, y en el oscilador está en su centro. Esto llevó a sospechar que la ecuación de Dirac funciona —respetando mecánica cuántica y relatividad— porque proviene de una de estas fuerzas físicamente universales y matemáticamente sencillas.

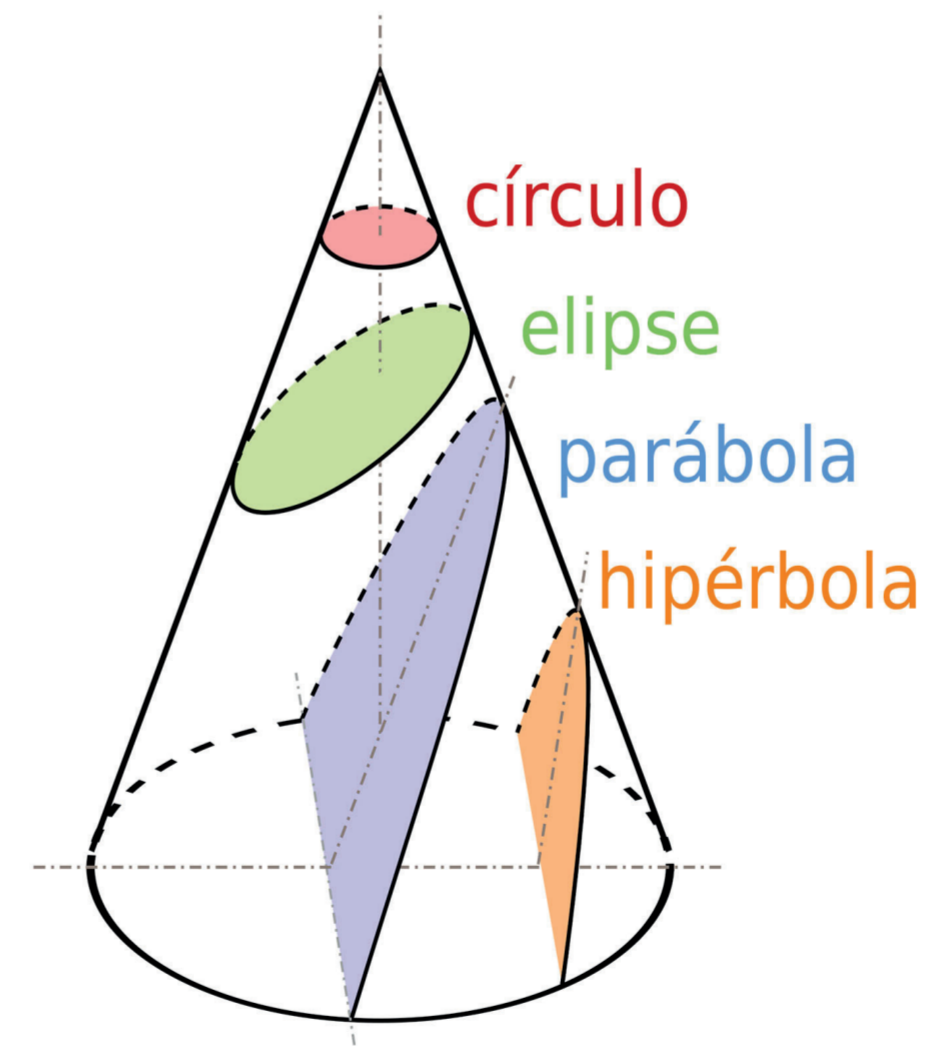


FIGURA 2. LAS llamadas curvas cónicas son las resultantes de intersectar un cono con un plano (es. wikipedia.org)



FIGURA 3. PARA leer sobre el gran físico teórico mexicano, Marcos Moshinsky, quien murió en la ciudad de México en 2009, se recomienda el texto del Colegio Nacional, que presenta su biografía y esta imagen. A manera de homenaje para un gran científico, se reprodujo este texto en la contribución del 26 de julio, 2021, en la Unión de Morelos. <https://colnal.mx/integrantes/marcos-moshinsky/>.

Pero mientras que la atracción electrostática y gravitacional evidentemente se da en la naturaleza, la otra —el oscilador— se podría argumentar que no existe en la realidad, porque dos cuerpos sujetos a ella no podrían jamás independizarse. De hecho, esto no nos detiene para investigar sus numerosísimas propiedades matemáticas y amplios usos en modelos nucleares, informáticos, y de partículas elementales: aquellas compuestas por tres *quarks* (los hadrones) o por un *quark* y un *anti-quark* (los mesones). Esto fue seguramente el aliciente para nuestro Marcos Moshinsky (figura 3) quien, con su asociado postdoctoral Adam Szczepniak plantearon una ecuación del tipo de Dirac, cuyas soluciones describirían un oscilador que cumpliera con requerimientos relativistas. Recuerdo la enorme esperanza que tuvimos sobre que, con esta ecuación —y las arduas matemáticas necesarias para acoplar dos y tres partículas así descritas— se pudiera reproducir el espectro de masas e interacciones entre hadrones y mesones.

Pero no fue así... las matemáticas no forzaron la naturaleza a obedecerlas. El modelo se ha investigado a profundidad [7] pero más allá de las trayectorias elípticas, el Viejo (*der Alte*) no parece haberse sentido obligado a acatar este modelo. Sin embargo, no podemos descartar la posibilidad que en el futuro algún otro joven investigador encuentre la clave, reinterpretación, o postulados adicionales que declare el origen de todas las partículas elementales a partir de un trato pura y simplemente matemático.

Entre los juguetes que tienen entretenidos a los matemáticos, están las familias de polinomios llamadas *ortogonales* (“de ángulos correctos”). Hace unos años, en Oaxaca asistí a un pequeño simposio sobre el tema de polinomios, donde un consagrado especialista nos habló de los *polinomios de Zernike* [8] que contribuyeron a que su autor recibiera el premio Nobel de 1953 por sus aplicaciones en microscopía óptica, pero cuyas propiedades me parecieron feas por ser muy complicadas. Estos polinomios describen el campo de ondas en el plano de una pupila circular y determinan su propagación. Comentando esto con colegas salió a la luz que estos polinomios se podían obtener de una ecuación del tipo de Schrödinger, que se aplicaba a un sistema donde una partícula está sujeta a una fuerza central, aunque se trataba de una ecuación no enteramente convencional. Y sí: según valores de los parámetros, las trayectorias podían ser *elipses* o *hipérbolas*! [9]. Siguiéron otros cinco artículos en los que exploramos y reportamos propiedades del sistema, sea clásico u ondulatorio, sin pretender que la realidad descrita sea más que la totalidad de los posibles campos de ondas en una pupila con ciertas propiedades particulares en su borde. En este caso, la “simetría superior” que estaba oculta detrás del modelo de Zernike resultó ser la proyección de una partícula que se mueve libremente sobre la superficie tridimensional de una esfera en cuatro dimensiones.

Resulta muy arriesgado pretender que una ecuación o un modelo geométrico lleve a predecir, o al menos explicar, una propiedad de la física. Albert Einstein tuvo el talento —y la fortuna— de entender y exponer la naturaleza del espacio y del tiempo, de la masa y de la energía, de la inercia y la gravedad. Corroboraciones recientes de la existencia de agujeros negros y ondas gravitacionales nos tienen aún deslumbrados; a lo más que nosotros podemos aspirar es a inventar juguetes matemáticos que nos den gusto y muestren la estética de la ciencia. Y que, posiblemente, sean útiles. Porque falta mucho por andar.

Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses convencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos. Desde la Academia de Ciencias de Morelos externamos nuestra preocupación por el vacío que genera la extinción de la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología dentro del ecosistema de innovación estatal que se debilita sin la participación del Gobierno del Estado.

ESTA PUBLICACIÓN FUE REVISADA POR EL COMITÉ EDITORIAL DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS

Para actividades recientes de la academia y artículos anteriores puede consultar: www.acmor.org.mx

¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTÁCTANOS: editorial@acmor.org.mx

REFERENCIAS:

- [1] *Ideas and Opinions* —Albert Einstein (Crown Publishers Inc., Nueva York, 1954), Cuarta edición, 1959.
- [2] *Acerca de los Métodos de la Física Teórica*. Conferencia Herbert Spencer (Oxford, 10 de junio 1933), publicada en *Mein Weltbild* (Querido Verlag, Amsterdam, 1934); véase: [1] pág. 274.
- [3] *Carta abierta: las Nociones Equivocadas del Dr. Einstein*. Moscow New Times, Nov. 26, 1947; Bulletin of the Atomic Scientists (Chicago, Febrero de 1948).
- [4] P.A.M. Dirac, *The quantum theory of the electron*. Proc. Royal Society A, **117**, 610—624 (1928).
- [5] J.L.F. Bertrand, *Théorème relatif au mouvement d'un point attiré vers un centre fixe*. Comptes Rendus

de l'Académie des Sciences **77**, 849—853 (1873).

- [6] M. Moshinsky y A. Szczepniak, *The Dirac oscillator*. Journal of Physics A **22**, art. L817 (1989).
- [7] E. Sadurní, *The Dirac-Moshinsky oscillator: Theory and Applications*. Memorias de la Escuela Latino Americana de Física, AIP Conf. Proc. **1334**. 249—290 (2010).
- [8] F. Zernike, *Beugungstheorie de Schneidverfahrens und seine verbesserten Form, der Phasenkontrastmethode*. Physica **1**, 689—704 (1934).
- [9] G.S. Pogogyan, K.B. Wolf y A. Yakhno, *Superintegrable classical Zernike system*, J. Math. Phys. **58**, art. 072901 (2017).

