

## DESDE LA PATAGONIA

**60° ANIVERSARIO DEL INSTITUTO BALSEIRO**

*Durante el 2015 el Instituto Balseiro, pionero de la investigación científica y la educación universitaria en Bariloche, celebró 60 años de creciente y exitosa actividad académica.*

**Por Guillermo Abramson**

En un brevísimo texto<sup>1</sup> Jorge Luis Borges dramatiza una singular conversación entre dos filósofos griegos. Termina así:

*Libres del mito y de la metáfora, piensan o tratan de pensar. No sabremos nunca sus nombres. Esta conversación de dos desconocidos en un lugar de Grecia es el hecho capital de la Historia. Han olvidado la plegaria y la magia.*

Los antiguos griegos plantaron la semilla de la ciencia al postular que a la pregunta “¿de qué está hecho el mundo?” no corresponde una disquisición sobre los caprichos de los dioses sino, simplemente, la observación minuciosa de la realidad. Comprendieron que los terremotos no eran producto de la ira de Poseidón, ni los rayos de los caprichos de Zeus. Sus explicaciones de estos fenómenos parecen hoy en día ingenuas, pero revolucionaron un sistema de creencias de miles de siglos, basado en lo sobrenatural. Uno intuye que sospechaban que sus teorías tenían muchos puntos débiles. Pero también que comprendían que el mundo natural obedecía reglas, leyes que ellos conocían imperfectamente y que eran las responsables de una naturaleza dinámica. Esta es la idea básica que permea la filosofía de aquellos pioneros, y que constituye aún hoy, 26 siglos después de ese “hecho capital”, la base del pensamiento científico.

Y 26 siglos después, en agosto de 1955, comenzaron las clases en el Instituto de Física de Bariloche, impulsado para suplir un impostergable déficit de la ciencia argentina: la falta de físicos. Fue creado me-

dante un convenio entre la Comisión Nacional de Energía Atómica y la Universidad Nacional de Cuyo, y hoy lleva el nombre de su primer director, José Antonio Balseiro. A lo largo de los años la oferta académica del Instituto Balseiro se amplió con diversas ingenierías también necesarias para el desarrollo científico y tecnológico argentino: ingeniería nuclear, ingeniería mecánica e ingeniería en telecomunicaciones, además de varios postgrados, maestrías y doctorados. Hoy en día el Instituto Balseiro goza de una bien ganada fama en la formación de científicos y tecnólogos excelentes, insertos en la vida académica y productiva mundial.

Durante 2015 los graduados del Instituto Balseiro tuvimos el gusto de celebrar el 60° aniversario de nuestra *alma mater*, tan ligada al crecimiento social, cultural e industrial de Bariloche. Los festejos culminaron en diciembre con una reunión científica que convocó a centenares de egresados, muchos de ellos de lugares lejanos del mundo. Como parte de estas actividades se realizó una sesión de divulgación científica abierta a toda la comunidad de Bariloche, que tuvimos el agrado de llevar a cabo en el Aula Mayor del Centro Regional Universitario Bariloche, una institución con vínculos académicos de larga data con nuestro Instituto. La sesión contó con la participación de destacados egresados como oradores, doctores en Física y activos divulgadores de la ciencia, compartiendo el evento con un público ávido. En estas páginas resumimos en forma de breves textos dos charlas fantásticas, entretenidas y enriquecedoras: acerca de los griegos y sus vidas trágicas de la mano de Miguel Hoyuelos, y sobre la antimateria, la magia y la poesía, a cargo de José Edelstein.

<sup>1</sup> *El principio*, publicado en *Atlas* (1985).

### **Guillermo Abramson**

Dr. en Física

Inst. Balseiro, CONICET y Centro Atómico Bariloche  
 abramson@cab.cnea.gov.ar

### **Antimateria, magia y poesía**

*Por José Edelstein*

El electrón es una partícula fundamental, la unidad indivisible de la carga eléctrica. Los electrones son todos idénticos y su única característica distintiva es el espín, una suerte de giro sobre sí mismo, en el sentido de las agujas del reloj o en el contra-

rio. La ecuación cuántica del electrón tenía en cuenta estas dos posibilidades pero no se ajustaba a los principios de la Relatividad. Guiado por un sentido estético próximo al de un poeta, Paul Dirac elaboró en 1928 una ecuación cuántica del electrón compatible con la teoría de Einstein. Tenía 25 años.

La ecuación contenía inexorablemente cuatro estados y no los dos necesarios para describir al electrón. Los dos sobrantes parecían corresponder a electrones de energía negativa. ¿Es esto admisible? Si lo fuera, un electrón podría proveer energía ilimitadamente a costa de que la suya fuera cada vez más negativa. Una perspectiva tan seductora como imposible.

Dirac imaginó que quizás un electrón no podía tener energía negativa ya que todos esos estados estaban ocupados por otros electrones. En otras palabras, que aquello que llamamos vacío era como un teatro repleto de electrones ocupando las infinitas butacas de energía negativa. Si fuera así, podríamos entregarle a uno de ellos suficiente energía como para hacerla positiva, dejando atrás un lugar vacante, una butaca vacía. Ésta tiene las propiedades de una partícula con carga positiva -atrae espectadores- que puede desplazarse -ante la posibilidad de cambiar de sitio, los espectadores pueden reubicarse, dando movimiento a la butaca vacía-. El hueco en el vacío se comporta como una partícula idéntica al electrón, pero de carga positiva.

El universo no parecía albergar nada semejante. Dirac estaba seguro de que la Naturaleza no dejaría pasar la oportunidad de ser gobernada por leyes tan elegantes.

La espera no se prolongó demasiado: Carl Anderson observó en 1932 la evidencia irrefutable de su existencia. Los electrones positivos o positrones son el primer ejemplo conocido de antimateria. Con el tiempo se concluyó que todas las partículas tienen asociada una antipartícula. Antes de darse a conocer en un experimento, la antimateria salió a la luz en un audaz y bello haiku urdido por el lirismo matemático de Paul Dirac.

La teoría del electrón acabó de forjarse una década después con una reinterpretación de la ecuación de Dirac por parte, entre otros, del legendario Richard Feynman, de quien se decía que no pasaba por los procesos matemáticos ordinarios en sus razonamientos. Podía adivinar las respuestas por un extraño proceso que ni él mismo entendía, como por arte de magia. Veamos un ejemplo.

Imaginemos que nos colocamos a cierta distancia de una pared blanca, interponiendo un panel negro que no nos deja ver lo que está detrás. Ahora realizamos un corte en el panel, dos ranuras delgadas, verticales y paralelas (ver Figura 1). A través de ellas vemos dos finos trazos blancos. Nos colocamos de manera que las ranuras estén dispuestas simétricamente, frente a nosotros. Sacamos una ametralladora de pequeñas bolitas de pintura y disparamos una ráfaga. Está claro lo que nos encontraremos en la pared: dos segmentos verticales, que replican a las dos ranuras, dispuestos exactamente en aquella parte que podíamos ver a través de ellas. Esas líneas son el producto de aquellos proyectiles que, siguiendo una línea recta,

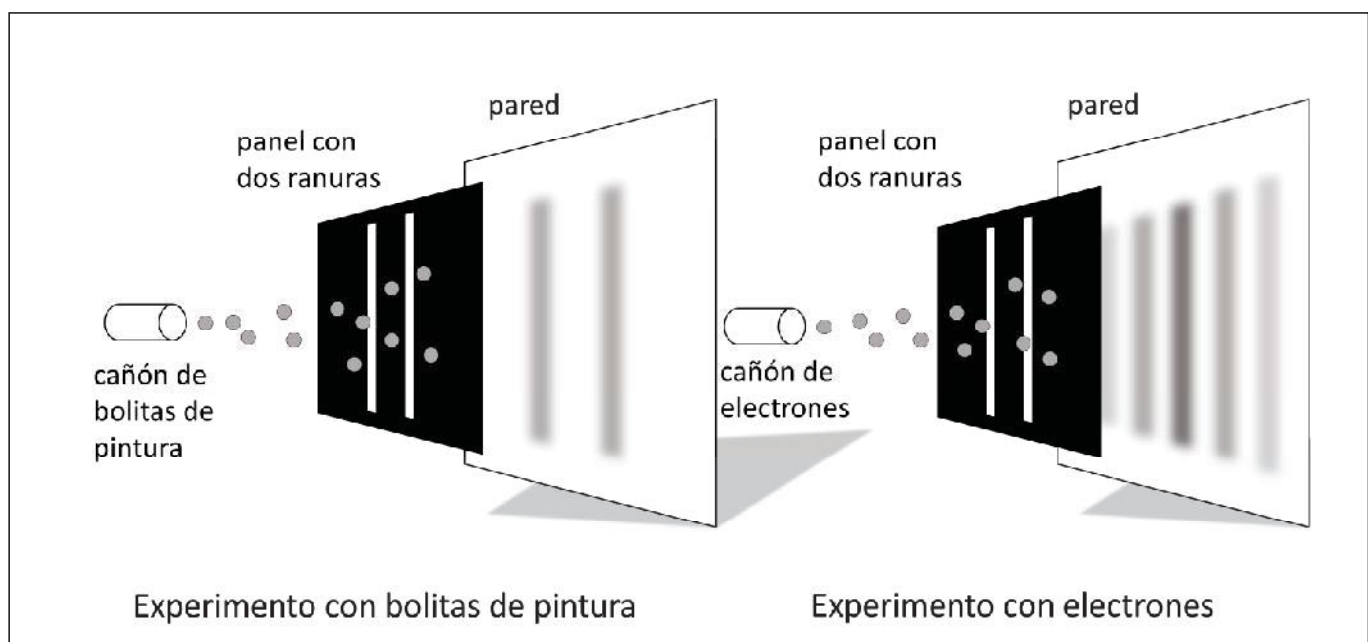


Imagen: gentileza G. Abramson

**Figura 1. Experimento de doble ranura: con bolitas de pintura y dimensiones macroscópicas (izquierda); y con electrones y dimensiones atómicas (derecha).**

## DESDE LA PATAGONIA

lograron pasar por las ranuras. Si fuéramos capaces de ver su trayectoria confirmaríamos nuestra hipótesis.

Sabemos que las bolitas de pintura están hechas de moléculas y éstas de átomos, con su núcleo y electrones a su alrededor. Decidimos, entonces, hacer el mismo experimento pero usando electrones como proyectiles y un par de ranuras de dimensiones atómicas. Calentamos un filamento metálico y con una pila conseguimos disparar electrones a mansalva. Tras un instante vemos lo ocurrido.

Nos encontramos con una imagen sorprendente: en lugar de los dos segmentos verticales, una dilatada mancha domina la escena en el centro de la pared. A ambos lados, un sector de la pared ligeramente más angosto se mantiene oscuro. Luego un tramo coloreado, menos intenso y menos ancho que el del centro y así sucesivamente. Una alternancia de claros y oscuros, cada vez menos intensos y menos anchos. ¿En qué momento de la miniaturización la materia dejó de comportarse como lo hacían las bolitas de pintura?

Desconcertados, decidimos realizar un nuevo experimento. En lugar de partículas utilizamos ondas, mediante un parlante que emite una nota pura y constante. Un conjunto de micrófonos desplegados en la pared medirá la intensidad del sonido. El resultado es idéntico al obtenido con los electrones, pero aquí entendemos lo que sucede. Las ondas de sonido son oscilaciones en la presión del aire. Al igual que las olas del mar, tienen máximos y mínimos que interfieren al encontrarse. Si la cresta se superpone a un valle, la intensidad de la onda se anula. Por el contrario, si dos crestas o dos valles se superponen la intensidad se duplica. La onda pasa simultáneamente por las dos rendijas. Los micrófonos registran un máximo de intensidad en el centro de la pared ya que la distancia a las ranuras es la misma, por lo que las dos crestas llegan juntas. Asimismo, una cresta puede encontrarse con aquellas que marchan detrás en el tren de ondas que sale de la otra ranura. Cuando esto ocurre en posiciones de la pantalla en las que la distancia que ambas recorren es la misma, encontramos tramos coloreados más alejados del centro, en ambas direcciones. Los sectores oscuros resultan del encuentro de las crestas con los valles. Así se forma un patrón de interferencias: huella dactilar del fenómeno ondulatorio.

Nos resistimos a concluir que los electrones sean ondas, pero el patrón de interferencia es señal inequívoca de que pasaron por ambas ranuras. Quizás el comportamiento ondulatorio tenga su razón de ser en el torrente de electrones, al igual que millones de gotas forman un fluido que puede tener olas a pesar de que una sola gota no las presenta. Decidimos

despejar nuestras dudas lanzando electrones de a uno. Luego de cada impacto observamos la pared y lo que sucede es aún más sorprendente. Las marcas que cada electrón deja resultan ser puntos. Sin embargo, a medida que se acumulan los impactos vemos que se forma el patrón de interferencia. Como si se hubieran puesto de acuerdo, dejan una marca puntual pero construyen un patrón ondulatorio. Esto último indica, de manera categórica, que cada electrón pasa por las dos ranuras al mismo tiempo, de modo de poder interferir consigo mismo.

Si hacemos una tercera ranura en el panel, el patrón de la pared nos indicará que cada electrón, esta vez, ha pasado por las tres ranuras al mismo tiempo. Hacemos una cuarta ranura y cada electrón parece muy a gusto pasando por todas ellas a la vez. Agregamos un segundo panel un poco antes del que ya teníamos. El resultado es desquiciante: no importa cuántos paneles pongamos ni cuantas ranuras hagamos en ellos, cada electrón, como si se burlara de nosotros, pasa por todos los caminos que se ponen a su disposición. Explora todas las ranuras de todos los paneles.

Nada nos impide imaginar algo estremecedor. Un plano de aire puede pensarse como un panel con infinitas ranuras. Si pensamos en la totalidad del espacio como un continuo de planos paralelos, como si lo dividiéramos en rebanadas de ínfimo espesor, estaríamos en la situación en que tenemos infinitos planos con infinitas ranuras. La conclusión es espectacular: un electrón recorrerá todos los caminos, posibles e imposibles, y todos al mismo tiempo. Este rocambolesco comportamiento destierra a la noción de trayectoria del universo cuántico.

Para entender un fenómeno en el universo subatómico debemos sopesar todas y cada una de las posibilidades, aunque no contribuyan todas ellas con la misma probabilidad. Una analogía oportuna la brinda la vida de un ser humano: sabemos que nacerá y morirá, pero entre estos dos eventos, todas las contingencias son posibles. Podrá llegar a ser emperador, mendigo, cantautor, labriego, cirujano o poeta. El electrón, en cambio, será emperador y mendigo, cantautor y labriego, cirujano y poeta, y todo lo que se pueda ser. Este magnífico edificio conceptual tuvo como arquitecto a un desenfadado mago llamado Richard Feynman.

Volvamos al panel único con dos ranuras. Supongamos que instalamos un dispositivo en una de ellas que, aun dejando seguir a los electrones, detecta su paso por allí. Lanzados de a uno, comprobamos que pueden ocurrir dos cosas. O bien el detector delata el paso por la ranura en la que se encuentra y el electrón acaba impactando en la pared en el si-

## Escuela de Atenas (1509). Rafael Sanzio.

tio justo en el que la bolita de pintura lo habría hecho.  $\odot$  el detector no se activa, evidenciando su paso por la otra ranura y, en efecto, el impacto se produce en el otro segmento vertical. ¡Ahora los electrones se comportan como partículas! El sólo hecho de observar por qué rendija pasan modifica su comportamiento. ¿Extraño? ¡Bienvenidos al universo cuántico!

José Edelestein, egresado de la 34ª promoción de licenciados en Física, es profesor titular de Física Teórica de la Universidad de Santiago de Compostela (España), donde trabaja en el Departamento de Física de Partículas procurando encontrar una teoría cuántica de la gravitación. Ha publicado recientemente *Antimateria, magia y poesía*.



## Tragedias griegas en la historia de la ciencia

Por Miguel Hoyuelos

Conocer algunos aspectos sobre la historia de los protagonistas de la ciencia sirve para valorar mejor el conocimiento que tanto tiempo y esfuerzos costaron. Analizar la evolución del conocimiento científico también sirve para su mejor comprensión. La charla se enfocó en un período notable de la historia de la ciencia: la Antigüedad griega. Los filósofos-científicos de la Antigüedad generaron una renovación de ideas a un ritmo sin precedentes usando una herramienta simple: el pensamiento crítico. Las historias o leyendas asociadas a sus vidas son, en general, trágicas. Por razones de espacio, aquí me voy a restringir a sólo unos pocos temas: el teorema de Pitágoras y los números irracionales, y el atomismo.

El nombre de Pitágoras (c. 570 – c. 495 a. C.) está asociado al teorema que dice que la suma de los cuadrados de los lados menores de un triángulo rectángulo es igual al cuadrado del lado mayor, llamado hipotenusa. En la Antigüedad, sin embargo, Pitágoras era conocido por otras razones. Era considerado un conecedor del destino del alma luego de la muerte. Enseñaba que el alma inmortal atravesaba una serie de reencarnaciones y decía tener la capacidad de recordar sus vidas pasadas. Era visto como un experto en rituales religiosos y como el fundador de un estricto estilo de vida que enfatizaba una dieta vegetariana y una auto-disciplina rigurosa. Durante el siglo III los logros de Pitágoras fueron bastante exagerados. Se lo consideraba la fuente de toda filosofía verdadera, cuyas ideas fueron copiadas por Platón, Aristóteles y todos los filósofos griegos que siguieron. Porfirio (c. 232

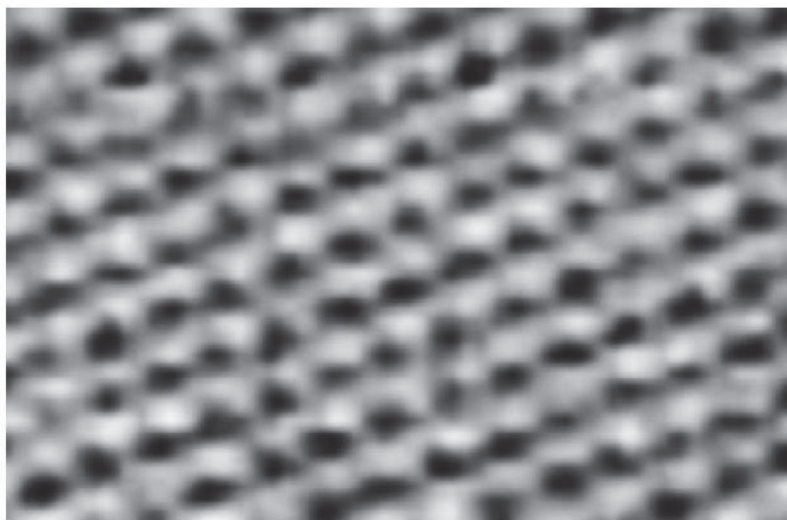
- 304) enfatizó los aspectos divinos de Pitágoras hasta ponerlo como un posible rival de Jesús. Diógenes Laercio (s. III) cuenta que era tan admirado que sus sentencias eran llamadas “palabras de Dios”. Según Jámblico (c. 245 - 325), los pitagóricos enseñaban que, de los seres racionales, un tipo es divino, otro es humano, y otro es como Pitágoras. Pero no todos tenían tan buen concepto y algunas historias lo presentan como un farsante. Según Diógenes Laercio, Pitágoras se hizo construir una habitación subterránea, se refugió allí e hizo que su madre le contara lo que acontecía en su pueblo, Crotona. Pasado un tiempo, emergió, flaco y macilento, diciendo que venía del Hades y contando lo que los muertos le habían dicho.

Según algunos relatos, el grupo de los pitagóricos fue responsable del asesinato de uno de sus integrantes, Hipaso de Metaponto (entre s. VI y V a. C.). Pitágoras sacó a los números de la esfera práctica del comercio para enfatizar las correspondencias entre el comportamiento de los números y el de las cosas. Los números permitían el reconocimiento y la comprensión del estado de las cosas. Nada de lo que existe podía estar claro, tanto en sí mismo como en su relación con otras cosas, si no fuera por los números que las hacen reconocibles y comparables entre sí. Se referían a los números naturales (1, 2, 3, 4...) o a las fracciones o números racionales. Entonces Hipaso demostró que la simple diagonal de un cuadrado de lado 1, que es igual a la raíz de 2, no encaja en este esquema. No es un número natural ni una fracción. Es irracional, o alogos como lo llamaban los griegos. Dicen que la reacción de los pitagóricos fue arrojar a Hipaso por la borda del barco donde navegaban en ese momento. Hipaso murió ahogado y se transformó en el mártir de los números irracionales.

Demócrito (c. 460 - c. 370 a. C.) decía que los principios de todas las cosas son los átomos y el vacío, todo lo demás es dudoso y opinable. Si un objeto se

## DESDE LA PATAGONIA

Imagen: gentileza Dr. C. Aldao, INTEMA



2 nm

**Figura 2. Imagen de una superficie de grafito, hecha con un microscopio de efecto túnel. Cada lóbulo representa dos átomos de carbono.**

divide una y otra vez en partes cada vez más pequeñas, se alcanza un punto en que ya no es posible continuar. Se llega a la mínima porción de materia: el átomo, es decir, lo que no puede cortarse. El atomismo moderno conserva una idea fundamental del atomismo clásico: es posible comprender propiedades del mundo a nivel macroscópico, lo que Demócrito llamaba propiedades secundarias, en función de las propiedades primarias de los átomos. Por ejemplo, los sólidos están formados por átomos que vibran en torno a posiciones fijas pues se mantienen unidos entre sí por ganchos. El fuego, en cambio, está hecho de átomos esféricos, pues no se adhiere a nada. Algunas anécdotas presentan a Demócrito como alguien abstraído en sus pensamientos, que buscaba la soledad recorriendo tumbas, que creía ver imágenes que solo estaban en su mente y que reía sin motivo. Demócrito es recordado como “el filósofo risueño”. Pero esa risa podía tener algo de ironía o sarcasmo. Decía que no conocemos nada en realidad, pues la verdad yace en un abismo, refiriéndose al abismo de lo infinitamente pequeño. Para Demócrito no había manera de confirmar la teoría pues las propiedades primarias de los átomos eran inobservables.

Los átomos ya no son lo que eran. Lo que hoy llamamos átomo puede dividirse. Según el modelo estándar, los verdaderos indivisibles son los quarks, los electrones y algunas otras partículas más raras. Los quarks forman los neutrones y protones en el núcleo del átomo. La idea de vacío también ha cambiado. No está tan vacío como se creía. Según la mecánica cuántica, existen fluctuaciones que, por tiempos muy breves, producen la creación y aniquilación de partículas en el vacío, en una efervescencia permanente. Desde 1981, los átomos han dejado de ser inobservables gracias al microscopio de efecto túnel (ver Figura 2).

Aristóteles (384 – 322 a. C.) afirmaba que el origen de las ciencias, o del amor al conocimiento, es la admiración o asombro que produce el estado de las cosas. Hoy podemos sentir el mismo asombro y admiración que sintieron los filósofos griegos cuando nos detenemos a pensar en cuestiones que ellos plantearon y para las que aún no ha sido posible hallar una respuesta definitiva. Por ejemplo, Zenón (c. 490 – c. 430 a. C.) planteó en sus paradojas la posibilidad de dividir el espacio y el tiempo en intervalos infinitamente pequeños. Casi todas las teorías físicas consideran espacio y tiempo continuos, es decir, infinitamente divisibles, en concordancia con Zenón. Es una hipótesis que funciona bien, pero que no está probada. Se especula que, a escalas más pequeñas de lo imaginable, mucho más pequeñas para un átomo de lo que es un átomo para nosotros, la división del espacio ya no tendría sentido, pues daría lugar a porciones indistinguibles entre sí. No es posible en la actualidad realizar una medición a esa escala, conocida como escala de Planck. Otra cuestión es si el universo es finito o infinito. Para Aristóteles el universo es finito y llega hasta la esfera de estrellas fijas, luego se pasa a la inexistencia. Para los pitagóricos, en cambio, es infinito. Hoy sabemos que el universo visible tiene el inimaginable tamaño de 46 mil millones de años luz, sin embargo seguimos sin saber si es finito o infinito. Como decía Aristóteles: “Ir en busca de una explicación y admirarse, es reconocer que se ignora”.

Miguel Hoyuelos, egresado de la 32<sup>a</sup> promoción de licenciados en Física en 1989, es profesor de la Universidad Nacional de Mar del Plata e investigador del CONICET. Trabaja en Física Teórica en el área de la Mecánica Estadística, en el Instituto de Investigaciones Físicas de Mar del Plata. Es autor de obras de divulgación científica (*Física Manifiesta* y *Ciencia y tragedia*, Eudem), así como de *Siccus* (Letra Sudaca), una notable novela sobre el futuro de la inteligencia artificial.