

Orígenes de la teoría de nudos

Las investigaciones modernas sobre nudos surgieron del esfuerzo de tres físicos escoceses de la época victoriana por aplicar ese conocimiento a las cuestiones fundamentales del universo

Daniel S. Silver

Tomemos un trozo de cordón, cerrémoslo uniendo sus cabos y entrelacémoslo consigo mismo: el resultado será un nudo.

La creación de nudos se nos antoja sencilla, pero la teoría de los nudos es en la actualidad uno de los campos más activos de las matemáticas; en los diez últimos años se han publicado miles de artículos en las revistas profesionales. Existe incluso una revista que trata exclusivamente de la teoría de nudos. Entre los motivos de tal popularidad se cuenta la convicción de que los nudos tienen profunda consecuencia en campos que no son matemáticos. La teoría de nudos se ha aplicado ya en disciplinas tan dispares como la mecánica cuántica y la genética. Y éstos son tan sólo los intentos más recientes de utilizar los nudos para desenredar algunos de los misterios de la ciencia.

De hecho, la teoría de nudos es fruto de una osada (y sumamente descarriada) tentativa de crear una “prototeoría del todo”. Dos físicos escoceses del siglo XIX, William Thomson y Peter Guthrie Tait, creían que los elementos químicos eran tubos de éter anudados; dado el estado de la física en su tiempo, cabía pensar que nociones de ese estilo explicarían la naturaleza de los átomos y su forma de actuar. Un tercer físico escocés, James Clerk Maxwell, célebre por sus trabajos sobre el electromagnetismo, alentó a Thomson y a Tait a que desarrollasen esa “teoría de los átomos vorticiales”.

Nunca habría pruebas convincentes de la teoría de Thomson, hoy olvidada. Pero sus denodados esfuerzos por aplicar la teoría de nudos a las cuestiones fundamentales de la ciencia, al conocimiento de la naturaleza última de la materia e incluso a la posibilidad de una vida ultraterrena, nos resultan hoy estimulantes. Es frecuente en nuestros días acusar a los científicos de que sus campos de investigación son demasiado restringidos. Aquel pintoresco triunvirato de físicos escoceses habría

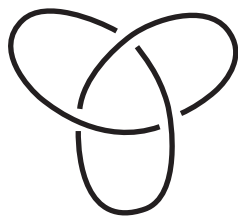
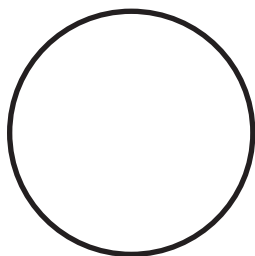
sido exonerado de tales cargos. He aquí la historia de un fracaso magnífico.

Historia de los nudos

El problema más importante en teoría de nudos consiste en determinar si dos nudos son, o no, el mismo. Matemáticamente, se acostumbra a considerar que dos nudos son idénticos si puede deformarse uno de ellos —mediante estiramiento o torsión, sin romperlo— hasta lograr que ambos ofrezcan exactamente el mismo aspecto. La demostración de que dos nudos son iguales no es demasiado complicada: basta deformar uno de ellos hasta que sea exactamente igual que el otro. Pero la demostración de que dos nudos son distintos es difícil, porque hay un número infinito de contorsiones posibles.

La teoría de nudos estudia también las concatenaciones de nudos entrelazados de una forma cualquiera. En la Roma clásica era frecuente que los mosaicos con que se decoraban los templos y las mansiones representasen concatenaciones. Los nudos y concatenaciones celtas, cuyos mejores ejemplos podemos ver en el Libro de Kells, aparecieron en Irlanda en siglo VII, y desde allí se difundieron hacia Escocia.

En el siglo XIX los nudos, amén de su interés estético, adquirieron importancia matemática. Johann Carl Friedrich Gauss (1777-1855), quien, hijo de un albañil, llegó a ser el matemático más eximio de su tiempo, descubrió una característica no trivial de las concatenaciones. En 1833, demostró que el número de “entrelazados” —lo que hoy se conoce como número de concatenación de dos nudos— puede calcularse mediante una integral. Gauss estudió los nudos con uno de sus doctorandos, Johann Benedict Listing (1808-1882), quien posteriormente acuñaría la palabra *topología*, combinación de las voces griegas *topos* (lugar) y *logos* (razón), para referirse a la nueva geometría de posición.



1. UN ANILLO DE HUMO SE ELEVA SOBRE EL ETNA. Este tipo de anillos son consecuencia de pequeñas emisiones de humo expulsadas por las angostas chimeneas del volcán. Pueden alcanzar diámetros de hasta 180 metros y permanecer estables durante más de 10 minutos. El físico escocés Peter Guthrie Tait efectuó en 1867 una serie de experimentos con anillos de humo, aunque a escala reducida muy parecidos en el fondo a lo que ocurre en el volcán, con el fin de comprender el movimiento vorticial. William Thomson (Lord Kelvin, años después), tras haber observado uno de estos experimentos, llegó a la conclusión de que las formas más elementales de materia debían de consistir en nudos estables y permanentes, animados de un movimiento vorticial. Los esfuerzos de Thomson y Tait dieron nacimiento a la teoría de nudos, que es en la actualidad una de las ramas más activas de la matemática. A la izquierda ofrecemos un círculo (un no-nudo) y un círculo retorcido sobre sí mismo que es topológicamente idéntico al círculo que vemos encima. El nudo trifolio (*abajo*) es el más simple de los nudos no triviales.

Pero aunque Gauss y Listing sintieron curiosidad por los nudos, el progreso de esta disciplina exigía más que interés: alguien obsesionado por ellos.

Lord Kelvin

William Thomson fue un brillante matemático y físico, pero también una persona de desmesurada confianza en sí mismo. Siendo estudiante en Cambridge, tan seguro estaba de que iba a ser el *senior wrangler* (el estudiante con la máxima calificación en los duros exámenes de licenciatura en matemáticas de Cambridge), que tras hacer el examen

le pidió a su criado que averiguase quién había sido el segundo clasificado. “Usted, señor”, fue la demoledora respuesta.

El abanico de intereses de Thomson era muy amplio. Desde los últimos años del decenio de 1850 hasta mediados del siguiente decenio, participó en la creación del primer cable telegráfico transatlántico; en 1866 recibió el tratamiento de *sir* por su contribución. (Se convertiría en Lord Kelvin, o más exactamente, en Barón Kelvin de Largs, 26 años después.) En 1858, mientras trabajaba en el cable transatlántico, inventó el galvanómetro de espejo.



William Thomson

Con este aparato, capaz de detectar las débiles corrientes eléctricas que circulaban por el cable con mayor facilidad que los instrumentos anteriores, se hizo rico.

Pero Thomson es conocido sobre todo por la escala de temperatura absoluta, que deriva de sus investigaciones más importantes, las que dedicó a la termodinámica, y que lleva su nombre: escala Kelvin. (Un reconocimiento menor: el refrigerador Kelvinator.) Tras leer un artículo de Sadi Carnot titulado “Reflexiones sobre la fuerza motriz del calor”, propuso dos leyes de la termodinámica, que enunciaban la indestructibilidad de la energía. Toda la física, concluyó, habría de deducirse de principios energéticos.

Era característico de Thomson el gusto por estas conclusiones tan universales, lo cual le puso más de una vez en una situación difícil. En 1862 (antes del descubrimiento de la radiactividad) recurrió a los principios termodinámicos para estimar la edad de la Tierra, y llegó a la conclusión de que era mucho más joven de lo que creían los geólogos. A pesar de todas las pruebas en contra, entre ellas la teoría de selección natural de Darwin, Thomson se negó a aceptar que la Tierra pudiera tener más de 100 millones de años.

Llegado a la vejez, Thomson se hizo cada vez más refractario a los nuevos desarrollos científicos. David Lindley, en su apasionante biografía de Thomson, mantiene que éste, en

sus años postreros, se había convertido en un chiflado, “un fósil viviente, una reliquia de una era olvidada”. Thomson repudió la teoría del electromagnetismo de Maxwell, universalmente admitida, rechazó la radiactividad, se empeñó en que la Tierra sólo contaba 100 millones de años y se negó a aceptar la teoría atómica, que avanzaba a paso veloz. Pese a todo, fue, hasta el término de su larga vida, uno de los científicos británicos más brillantes.

P. G. Tait

Peter Guthrie Tait, a diferencia de Thomson, sí fue *senior wrangler* de su promoción en Cambridge. Nació en 1831. Pugnaz, discutiendo, mantuvo una ardiente lealtad hacia Thomson. “Nunca nos conformamos con no estar de acuerdo”, escribió Thomson en 1901, en el obituario de su eterno amigo y colaborador. “Discutíamos siempre. Pero el placer de discutir con Tait era casi tan grande como el de coincidir con él.”

En 1860, el patronato de la Universidad de Edimburgo ofreció a Tait la cátedra de Historia Natural, que estaba vacante. Por su mayor capacidad docente, lo prefirieron a Maxwell, de superiores logros científicos. (J. M. Barrie, el autor de *Peter Pan*, que fue alumno de Tait, dijo en cierta ocasión que no creía que alguien hubiera podido alguna vez explicar mejor que Tait.)

Tait se sumó a la refriega sobre la edad de la Tierra, tomando partido por Thomson. Resumió su postura en una conferencia pronunciada en 1885, en la que sostuvo que la Tierra no podría tener una edad mayor de 10 o 15 millones de años. Y si tal cosa molesta a los geólogos, añadió, “tanto peor para la geología”.

La ciencia de los anillos de humo

Los científicos victorianos, y entre ellos Thomson y Tait, creían en la existencia de un fluido perfecto al que llamaban éter, una noción con origen en Aristóteles. Tal medio parecía esencial para que, por ejemplo, el Sol pudiera ejercer su atracción gravitatoria sobre la Tierra. Thomson ansiaba encontrar un modelo mecánico del éter que explicara su interacción con los fenómenos físicos.

Thomson estaba también enzarzado con otra cuestión fundamental de

su tiempo: ¿Qué son los átomos? La existencia de los átomos era cosa ampliamente aceptada, pero los detalles seguían siendo escurridizos. Thomson no podía aceptar que los átomos fuesen cuerpos duros y diminutos, una de las descripciones más comunes. ¿Cómo podrían los átomos, así concebidos, vibrar y emitir luz visible? Un experimento de Tait le sugirió otra caracterización.

En 1867 Tait le mostró a Thomson la forma de hacer números de magia con anillos de humo. Tait sabía ya, por un artículo de Hermann von Helmholtz, que un vórtice anular sería estable y permanente en un fluido perfecto. El aire no es un fluido perfecto, pero Tait se contentó con un modelo aproximado. Hizo un agujero de buen tamaño en una de las caras de un cajón de madera y sustituyó la cara opuesta por una toalla estirada y bien tensa. Roció el interior de la caja con una disolución concentrada de amoníaco y colocó un plato que contenía sal común sobre la que había vertido ácido sulfúrico. Como Tait explicaría en una disertación siete años más tarde:

“Los dos gases se combinan y forman sal amoniacal (cloruro amónico) sólida. Cualquiera cosa visible que salga de la caja no consistirá sino en partículas de sal amoniacal, tan pequeñas, que se mantienen suspendidas por fricción fluida, como el



P.G. Tait

STEPHANIE FRESSE/American Scientist

2. PETER GUTHRIE TAIT construyó en 1867 una caja para estudiar los anillos de humo. Una de las caras de la caja era una toalla tensa; abrió un boquete circular en la cara opuesta y puso amoníaco y ácido sulfúrico en el interior. Al golpear la toalla emergían aros de humo a través del boquete: cuando el humo llegaba a la abertura, se desplazaba hacia delante y luego hacia atrás en un movimiento circular a causa del empuje del aire exterior. Este patrón circular creaba un vórtice, que estabilizaba el aro de humo. Si el orificio no era circular, los anillos iban gradualmente adoptando la forma circular después de atravesarlo.

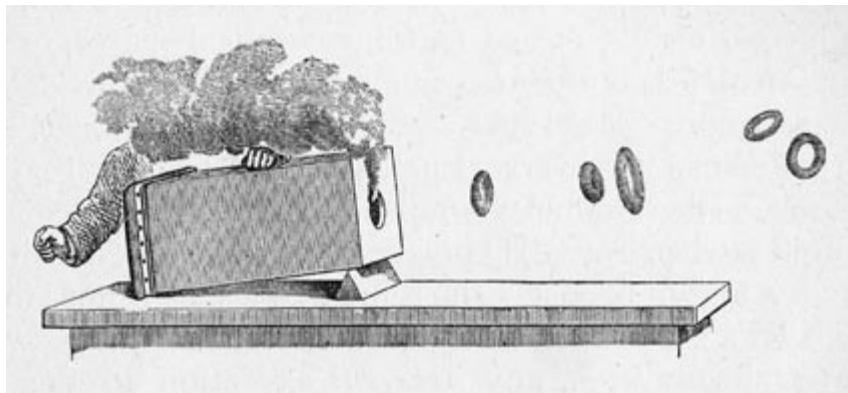
humo en el aire. Observemos ahora el efecto de un golpe seco aplicado a la cara de la caja opuesta al agujero.”

El aire de la sala debió de ser acre. Cada vez que Tait golpeaba la toalla, emergían del agujero vórtices anulares, que vibraban violentamente, “como si fuesen anillos sólidos, de goma”. Tait se maravillaba de su estabilidad. Cuando el agujero, en lugar de redondo, era cuadrado u ovalado, la forma del vórtice se estremecía y vibraba hasta adoptar la forma circular, a la que Tait consideraba “una posición de equilibrio estable”.

Tait trabajó mucho para perfeccionar su experimento de los anillos de humo. Al parecer, Thomson hizo otro tanto. En una carta de Tait a Thomson, fechada en 1867, le proponía algunas recetas letales:

“¿Has probado con aire puro en una de tus cajas? El efecto es muy sorprendente. Pero olvídate de NO_5 y Zn. Lo que va bien es $\text{SO}_3 + \text{NaCl}$. No te quedes corto con el NH_3 : los vapores serán muy densos + no desagradables. El NO_5 es PELIGROSO. Introduce la cabeza en un anillo y percibe la corriente.”

Más de 30 años después, Henri Poincaré habría de sostener que las combinaciones útiles de ideas son las más hermosas. Una “criba estética” subconsciente, pensaba Poincaré, se encargaba de que aflorasen esas hermosas asociaciones. Thomson, al ver cómo se deslizaban lentamente por la sala los anillos de humo de Tait, debió tener justamente una de tales inspiraciones: tal vez los bloques elementales de la materia fuesen

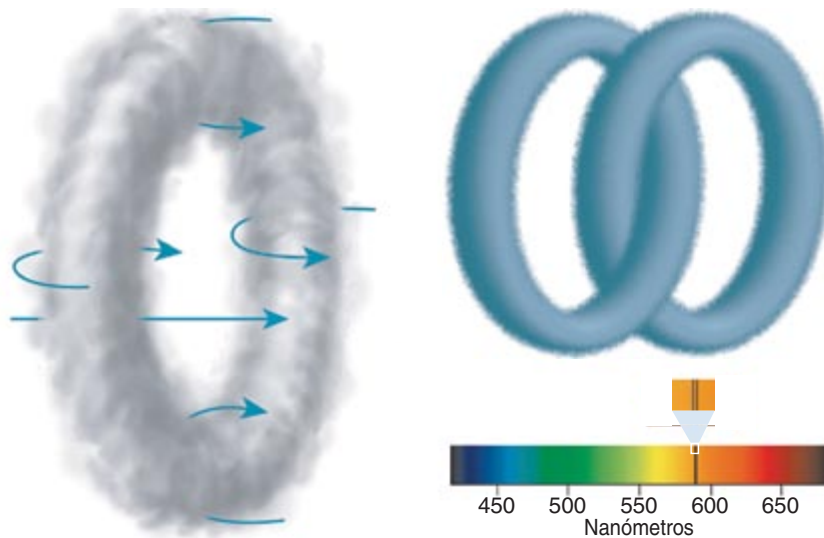


vórtices anulares de éter. El movimiento de los vórtices, impartido por un creador divino, había fracturado el éter, por lo demás homogéneo, en componentes químicos: los elementos químicos serían tubos de éter anudados. El atractivo de esta teoría residía, en parte, en su simplicidad. Con ella, no se necesitarían hipótesis prolijas y fastidiosas para explicar las propiedades químicas, que serían resultado de la topología. La teoría, sencilla y hermosa, no podía dejar de ser verdadera.

Los elementos químicos, cuando se calientan hasta determinada tem-

peratura, desprenden colores característicos: sus espectros de emisión. Thomson explicaba las “rayas D” del espectro del sodio suponiendo que este elemento consta de dos vórtices anulares concatenados de la forma más sencilla. En 1867, le escribía a Helmholtz:

“... podría existir toda variedad de combinaciones. Así pues, una larga cadena de vórtices anulares, o tres anillos, que pasen cada uno por el interior de cada uno de los otros, daría a cada uno de esos átomos cinéticos reacciones muy características con los otros.”



3. LA TEORIA ATOMICA VORTICIAL DE WILLIAM THOMSON nació de sus observaciones de los experimentos de Tait con anillos de humo. Las flechas que rodean el anillo de humo de la izquierda indican el sentido de movimiento del vórtice. El aire presiona sobre la parte más externa del anillo, que tiene mayor superficie que el interior del aro, y desplaza el anillo en la dirección del aire que pasa por dentro del aro. En un fluido perfecto, como el éter, este movimiento vorticial sería permanente. Thomson propuso que el comportamiento de los átomos hallaría explicación si se tratara de nudos de éter dotados de movimiento vorticial. A título de ejemplo se valió del sodio. Pensaba que las distintivas “líneas D” de este elemento, un doblete de líneas de su espectro de emisión, podrían deberse a dos anillos de éter concatenados.



4. EN UN ARTICULO PUBLICADO EN 1858 Hermann von Helmholtz describió el movimiento de los anillos vorticiales en un fluido perfecto. Llegó a la conclusión de que si dos anillos situados en el mismo plano (*en la figura, uno azul y otro verde*) se movían en la misma dirección, el primer aro se agrandaría

y perdería velocidad, mientras que el segundo se contraería y atravesaría al primero. El proceso se repetiría indefinidamente. Tait se valió de su caja de aros de humo para ilustrar las conclusiones de Helmholtz. Halló que podía reproducir esa interacción.

Tait expuso esa idea de los anillos vorticiales de Thomson en una serie de lecciones publicadas en 1874. Comparó las interacciones de los aros vorticiales con el efecto de arrastrar una cucharilla por la superficie del té en una taza. Al elevar la cucharilla y separarla de la superficie se crea “un par de pequeños remolinos que se moverán por el té, girando en sentidos opuestos”. “Estos dos remolinos”, continuaba diciendo, “son, sencillamente, los extremos de un semianillo vorticial”.

“En un caso como ése puede haber extremos, porque estos dos extremos se encuentran en la superficie libre del líquido. Un anillo vorticial,

pues, no puede tener extremos... y si adoptamos la idea de Thomson de que un fluido perfecto llena el espacio infinito, está claro que no puede haber extremos. Todos los anillos vorticiales —y por consiguiente, según Sir William Thomson, todos los átomos de materia— tienen necesariamente que carecer de extremos; es decir, sus cabos han de terminar por unirse después de cierto número de convoluciones o anudamientos.”

Los detalles de la teoría de Thomson seguían siendo bastante vagos, pero la idea general encajaba maravillosamente con una visión dinámica del universo. La ciencia victoriana estaba imbuida de la filosofía mecánica de Newton. El matemático francés Pierre-Simon de Laplace se atrevió a afirmar que, si fuera posible conocer en un instante dado las fuerzas existentes en todos los puntos del universo, se podría predecir el futuro y conocer el pasado. Dios, al parecer, sería un jugador de billar que se tomaba un descanso después de una tacada especialmente acertada.

Las lecciones de Tait que se han publicado contienen una descripción detallada de sus experimentos con anillos de humo; en ellas da las dimensiones de las cajas y detalla los compuestos utilizados. Pero el texto y el grabado que lo acompaña sólo pueden ofrecernos una idea somera de lo que Tait y Thomson experimentaron. Por mi parte, decidido a captar el “efecto” —y el “aroma”— del experimento, construí mis propias

cajas de humo y pasé una tarde bien peculiar intoxicándome. Mis colegas Andrzej Wierzbicki y Susan Williams y yo estuvimos zurrando cajas llenas de los humos combinados de ácido y amoníaco. Los anillos temblaban y vibraban al salir al exterior, pero al aumentar de diámetro, que en ocasiones superaba los 50 centímetros, se volvían estables. La visión de los anillos navegando plácidamente por la sala debió de resultar sumamente satisfactoria a Tait y Thomson. No tanto los vapores corrosivos.

dp/dt

James Clerk Maxwell era alegre, bienhumorado, atlético y brillante conversador. Tait y Maxwell se conocieron de estudiantes en la Academia de Edimburgo. Posteriormente, ya colegas, los dos amigos se escribían casi a diario mediante las nuevas tarjetas postales de medio penique. El correo se repartía con diligencia, por lo que resultaba posible enviar una postal y recibir respuesta en el mismo día. Se han conservado, por fortuna, muchas de las postales que Maxwell envió. A menudo utilizaba unas abreviaturas bastante crípticas: Thomson era T, Tait era T' y John Tyndall, un divulgador científico de éxito a quien Maxwell y Tait consideraban un mediocre, T'', una broma entre ellos que sugería que Tyndall era “una magnitud de segundo orden”. El propio Maxwell firmaba dp/dt, por una ecuación de la termodinámica que se resumía en sus iniciales: JCM = dp/dt.



James Clerk Maxwell

Es verosímil que el profundo interés de Maxwell por los nudos y por la topología se debiera a la teoría de los átomos vorticiales de Thomson y a la influencia de Tait. En una postal dirigida a Tait en noviembre de 1867, Maxwell da a entender que había estado reflexionando sobre los artículos de Helmholtz sobre los nudos y el movimiento de los vórtices, con toda probabilidad en razón de sus consecuencias para la electricidad y el magnetismo.

En una carta escrita al mes siguiente, relataba Maxwell: “He estado entreteniéndome unos días con curvas anudadas”. A continuación explicaba que el número de enlace de dos nudos posee significado físico. Al hacer pasar corriente eléctrica por uno de los nudos se genera un campo magnético. El número de enlace es, esencialmente, el trabajo realizado por una partícula cargada que se mueve a lo largo de la trayectoria definida por el segundo nudo. Maxwell expresaba el número de enlace mediante una integral doble que Gauss había descubierto con anterioridad.

El profundo interés de Maxwell por los nudos y sus concatenaciones se manifiesta en cartas y notas suyas publicadas recientemente. Entre estos papeles hay transparencias estereográficas de nudos, que habían de observarse mediante un estereoscopio mejorado por el propio Maxwell. Aparece también una fotografía de un zoótropo, o rueda de la vida. Su diseño se describe en una biografía de Maxwell escrita en el siglo XIX:

“En el instrumento ordinario, al mirar por las rendijas del cilindro giratorio vemos moverse las figuras sobre la superficie opuesta del cilindro. Maxwell insertó, en vez de rendijas, lentes cóncavas, cuya distancia focal era tal, que la imagen virtual del objeto situado en el otro extremo del diámetro se formase en el eje del cilindro y, consiguientemente, pareciera quedar estacionaria durante la rotación del cilindro.”

Un examen atento de las figuras dibujadas a mano que vemos en la fotografía del zoótropo de Maxwell



5. JAMES CLERK MAXWELL, que era amigo de Thomson y de Tait, se interesó por su trabajo sobre vórtices y utilizó su zoótropo para examinar las interacciones de tres anillos. Al girar el zoótropo, los observadores que mirasen a través de las aberturas del cilindro percibirían que los anillos dibujados en la banda interior pasaban unos a través de otros, de la forma descrita por Helmholtz para dos anillos.

nos revela que consistían en tres anillos simples, que representaban aros de humo. Helmholtz, en su artículo de 1885, había descrito la interacción entre dos vórtices anulares que viajan en la misma dirección:

“Si su rotación es del mismo sentido y viajan en la misma dirección, el que vaya por delante se ensanchará y viajará más lentamente; el perseguidor se contraerá y viajará más deprisa hasta que, por fin, si sus velocidades no difieren demasiado, alcance al primero y penetre en él. Después ocurrirá lo mismo en orden inverso: los anillos irán pasando alternativamente cada uno a través del otro.”

Maxwell, tras haber apreciado el *pas de deux*, se propuso comprender la danza en trío. En una carta dirigida a Thomson, de 6 de octubre de 1868, anunciaba que las conclusiones de Helmholtz seguían siendo válidas para tres anillos.

A pesar de la vertiginosa celeridad de su pensamiento y de su brillante

mente, Maxwell mantuvo siempre un tono mesurado y objetivo en todos sus escritos. No se puede decir lo mismo de su amigo Tait.

El universo que no vemos

El éxito de la concepción mecánica del universo creada por Newton era motivo de orgullo nacional para la Gran Bretaña de la era victoriana. Pero la filosofía materialista que engendró fue causa asimismo de no poca inquietud. Pues si todos los fenómenos eran susceptibles de explicación científica, también podrían serlo los milagros. La certidumbre de la Revelación quedaría en tela de juicio.

Una reacción muy difundida fue el interés por el espiritismo, que alcanzó notable predicamento en Gran Bretaña hacia 1870. La Sociedad para las Investigaciones Psíquicas, fundada en 1866, contaba con William Gladstone, Lewis Carroll, John Ruskin, Alfred Lord Tennyson y otros victorianos prominentes. Se empeñaron en afianzar el credo religioso por medio de la ciencia. Había quienes tenían incluso la esperanza de demostrar la existencia de vida tras la muerte.

William Kingdon Clifford y algunos más habían proclamado su escepticismo, cuando no su ateísmo. John Tyndall, un campeón del materialismo, indignó a muchos de los asistentes al congreso de la Asociación Británica celebrado en Belfast en 1874 al sostener en su discurso que la ciencia había de estar divorciada de la doctrina religiosa. Los argumentos religiosos sobre la naturaleza del universo, afirmaba, deberían aceptar su inferioridad frente a las explicaciones científicas.

Semejante tesis provocó la ira de Tait, quien respondió publicando, en coautoría con Balfour Stewart, un físico de Belfast, una apresurada tentativa de justificación y reivindicación de los milagros, de los espíritus y sobre todo de la vida ultraterrena titulada *The Unseen Universe* (El universo que no vemos). Esta obra, a pesar de sus limitaciones literarias y científicas, fue un éxito comercial.

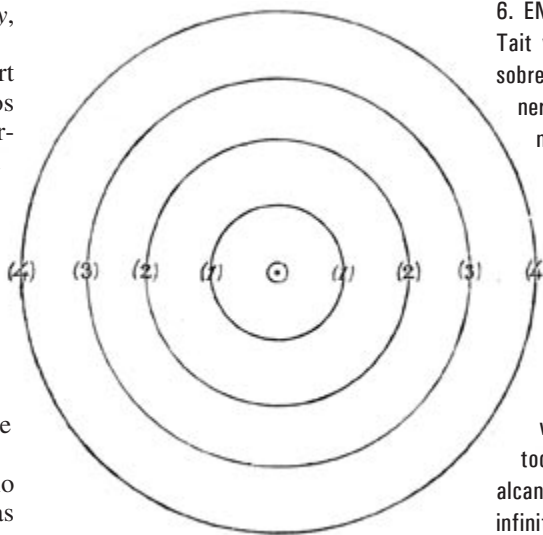
Una secuela, *Paradoxical Philosophy*, llegaría poco después.

En pocas palabras: Tait y Stewart sostenían que, si bien el éter que nos rodea es imperfecto, existen universos paralelos que cuentan con un éter más perfecto. Presentaban en un diagrama una serie de círculos concéntricos, cuyo círculo más interior representaba un “aro evanescente de humo”, el siguiente era representación de nuestro mundo, es decir, del “universo visible”, y cada anillo mayor iba denotando un “universo invisible” progresivamente más perfecto.

“Lo mismo que el aro de humo se desarrolló a partir de moléculas ordinarias”, explicaban, “podemos imaginar que las moléculas ordinarias se han desarrollado a partir de vórtices anulares de algo muchísimo más tenue y sutil que ellas mismas. Hemos convenido en llamarlo universo invisible”. Si retrocedemos infinitamente, sostenían estos autores, llegaremos a “un universo que posee energía infinita y cuya inteligente actuación desarrolladora posee energía infinita”.

Tait y Stewart creían que los pensamientos provocaban perturbaciones moleculares que se propagaban al mundo siguiente. Las vibraciones de nuestro mundo se disipaban y desvanecían, pero transmitían al dominio etéreo perfecto un movimiento eterno. Mezclaban argumentos técnicos sobre la termodinámica con las palabras de San Pablo. Mal puede sorprender que el lomo y la primera página del libro estuviesen decorados con un nudo trifolio.

Vemos en *The Unseen Universe* que Tait no limitaba su interés a las cuestiones matemáticas sobre los nudos. Abrigaba la esperanza de responder las preguntas más peliagudas sobre la consciencia, el alma y la vida ultraterrena. “La religión nos informa sin duda... de que existen otros seres superiores al hombre, pero no moran en el universo visible, sino en aquel que es invisible y eterno.” Así pues, concluían los autores, “hemos



alcanzado el estadio desde el cual podemos muy fácilmente eliminar toda dificultad científica en lo que concierne a los milagros”. La reseña de Clifford en *Fortnightly Review* fue muy crítica, según cabía prever; en ella hablaba de “la reposada idea de un diván universal, donde esos seres inteligentes soportan el tedio de la eternidad expeliendo aros de humo por sesenta y tres clases de bocas”.

Maxwell, al igual que Tait, era profundamente religioso, pero mantenía sus creencias en su fuero interno. Si bien admiraba la teoría de los vórtices atómicos, se mostraba escéptico con los esfuerzos de Tait de usarlos en defensa de ideas religiosas. En carta dirigida a Tait en 1878, comentaba sardónico: “Si estás pensando en ampliar la colección de himnos que ofresces en la obra original [*The Unseen Universe*], no te olvides de insertar ‘¡Cuán feliz podría ser con Eter!’” (Maxwell jugaba ahí con el título de una de las canciones de la *Beggar’s Opera* de John Gay.)

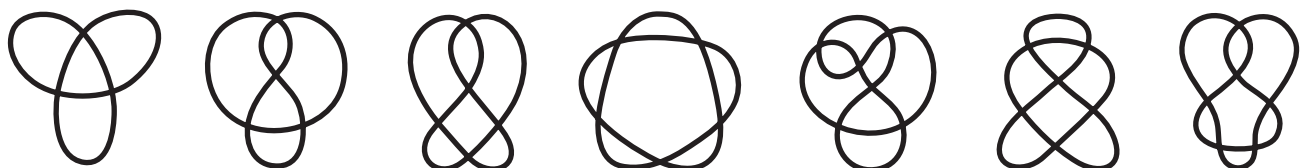
7. TAIT, TRATANDO DE DESARROLLAR UNA TABLA de los elementos químicos basada en la teoría vorticial de los átomos, empezó a clasificar los nudos según el número de cruzamientos. Los siete nudos más sencillos (*abajo*) tienen hasta seis cruzamientos. Tait llegó a construir tablas para nudos de hasta 10 cruzamientos. Las tablas actuales cubren hasta 16 cruzamientos y contienen más de 1.700.000 millones de entradas.

6. EN *THE UNSEEN UNIVERSE*, sus autores, Tait y Balfour Stewart, formulaban hipótesis sobre la naturaleza del universo. A la manera de un anillo de humo compuesto por moléculas ordinarias, estas moléculas podrían ser anillos vorticiales de “algo mucho más fino y sutil que ellas”. En este boceto, el círculo más interior representa un anillo de humo en el seno de nuestro universo visible (1). Por idéntico motivo, nuestro universo es una parte mutable de un universo más perfecto (2), el cual, a su vez, forma parte de otro más perfecto todavía (3), y así sucesivamente, hasta alcanzar un universo dotado de “energía infinita” y creado por un agente divino.

Pocos meses después, Maxwell reseñaría *Paradoxical Philosophy* en *Nature*. Volvería en esa ocasión a poner en tela de juicio el nexo de los argumentos religiosos y los argumentos científicos:

“Ejercitar la mente en especulaciones sobre [el éter] puede constituir una ocupación deliciosa para quienes se hallen intelectualmente dotados para permitírselo, pero no alcanzamos a ver por qué habrían de apropiarse para ello de las palabras de San Pablo por motivo alguno... Ningún descubrimiento nuevo puede hacer que el argumento contra la existencia personal del hombre después de la muerte sea más vigoroso de lo que siempre ha parecido desde que los humanos empezaron a morir.”

Maxwell se permitió una pulla más zumbona sobre las especulaciones de Tait en un poema, parte de una carta a éste, que empezaba: “Es mi alma un nudo enredado, sobre un líquido vórtice forjado”. No refrenaría Maxwell las pulsiones espirituales



de su amigo, pero sí informaría e inspiraría las indagaciones de Tait en la matemática de los nudos y las concatenaciones.

El programa de Tait

Tait emprendió en 1878 un ambicioso programa de catalogación de nudos, que, si la teoría vorticial de los átomos hubiese sido correcta, habría constituido una suerte de tabla de los elementos. Tait carecía de técnicas rigurosas para demostrar que sus dibujos representaban nudos distintos, pero sí poseía osadía y una atinada intuición geométrica. (En el decenio de 1920, las técnicas elaboradas por Henri Poincaré y James Alexander permitieron comprobar que las tablas de Tait eran en esencia correctas.)

Tait seguía insatisfecho tras haber preparado las tablas de los nudos que se pueden dibujar con un máximo de seis cruzamientos. El problema estribaba en el elevado número de líneas espectrales de ciertos elementos, lo que significaba que los correspondientes átomos vorticiales tenían que ser muy complejos. Confeccionó entonces una tabla de “los primeros siete órdenes de anudamiento” (nudos que contaban hasta siete cruzamientos), pero incluso esto resultaba insuficiente.

“No es probable”, escribió Tait, “que puedan abordarse los nudos de ocho o más cruzamientos mediante un proceso riguroso mientras no se simplifiquen inmensamente los métodos”. Sería necesario que alguien contara “con la tranquilidad requerida” para ampliar la lista. Hubo quienes, inspirados por Tait, se pusieron manos a la obra. El reverendo Thomas P. Kirkman le envió una lista de nudos con 10 cruzamientos que contenía redundancias. Tait trabajó duramente para expurgar los duplicados. Cuando Charles Little, de la Universidad estatal de Nebraska, le envió a Tait su propia lista, había alguna ligera discrepancia, aunque Tait logró descubrir su único error antes de publicarla. Kirkman le envió a Tait otra lista de 1511 nudos con 11 cruzamientos; Tait decidió, empero, que no podía dedicar más tiempo al proyecto.

Otros retomarían su labor. La tabulación prosigue, aunque ya no sea la única tarea de la teoría de nudos.

Las tablas actuales llegan hasta los 16 cruzamientos y contienen alrededor de 1.700.000 entradas. Morwen Thistlethwaite, de la Universidad de Tennessee, está cerca de concluir una tabla de nudos con 17 cruzamientos.

El significado de los nudos

La confianza y el juicio estético de Thomson se combinaron con el entusiasmo de Tait y su personalidad filosófica y fomentaron el primer programa sostenido de investigación de la teoría de nudos. Maxwell contribuyó también con las ideas y el aliento que le proporcionó sin cesar a Tait.

La investigación en teoría de nudos continúa sin la teoría de los vórtices atómicos, que se ha esfumado como los aros de humo de Tait. En 1889, Thomson aún seguía poniendo esperanzas en ella, a juzgar por el discurso que pronunció en calidad de presidente de la Institución de Ingenieros Eléctricos. Casi podemos imaginarle pensando:

“Y en este punto me temo que he de concluir diciendo que tan grandes son las dificultades que hay en el proceso de creación de algo que se parezca a una teoría comprensiva, que no podemos imaginar siquiera un indicador que señale un camino que nos lleve hacia la explicación. No me excedo al expresarme así. Sólo puedo decir que en este momento no podemos imaginar cuál pueda

ser. Pero el año que viene, cuando volvamos a reunirnos —o dentro de diez años, o de cien, quién sabe—, probablemente resulte tan sencillo de comprender como entendemos este vaso de agua, claro y simple. No me cabe duda de que estas cosas, que ahora tenemos por misteriosas, no lo serán en absoluto; que se nos caerán las legañas de los ojos, que aprenderemos a ver las cosas de un modo diferente, cuando lo que hoy constituye una dificultad sea entonces la única forma razonable e inteligible de considerar la cuestión.”

La teoría de los vórtices atómicos supuso la primera tentativa de dar una aplicación física a la teoría de nudos. Desde entonces, las técnicas de esta teoría se han abierto paso hasta la dinámica de fluidos, la física solar, la investigación del ADN y la computación cuántica. Aun así, la importancia y significado físico de los nudos sigue escapándonos.

Cabe en lo posible que un nudo, lo mismo que su pariente más simple, el círculo, represente una relación fundamental de magnitudes. Dos mil años de reflexión sobre la geometría euclídea han producido muchas aplicaciones abstractas. Se precisarán algunos años más de reflexión para liberarnos de una visión sobremanera literal de los nudos y sus concatenaciones. Cuando finalmente comprendamos su naturaleza más honda, florecerán profundas aplicaciones físicas.

El autor

Daniel S. Silver, doctor en matemáticas por la Universidad de Yale, estudia la relación entre los nudos y los sistemas dinámicos. Entre sus otros intereses se cuentan la historia de la ciencia y la psicología de la invención. Enseña en la Universidad de Alabama.

©*American Scientist Magazine*.

Bibliografía complementaria

TOPOLOGY, MATTER AND SPACE, I: TOPOLOGICAL NOTIONS IN 19th CENTURY NATURAL PHILOSOPHY.

M. Epple en *Archive for History of Exact Sciences*, vol. 52, págs. 297-392; 1998.

THE FIRST 1,701,936 KNOTS. J. Hoste, M. Thistlewaite y J. Weeks en *The Mathematical Intelligencer*, vol. 20, págs. 33-48; 1998.

GEOMETRICAL ASPECTS IN THE DEVELOPMENT OF KNOT THEORY. M. Epple en *History of Topology*, págs. 301-358. Recopilación de I. M. James. North-Holland; Amsterdam, 1999.

THE SCIENTIFIC LETTERS AND PAPERS OF JAMES CLERK MAXWELL. Dirigido por P. M. Harman; 3 volúmenes. Cambridge University Press; Cambridge, 1990, 1995, 2002.

DEGREES KELVIN: A TALE OF GENIUS, INVENTION, AND TRAGEDY. D. Lindley. Joseph Henry Press; Washington D.C., 2004.