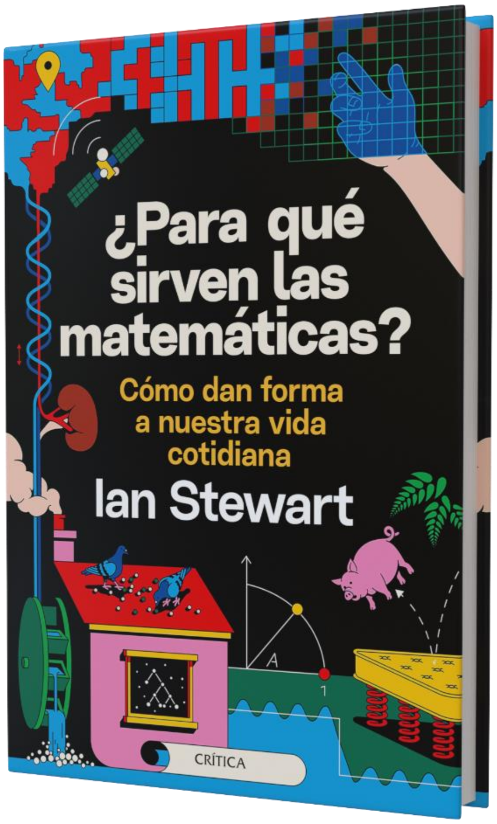
CRÍTICA

IAN STEWART

¿PARA QUÉ SIRVEN LAS MATEMÁTICAS?

Cómo dan forma a nuestra vida cotidiana



«Las matemáticas no solo son relevantes para nuestras vidas, sino que sin ellas el mundo moderno como lo conocemos se desmoronaría.»

A LA VENTA EL 9 DE MARZO

AUTOR DISPONIBLE PARA ENTREVISTAS

PARA AMPLIAR INFORMACIÓN, CONTACTAR CON:

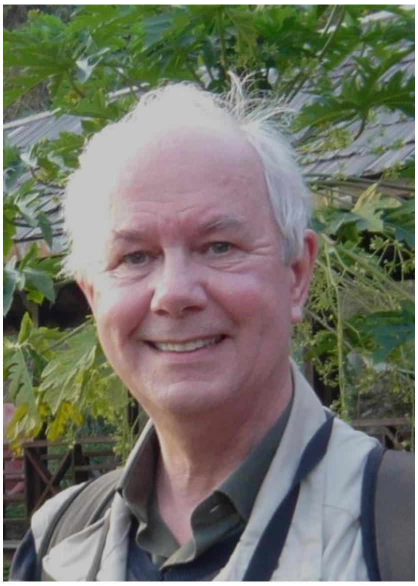
Laura Fabregat - responsable de comunicación del Área Ensayo

682 69 63 61 - asitja@planeta.es

SINOPSIS

Ante la percepción popular de que las matemáticas son inútiles para nuestro día a día, el profesor Ian Stewart nos demuestra que esta disciplina va mucho más allá de los cálculos aburridos que todos recordamos de la escuela y nos propone un curioso recorrido por los usos de las matemáticas que a menudo permanecen ocultos a simple vista, pero contribuyen a nuestras vidas. Desde la trigonometría que mantiene un satélite en órbita hasta los números primos utilizados por los sistemas de seguridad más avanzados del mundo, pasando por los números imaginarios que permiten la realidad aumentada, los métodos más eficientes para los trasplantes de riñón, las aplicaciones en política, la predicción del cambio climático o, incluso, cómo una curva extraña e infinitamente ondulada optimiza las entregas a domicilio; las matemáticas no solo son relevantes para nuestras vidas, sino que sin ellas el mundo moderno como lo conocemos se desmoronaría.

EL AUTOR



Ian Stewart (Inglaterra, 1945) es conocido en todo el mundo como divulgador matemático. Recibió la Faraday Medal de la Royal Society en 1995 por promover el conocimiento público de la ciencia, la IMA Gold Medal en 2000, el Public Understanding of Science and Technology Award de la AAAS (American Association for the Advancement of Science) en 2001 y la LMS/IMA Zeeman Medal en 2008. Fue elegido miembro de la Royal Society en 2001. Es catedrático emérito de Matemáticas en la Universidad de Warwick. Entre sus libros se incluyen *Locos por las matemáticas* (2005), *Las matemáticas de la vida* (2011), *Historia de las matemáticas* (2012), *17 ecuaciones que cambiaron el mundo* (2013), *Los grandes problemas matemáticos* (2014), *Números increíbles* (2016), *Las matemáticas del cosmos* (2017) y *Mentes maravillosas* (2018), todos ellos publicados por Crítica.

EXTRACTOS DEL LIBRO

1.Irrazonable eficacia

«¿Para qué sirven las matemáticas? ¿Qué hacen por nosotros, en nuestra vida cotidiana? Poco tiempo ha, estas preguntas tenían respuestas sencillas. El ciudadano de a pie empleaba la aritmética básica en todo momento, aunque solo fuese para comprobar el recibo de la compra. Los carpinteros tenían que saber geometría elemental. Agrimensores y navegantes necesitaban también la trigonometría. La ingeniería exigía dominar el cálculo.

Hoy en día, las cosas han cambiado. La caja del supermercado calcula el importe total del recibo, resta las ofertas del día y añade el IVA. Oímos los pitidos cuando el láser escanea los códigos de barras y, mientras el sonido coincida con el paso de los productos, asumimos que los chismes electrónicos saben lo que hacen. Muchas profesiones dependen todavía de un conocimiento matemático amplio, pero incluso en estos casos, la mayor parte de los cálculos se confían a aparatos electrónicos con algoritmos incorporados.

Mi disciplina brilla por su ausencia. Ni siquiera hay un toro al que agarrar por los cuernos.

Sería fácil llegar a la conclusión de que las matemáticas se han quedado anticuadas y obsoletas, pero sería una idea equivocada. Sin ellas, el mundo actual se vendría abajo. Para demostrarlo, voy a traer a colación sus aplicaciones en política, en derecho, en los trasplantes de riñón, en las rutas de reparto de los supermercados, en la seguridad en internet, en los efectos especiales de las películas y en la fabricación de muelles. Veremos el papel esencial que desempeñan en los escáneres médicos, en la fotografía digital, en la banda ancha por fibra óptica y en la navegación por satélite. También, cómo nos ayudan a predecir los efectos del cambio climático o cómo pueden protegernos frente a terroristas y *hackers* informáticos.»

«[…] Las matemáticas son un sistema ilimitado de ideas y métodos de una creatividad inmensa. Yacen inmediatamente bajo la superficie de las tecnologías revolucionarias que han hecho que el siglo XXI sea diferente por completo a cualquier época anterior: videojuegos, viajes aéreos internacionales, comunicaciones por satélite, ordenadores, internet o teléfonos móviles.»

«[…] un motivo importante por el que las matemáticas se han hecho todavía más esenciales es la omnipresencia de ordenadores baratos y potentes. Su proliferación ha creado nuevas oportunidades para aplicar la disciplina a problemas del mundo real. Métodos que hasta la fecha eran impracticables, debido a los muchos cálculos que exigían, son ahora rutinarios. Los más grandes matemáticos de la época del papel y el lápiz se habrían llevado las manos a la cabeza, desesperados ante cualquier método que necesitase mil millones de operaciones. Sin embargo, tales métodos se emplean hoy en día de manera rutinaria porque disponemos de una tecnología que puede echar las cuentas en una fracción de segundo.»

«[…] Las ecuaciones matemáticas de la aerodinámica son fundamentales para el diseño de aeronaves. La navegación depende de la trigonometría. Es cierto que la manera en que se emplea hoy en día es diferente a como lo hacía Cristóbal Colón porque cobra la forma de dispositivos electrónicos, en vez de papel, lápiz y tablas de navegación, pero los principios subyacentes son los mismos. El desarrollo de nuevos fármacos se basa en la estadística para garantizar que son seguros y eficaces. Las comunicaciones por satélite requieren una profunda comprensión de la dinámica orbital. El pronóstico del tiempo exige resolver las ecuaciones del movimiento de la atmósfera, de la humedad que contiene, de lo caliente o fría que está y de cómo interactúan todos estos factores. Hay miles de ejemplos más. La implicación de las matemáticas pasa desapercibida porque no es necesario conocerla para beneficiarse de sus resultados.»

«[…] Por ejemplo, en 1736, el gran matemático Leonhard Euler dirigió su atención a un pequeño y curioso rompecabezas acerca de unos paseantes que cruzan puentes. Sabía que era interesante porque parecía exigir un nuevo tipo de geometría que abandonase las nociones habituales de longitud y ángulo. Pero en modo alguno podía prever que la disciplina a la que dio origen con su solución ayudaría, en el siglo XXI, a más pacientes a recibir los trasplantes de riñón necesarios para salvas su vida.»

2.Cómo eligen los políticos a sus votantes

«[…] ¿Cómo diantres pueden aplicarse las matemáticas a la política? Esta tiene que ver con relaciones entre seres humanos, acuerdos y obligaciones, mientras que aquellas se refieren a una lógica fría y abstracta. En los círculos políticos, la retórica es más importante que la lógica y parecería que los cálculos inhumanos de las matemáticas están muy alejados de las disputas partidistas. Sin embargo, en democracia estas se desarrollan de acuerdo con unas reglas, que tienen consecuencias que no siempre pueden preverse cuando se establece la norma por primera vez. La obra pionera de Euclides en geometría, recogida en sus famosos *Elementos*, fijó un estándar en lo que se refiere a deducir consecuencias a partir de unas reglas. De hecho, esa sería una buena definición de las matemáticas en su conjunto. Sea como sea, el caso es que apenas 2.500 años después, esta disciplina ha empezado a infiltrarse en el mundo de la política.»

«[…] Desde el momento en que se concibió la idea de elegir los líderes y decidir las políticas mediante el sufragio popular, también surgió el planteamiento, más atractivo incluso, de subvertir todo el proceso, al limitar quién podía participar y la efectividad de su intervención. Es algo fácil de hacer, incluso cuando se otorga un voto a cada elector, porque la eficacia del sufragio depende del contexto en el que se emite y este puede amañarse. Como ha expresado de manera muy diplomática el profesor de periodismo Wayne Dawkins, esto equivale a que sean los gobernantes quienes eligen a sus votantes, en lugar de ser los votantes quienes eligen a sus gobernantes.

Es ahí donde entran en juego las matemáticas. No en el tira y afloja del debate político, sino en la estructura de las reglas de este y en el contexto en el que se aplican. El análisis matemático es un arma de doble filo. Puede alumbrar maneras novedosas y astutas de amañar votaciones. Pero también es capaz de sacar a la luz estas prácticas y proporcionar pruebas incontestables de este tipo de manipulaciones, lo que en ocasiones puede evitar que se lleven a cabo.

Las matemáticas dicen también que cualquier sistema democrático debe incorporar un cierto nivel de compromiso. No es posible lograr todo lo que se quiere, por muy apetecible que sea, porque la lista de atributos deseables presenta contradicciones internas.»

«[…] Por ejemplo, en las elecciones presidenciales estadounidenses, cada estado elige un número concreto de «electores», integrantes del Colegio Electoral. Cada uno de ellos tiene un voto y se decide quién es el presidente por mayoría simple entre estos. Es un sistema que tiene su origen en una época en la que el único modo de hacer llegar un mensaje del interior del país hasta los centros de decisión era mandar una carta con un mensajero a caballo o por diligencia. El ferrocarril de larga distancia y el telégrafo no hicieron su aparición hasta mucho después. En esa época, contabilizar los votos de grandes cantidades de personas era demasiado lento. Pero también es cierto que este sistema cedía el control a la élite que integraba el Colegio Electoral. A su vez, en las elecciones parlamentarias británicas, se divide el país en circunscripciones (geográficas, en buena medida) y cada una elige un miembro del Parlamento. Después, el partido o coalición de partidos con una mayoría de representantes forma gobierno y nombra a uno de estos, mediante diferentes métodos, para ocupar el cargo de primer ministro. Este cuenta con un poder considerable y en muchos aspectos es equiparable a un presidente.

Hay también un motivo no declarado para filtrar las decisiones democráticas a través de un número reducido de guardianes: es más fácil amañar los resultados. Todos los sistemas como los que se han mencionado tienen defectos inherentes que a menudo redundan en resultados inesperados y que pueden aprovecharse en ocasiones para saltarse a la torera la voluntad del pueblo.»

«[…] A continuación, demostraban que ningún sistema de reparto de circunscripciones puede satisfacer en todos los casos estos tres criterios.

Las democracias no pueden ser perfectas. De hecho, es sorprendente que funcionen en absoluto, dado que el objetivo es persuadir a millones de personas, cada una con sus propias opiniones, de que se pongan de acuerdo en temas importantes que les afectan a todas. Las dictaduras son mucho más sencillas. Un dictador, un voto.»

3. ¡Deja que la paloma conduzca el autobús!

«[…] La época de los viajantes de comercio pasó hace mucho y la de las personas viajantes de comercio, menos machistas, le pisó los talones. En la era de internet, es muy raro que las empresas manden a alguien de ciudad en ciudad con una maleta llena de muestras para vender sus productos. Como es habitual (eficacia irrazonable), este cambio cultural no ha hecho que el TSP quede obsoleto. Con el crecimiento exponencial de las compras online, la necesidad de maneras eficaces de determinar rutas y horarios ha cobrado incluso más importancia para todo, desde paquetes o pedidos del supermercado hasta pizzas. Tal vez deberíamos cambiar el nombre del TSP a «problema de la compra del súper»: ¿cuál es el recorrido óptimo para la furgoneta de reparto?

La portabilidad de las matemáticas también entra en juego. Las aplicaciones del TSP no se limitan a recorridos entre ciudades o a lo largo de las calles de la ciudad. En la pared de nuestro salón cuelga un gran cuadrado de tela negra bordado en azul con un elegante patrón de espirales ribeteadas de lentejuelas basado en la conocida serie de Fibonacci. El diseñador lo ha llamado las "lentejuelas de Fibonacci". Lo hizo empleando una máquina controlada por ordenador capaz de bordar cualquier diseño hasta el tamaño de un edredón. La aguja que cose los hilos está unida a una varilla y puede desplazarse a lo largo de esta. A su vez, la varilla es capaz de moverse en perpendicular a su longitud. Es posible llevar la aguja a donde se quiera mediante la combinación de ambos movimientos. Por razones prácticas (aprovechamiento del tiempo, desgaste de la máquina o ruido) no es deseable que la aguja salte de un lado a otro por todas partes, por lo que la distancia total de desplazamiento debe reducirse al mínimo. Es un problema muy parecido al TSP. El linaje de estas máquinas se remonta a los albores del diseño gráfico por ordenador y a un dispositivo conocido como plotter XY, que movía un rotulador de la misma manera.»

«[…] Al secuenciar ADN, las secuencias fragmentarias de las bases del ácido tienen que unirse de manera correcta entre sí y debe optimizarse el orden en el que se hace esto para evitar desperdiciar el tiempo de cálculo del ordenador. Otras aplicaciones van desde trazar rutas para aeronaves de manera eficaz hasta el diseño y la fabricación de microchips y placas de circuitos impresos en informática. Se han empleado soluciones aproximadas del TSP para encontrar recorridos eficaces para el servicio de comidas a domicilio para personas dependientes y para optimizar el reparto de sangre en hospitales. Incluso una versión del TSP apareció en la "guerra de las galaxias", mejor llamada la hipotética Iniciativa de Defensa Estratégica del presidente Reagan, según la cual un potente láser que orbitase la Tierra se habría dirigido contra una serie de misiles nucleares atacantes.»

«[…] Los matemáticos siempre han prestado atención a que los métodos para resolver problemas sean eficientes, aunque, si no hay más remedio, son de la opinión de que cualquier método es mejor que ninguno. Para propósitos estrictamente teóricos, el mero hecho de ser capaces de demostrar que *existe* una solución a un interrogante puede ser un adelanto enorme. ¿Por qué? Porque si no es posible tener la certeza de que haya una, buscarla podría ser una pérdida de tiempo.»

«[…] desde los tiempos de Euclides hasta la actualidad, los matemáticos han gastado mucho tiempo en repasar con cuidado las demostraciones, tanto las propias como las de los demás, renglón a renglón, en busca de elementos con los que estuviesen de acuerdo y de otros para los que no les salieran las cuentas.

En los últimos años ha surgido una manera diferente de hacer las comprobaciones: emplear ordenadores. Esto exige volver a escribir las demostraciones en un lenguaje que los ordenadores puedan procesar mediante algoritmos. Funciona y ha conseguido éxitos espectaculares con algunos de los problemas más difíciles que se conocen, aunque hasta el momento no ha desplazado a otros métodos más tradicionales. Un efecto secundario de esta idea es un enfoque renovado en la forma de presentar las demostraciones de manera asequible para los ordenadores, que a menudo es diferente por completo de cualquier cosa que pueda digerir un humano. Los procesadores no se quejan si se les dice que repitan la misma operación millones de veces ni que comparen dos filas de miles de dígitos binarios para asegurarse de que son idénticas. Se ponen manos a la obra sin más.»

«[…] Si los gobiernos mundiales y los fabricantes de coches se salen con la suya, pronto ni el humano ni la paloma conducirán nada. Será el autobús el que conduzca el autobús en su lugar. Nos adentramos en una era feliz de vehículos autónomos.

O tal vez no.

El aspecto más difícil de lograr en los vehículos sin conductor es garantizar que interpretan su entorno de manera correcta. Dotarles de- sus propios “ojos” es fácil, porque en la actualidad se fabrican miles de millones de pequeñas cámaras de alta resolución. Pero la visión necesita un cerebro tanto como unos ojos, de modo que coches, camiones y autobuses se equipan con *software* de visión por ordenador. Así pueden saber qué es lo que ven y reaccionar de manera acorde.

Según los fabricantes, una ventaja potencial de los vehículos autónomos es la seguridad. Los conductores humanos cometen errores y causan accidentes. Un procesador no se distrae y, con bastante investigación y desarrollo, un ordenador debería ser más seguro al volante que cualquier persona. Otro aspecto positivo es que no hay que pagar al autobús para que se conduzca a sí mismo. Una gran desventaja, aparte de hacer que los conductores pierdan su empleo, es que esta tecnología se halla todavía en pañales y que los sistemas disponibles en la actualidad no están a la altura de las expectativas que generan. Ya han fallecido algunos peatones y conductores de prueba en accidentes y, sin embargo, en la actualidad se siguen ensayando vehículos completamente autónomos en las calles de las ciudades de varios países. El argumento es que deben probarse en el mundo real y que, en última instancia, salvarán más vidas de las que pueden costar. La facilidad con la que los reguladores se han dejado convencer por este seductor razonamiento es notable. Si alguien sugiriese probar un nuevo medicamento en pacientes aleatorios, sin su conocimiento ni consentimiento, alegando que esto salvará a más personas de las que va a matar, se armaría un escándalo. De hecho, sería ilegal en casi todos los países y es sin duda contrario a la ética.»

4.Los riñones de Königsberg

«[…] Una persona normal tiene dos riñones, y se las apaña muy bien con solo uno de ellos, de modo que pueden realizarse operaciones a partir de donantes vivos, lo que simplifica mucho el proceso. Se trata del órgano más fácil de trasplantar. Es sencillo asegurarse de que el tipo de tejido del donante es compatible con el del paciente, con lo que se impide el rechazo, y si algo sale mal hay máquinas de diálisis disponibles para realizar las tareas del riñón. Hasta que se empezaron a emplear medicamentos para frenar el rechazo, lo que ocurrió a partir de 1964, no había trasplantes de riñones de personas fallecidas (al menos en Estados Unidos y en Reino Unido). Pero había muchos donados por voluntarios vivos.

En la mayoría de los casos, estos eran familiares cercanos del receptor. De este modo aumentaba la posibilidad de que los tejidos fuesen compatibles, pero la razón principal era que muy pocas personas estaban dispuestas a sacrificar un riñón por un desconocido. Después de todo, cuando se tiene uno de repuesto es posible llevar una vida normal si el otro deja de funcionar. Una posibilidad que se pierde si ya se ha donado a alguien anónimo. En cambio, si lo va a recibir la madre, el hermano o la hija, las ventajas superan a los inconvenientes, sobre todo si se sabe que va a morir en caso de negarse. No es algo tan personal cuando se trata de un desconocido y es menos probable que se acepte el riesgo.»

«[…] De manera indirecta, el artículo de Euler sentó las bases para el desarrollo de la teoría de grafos, que ha permitido la aparición de potentes métodos para emparejar receptores con donantes, incluso cuando la mayoría de estos solo están dispuestos a donar sus órganos a parientes cercanos. Cuando entró en vigor el Decreto de Tejidos Humanos de Reino Unido en 2004, se pudieron donar riñones de manera legal a personas que no fueran familiares.

Un problema importante es emparejar los receptores con los donantes porque, incluso cuando alguno de estos se presenta voluntario, sus tipos de tejido y sangre pueden no ser adecuados para quien requiere el trasplante.»

«[…] David Manlove descubrió una manera de convertir el problema de la donación cruzada de riñones en un asunto de grafos. El teorema de Euler no ayuda a resolverlo porque su función era fundar toda la rama. A lo largo de los años que han pasado desde entonces, los matemáticos han desarrollado la disciplina y han inventado muchas técnicas nuevas de teoría de grafos. Dado que estos son objetos discretos ("en realidad" no son más que una lista de nodos, de aristas y de información sobre qué arista une qué nodos), se adaptan de manera ideal a su manejo por ordenador. Se han desarrollado potentes algoritmos para analizar grafos y extraer su estructura útil. Entre estos hay algunos que pueden encontrar el reparto óptimo de donantes con respecto a los pacientes para conjuntos de tamaño realista. Estos métodos aplicados por ordenador se utilizan de manera rutinaria en la actualidad en Reino Unido.»

«Las parejas compatibles de donantes y receptores son sencillas: solo hay que intercambiar sus riñones. Esto exige que haya dos cirujanos operando al mismo tiempo, uno a cada persona. De este modo, es posible dejar de lado las parejas compatibles cuando se buscan cadenas y centrarse en las que no lo son. Estas *parejas* constituyen los nodos del grafo.»

5. Con seguridad en el ciberespacio

«[…] dos años *antes* de que Hardy escribiera su apología, el director del MI6 había adquirido Bletchley Park, donde se iba a alojar la Escuela Gubernamental de Códigos y Cifrado (GC&CS, por sus siglas en inglés), el centro secreto de los aliados para descifrar claves durante la segunda guerra mundial. Es bien sabido que fue aquí donde equipos de criptógrafos lograron desentrañar el código Enigma que los alemanes empleaban durante la guerra, junto con otros muchos sistemas codificados del Eje. El integrante más conocido de Bletchley Park, Alan Turing, empezó su formación en 1938 y llegó a la residencia el día en que se declaró la guerra. Los criptógrafos del centro se sirvieron del ingenio y de las matemáticas para descifrar los códigos alemanes y las nociones de la teoría de números figuraban entre sus métodos. Cuarenta años después estaba en marcha una revolución en criptografía, basada con firmeza en la teoría de números y con importantes aplicaciones militares, así como civiles. Al poco se hizo imprescindible para el funcionamiento de internet. Hoy en día, dependemos de ella, en buena medida sin darnos cuenta de su existencia.»

«[…] También la relatividad adquirió usos militares y civiles. Tuvo un efecto periférico en el Proyecto Manhattan para el desarrollo de una bomba atómica, como queda reflejado en el popular mito de que fue la famosa ecuación de Einstein *E* = *mc2* la que convenció a los físicos de que pequeñas porciones de materia encierran cantidades enormes de energía. En buena medida, fue una explicación *a posteriori* a la que se recurrió tras los ataques sobre Hiroshima y Nagasaki, para proporcionar a la población una manera fácil de entender cómo eran posibles estas armas. Incluso puede que su objetivo fuera desviar la atención pública del verdadero secreto: entender la física de las reacciones nucleares. Más recientemente y de manera más concreta, la precisión del Sistema de Posicionamiento Global, GPS, de navegación por satélite (capítulo 11), depende tanto de la relatividad especial como de la general para calcular las posiciones de forma correcta. Su desarrollo fue financiado por el Ejército de Estados Unidos, para cuyo uso se reservó en un principio.»

«[…] La teoría de números se vuelve criptografía tan pronto como se comprende que cualquier mensaje puede representarse mediante un número. En el código de César, esta cifra es la posición de una letra en el alfabeto, que los matemáticos prefieren dar de 0 a 26 en lugar de 1 a 27 por motivos de conveniencia algebraica. De modo que la A es 0, la B es 1 y así hasta Z = 26. Los números que caigan fuera de este intervalo pueden convertirse a otra cantidad que sí esté dentro mediante suma o resta de múltiplos de 27. Este arreglo organiza las 27 letras en torno a un círculo, de modo que después de la Z se vuelve a la A. El código de César puede entonces reducirse a una sencilla regla matemática, de hecho, a la fórmula: $n \rightarrow n + 3$

El proceso inverso tiene un aspecto muy similar: $n \leftarrow n + 3$ o $n \rightarrow n - 3$»

«[…] Esto es lo que hace que el código sea simétrico. Pueden inventarse códigos nuevos al cambiar las reglas, mediante modificaciones en las expresiones matemáticas. Solo se necesitan una manera sencilla de convertir un mensaje en un número y dos fórmulas: una para pasar del texto sin formato a texto cifrado y otra para recuperar el primero. Cada una de estas tiene que ser la inversa de la otra.»

«[…] Un objetivo principal de la investigación es la supremacía cuántica: construir un dispositivo cuántico que supere el rendimiento de los mejores ordenadores clásicos en al menos un cálculo. En 2019, un equipo de Google AI publicó un artículo en *Nature* con el título *Quantum supremacy using a programmable superconducting processor*. Anunciaron que habían construido un procesador cuántico llamado Sycamore con 54 cúbits, pero que uno había fallado y reducido el número a 53. Lo habían empleado para resolver en 200 segundos un problema en el que en un ordenador convencional habría tardado 10.000 años.»

«[…] Todo es muy técnico. No pretendo que se entiendan los detalles. Para empezar, ni siquiera he hablado de la mayoría de ellos. Pero espero que haya calado la idea de que las matemáticas muy avanzadas y abstractas, que tienen que ver con geometría algebraica sobre cuerpos finitos, podrían ser justo lo que se necesita para proteger nuestras comunicaciones personales, comerciales y militares frente a receptores no autorizados armados con ordenadores cuánticos, que en la actualidad son hipotéticos pero que pronto podrían ser muy reales.»

6. El plano de los números

«[…] Los días en que los cables telefónicos estaban hechos de cobre y portaban conversaciones se han quedado atrás con rapidez. E incluso estos solo podían funcionar, en los últimos años, gracias a astutos trucos electrónicos y matemáticos para aumentar su capacidad. Hoy en día, los cables de comunicación transportan muchísimos más datos que conversaciones. Por eso la fibra óptica ha ganado relevancia.

Dentro de unas pocas décadas, esta se habrá quedado tan pasada de moda como el carruaje de caballos. Los adelantos futuros, que permitirán transmitir cantidades mucho más grandes de datos a velocidades vertiginosas, están a punto de caramelo. Algunos ya existen. La física clásica de la electricidad y el magnetismo sigue siendo fundamental, pero los ingenieros electrónicos se encomiendan cada vez más al extraño mundo de los cuantos de energía para construir la próxima generación de dispositivos de comunicación. Subyacente tanto a la física clásica como a la mecánica cuántica, en las que se basan todos estos desarrollos, se encuentra uno de los inventos matemáticos más curiosos que jamás se han hecho. Se puede remontar a la Grecia clásica, consiguió un punto de apoyo tenue durante el Renacimiento italiano y floreció por completo en el siglo XIX, cuando conquistó con rapidez la mayor parte de las matemáticas. Se empleaba con generosidad mucho antes de que nadie comprendiese en realidad de qué se trata.

Lo he llamado invento, en vez de descubrimiento, porque no fue una noción derivada del mundo natural. Si se encontraba "ahí fuera", a la espera de que alguien diese con ello, entonces ese "fuera" era un lugar muy extraño, el reino de la imaginación humana y de las imposiciones de la lógica y de la estructura. Era un nuevo tipo de ente, tanto que se denominó "imaginario". Ese nombre se mantiene en vigor hoy en día y los números imaginarios no dejan de resultar extraños desde todo punto de vista para la mayoría de las personas, incluso aunque sus vidas dependen cada vez más de ellos.

Se habrá oído hablar de la recta de los números.

Pues aquí está el plano de los números.

Para entender cómo se produjo este extraño desarrollo y por qué, en primer lugar, hay que fijarse en los tipos de números tradicionales. Los números son tan habituales, tan familiares, que es fácil pasar por alto sus sutilezas. Se sabe que dos más dos son cuatro y que cinco por seis son treinta. Pero ¿qué *son* «dos», "cuatro", "cinco", "seis" y "treinta"? No son las palabras en sí, porque diferentes idiomas emplean términos distintos para las mismas cantidades. Tampoco son los símbolos 2, 4, 5, 6 ni 30, porque diferentes culturas emplean signos distintos. En la notación binaria que se emplea en informática estos números están representados por 10, 100, 101, 110 y 11110. De todos modos, ¿qué es un símbolo?

Todo era mucho más sencillo cuando los números se concebían como descripciones directas de la naturaleza. Si alguien tenía diez ovejas, "diez" era una afirmación de la cantidad de ovejas que poseía. Si vendía cuatro de ellas, le quedaban seis. En esencia, los números eran instrumentos de contabilidad. Pero conforme los matemáticos empezaron a utilizarlos de maneras cada vez menos comprensibles, este enfoque pragmático empezó a ponerse en duda. Si no se sabe lo que son los números, ¿cómo puede tenerse la certeza de que los cálculos no se van a contradecir nunca entre sí? Si una granjera cuenta dos veces el mismo rebaño de ovejas, ¿debe obtener el mismo resultado de manera necesaria? Y ya que estamos, ¿qué significa "contar"?»

ÍNDICE

CRÍTICA