

A BRAIN FOR NUMBERS THE BIOLOGY OF THE NUMBER INSTINCT

Andreas Nieder
MIT Press, 2019
392 págs.

Nacidos para contar

Un recorrido divulgativo por la base neurológica de las matemáticas con el que disfrutarán investigadores, docentes y neófitos

David Ruelle mostró en *El cerebro de los matemáticos* (Antoni Bosch, 2012) que era posible hacer una aproximación transdisciplinar y ecléctica al pensamiento matemático [véase «Hombres y matemáticas», por Pere Grima; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, marzo de 2013]. Ruelle se centró entonces en la actividad del cerebro matemático bajo una perspectiva «externalista»; es decir, fundamentada en las teorías, logros prácticos, demostraciones e incluso dilemas éticos derivados del razonamiento de algunos de los grandes matemáticos de la historia. Sin embargo, entró poco en los entresijos neuronales que generan nuestra capacidad matemática. Si algún lector despistado se sintió engañado por el título de aquella obra, que no ahondaba en explicaciones ni justificaciones neurofisiológicas, ha llegado su libro.

A brain for numbers es un placentero viaje para los sentidos o, mejor, para todas las zonas de Brodmann implicadas en la percepción. Porque, en esta obra, Andreas Nieder ha sabido transmitir su pasión por la neurobiología mediante un texto transversal e inspirador que atraerá, sin duda, tanto a científicos como a educadores.

Nieder fundamenta su relato divulgativo en su experiencia como investigador, lo que supone una garantía de calidad. En su laboratorio de la Universidad de Tubinga, junto a sus doctorandos e investigadores posdoctorales (a quienes reconoce constantemente en la obra), Nieder ha determinado las áreas neuronales implicadas en las facultades numéricas. También ha demostrado que las representaciones numéricas en el cerebro son

multimodales (o «supramodales», como él mismo subrayaría) y, en buena medida, compartidas filogenéticamente con otros primates no humanos [véase «¿Calcular nos hace humanos?», por Bartolo Luque; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, noviembre de 2018]. Nieder explica de forma precisa y accesible sus experimentos, avalados por decenas de publicaciones especializadas, y los conecta con el estado actual de las investigaciones en neurobiología. Todo ello gracias a sucintas introducciones a los fundamentos de la neurofisiología, que los expertos sabrán saltarse, y a un inglés técnico muy fluido, sabedor de que se trata de una obra con un potencial público internacional y firme candidata a ser traducida a otras lenguas.

Nieder se centra también en el proceso de adquisición de los números y el cálculo y en los problemas de discalculia en la infancia. En este sentido, lo único que se echa de menos es algún capítulo dedicado a la pérdida del instinto numérico en procesos neurodegenerativos; un terreno en el que, no obstante, todavía hace falta mucha investigación y en el que el autor no ha profundizado tanto profesionalmente.

Recomiendo especialmente a los docentes que, tras esta lectura, revisen la concepción estándar que se ha establecido sobre la enseñanza de las matemáticas desde el parvulario. Los niños pueden hacer estimaciones y contar de forma general antes de aprender las palabras y los símbolos numéricos. Su manera de hacerlo, curiosamente, es más logarítmica que lineal: la linealidad se impone a medida que aprenden las palabras y los símbolos matemáticos y avanzan en el sistema

educativo [véase «El paraíso logarítmico perdido», por Bartolo Luque; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, marzo de 2014]. En consecuencia, ¿matamos desde la escuela otras formas de contar? ¿Estamos marginando a estudiantes cuyo cerebro quizá cuente y calcule de otra manera? Nieder nos invita entre líneas a reflexionar sobre estas y otras muchas cuestiones pedagógicas.

Todo docente de matemáticas se habrá encontrado alguna vez con alumnos que experimentan problemas con el álgebra o el cálculo. En concreto, recuerdo a un estudiante que me insistía en que sabía hacer operaciones con potencias, que las comprendía, pero que se confundía con los símbolos. Por ejemplo, ante un producto de potencias del estilo $2^4 \cdot 2^3$ tenía serias dificultades pese a saberse la regla, y me decía: «¿Al sumar los exponentes, qué pasa con los dos doses? ¿Por qué no se añaden también?». No obstante, si la operación se le presentaba como $(2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2) \cdot (2 \cdot 2 \cdot 2)$, podía efectuarla sin problema alguno.

Nieder nos ayuda a desenmarañar la dimensión no simbólica de los números y el potencial de su relevancia cognitiva. Estoy convencido de que una parte de nuestros estudiantes de matemáticas pueden tener problemas con los símbolos matemáticos, sin llegar a la discalculia, y sin embargo saber realizar las operaciones que se les piden en el fondo de ese cerebro numérico que, poco a poco, vamos desentrañando.

A brain for numbers insiste también en la necesidad evolutiva de los números, mostrándonos claros ejemplos en otras especies y desmontando el mito simbólico: hay números y capacidad de conteo más allá de los símbolos numéricos humanos. Los animales pueden contar sin necesidad de símbolos, y eso les ha ayudado a sobrevivir. Que lo hagan en paralelo o con ciertas limitaciones no obsta para menospreciar sus facultades, que, en algunas tareas, pueden llegar a superar a las humanas. En definitiva, no es imprescindible ser una «especie simbólica», que diría Terrence Deacon, para usar y pensar números, aunque quizá sí para transformarlos, dibujarlos y crear representaciones semióticas y lingüísticas sobre ellos.

Los símbolos numéricos se inventaron en un momento de la historia de la humanidad y hoy se aprenden en las escuelas. Pero lo que nos cuenta Nieder es que ahora se han descubierto las neuronas numéri-

cas. Y, en este caso, la diferencia entre los verbos *inventar* y *descubrir* es enorme. Compartimos el instinto numérico con otras especies a las que rebasamos, ahora sí gracias a nuestro potencial simbólico, y más de forma cuantitativa que cualitativa, tal vez como también suceda con el lenguaje y con la técnica.

Por último, no les revelo el espectacular recorrido que traza Nieder al abordar el problema del «mágico número cero», desde sus orígenes históricos hasta los experimentos más recientes en la búsqueda de las «neuronas del cero». Como él mismo sostiene, «la historia del cero nos cuenta mucho sobre la mente y el cerebro». ¿Existe, pues, el cero, o es una fantástica invención humana? Hay, por cierto, un par de referencias ausentes en esta parte final de la obra: *La historia de*

las matemáticas, de Ian Stewart (Crítica, 2012), cuyos contenidos también hubiesen venido bien en otros momentos del libro, y sobre todo la obra póstuma de Amir Aczel, *En busca del cero* (Biblioteca Buridán, 2016). Son sin duda dos viajes numéricos distintos, dos trayectos mucho más recientes en nuestra evolución, que, por otra parte, hubiesen aderezado y completado la perspectiva neurofisiológica del autor.

Nieder se ha zambullido en la evolución humana a través del método comparativo, demostrando la utilidad evolutiva de los números en otras especies y localizando explícitamente las áreas neuronales implicadas en el procesamiento, la comprensión y la producción numérica. Su libro nos invita así a retroceder millones de años para descubrir el trayecto de nues-

tro instinto numérico a través de un viaje introspectivo hacia las circunvoluciones cerebrales. Y lo hace con la madurez de un investigador consolidado, experto en la materia y con la curiosidad de un niño que se sigue «emocionando al escuchar las descargas neuronales» y experimentar la cercanía de «la mente trabajando en tiempo real». Son estos preciosos retazos poéticos, frescos y bien diseminados, que resultan poco habituales en otras obras de divulgación científica, de tendencia más aséptica.

En conclusión, no se pierdan el chisporroteo neuronal que se desparra ma con la lectura de *A brain for numbers*. Su amígdala no se lo perdonaría.

—Antoni Hernández-Fernández
Universidad Politécnica de Cataluña



VERDADES Y MENTIRAS DE LA FÍSICA CUÁNTICA

Carlos Sabín
Catarata, 2020
96 págs.

Mecánica cuántica sin misterios

Una introducción amena y rigurosa a los usos y abusos de la teoría cuántica

Richard Feynman es sin duda uno de los grandes iconos científicos del siglo xx. Su estilo, alejado de la seriedad académica, y sus magníficas dotes de comunicador le convirtieron en una figura conocida más allá de los límites de la comunidad de físicos. Por ello mismo, como ocurre con frecuencia con las celebridades, sus escritos y anécdotas acabarían convirtiéndose en una fuente inagotable de aforismos.

Entre ellos hay uno que sobresale por lo a menudo que es citado por quienes se hallan descontentos con la teoría cuántica: «Creo que puedo decir con seguridad que nadie entiende la mecánica cuántica». Esta frase sirve a Carlos Sabín como punto de arranque de su libro *Verdades y mentiras de la física cuántica*, un inte-

resante trabajo cuyo objetivo es explicar, a un lector no experto, no solo lo que es la mecánica cuántica, sino también —y quizá particularmente— lo que *no* es, así como guiarle por las prometedoras aplicaciones tecnológicas de esta rama de la física.

La elección de la frase de Feynman, tomada de sus lecciones recogidas en el libro *El carácter de la ley física*, no puede ser más acertada. Pocos de los que la citan para respaldar sus críticas a la mecánica cuántica parecen haber leído el párrafo en el que aparece y que clarifica su sentido. Feynman comienza diciéndonos que la dificultad con la mecánica cuántica es «psicológica» y se deriva de preguntarnos «cómo es posible que las cosas sean de esa manera». Su consejo frente a esto es «no

hacer modelos» sobre lo que ocurre, sino aceptar que esa es la forma en que funciona la naturaleza. Así pues, la afirmación de que «nadie entiende la mecánica cuántica» hay que interpretarla en el sentido de que no es posible comprender lo que pasa en el mundo subatómico usando categorías derivadas de nuestra intuición macroscópica.

A pesar de la sabia advertencia de Feynman, la tendencia a «hacer modelos» es frecuente en las presentaciones populares de la mecánica cuántica. En libros y artículos resulta habitual leer que una partícula puede estar en varios sitios a la vez, o que un electrón puede comportarse alternativamente como onda o como corpúsculo. Muchas de las imágenes usadas son meros anacronismos, reliquias de los tiempos previos a la formulación de la mecánica cuántica en que los físicos, carentes aún de una teoría precisa, se valían de analogías clásicas debidamente modificadas *ad hoc* con algún ingrediente cuántico.

En la mayoría de los casos esto tiene una motivación puramente pedagógica, a fin de hacer llegar a un público no especializado las peculiaridades del mundo cuántico. Pero, por mucho que puedan capturar la imaginación del lector y despertar su interés, afirmaciones como las citadas quedan lejos de transmitir con precisión cómo funciona la naturaleza a las escalas más pequeñas. Antes bien, como nos recuerda Sabín, remiten a un mundo aparentemente mágico e impredecible en el que todo es posible. Por tan-

to, no puede sorprender que, fuera del dominio de la física, la teoría cuántica sea repetidamente invocada en la discusión de los temas más variopintos, desde el problema del libre albedrío a las pseudoterapias.

Verdades y mentiras de la física cuántica es un intento de desmontar las imágenes esotéricas o misteriosas de la teoría y de transmitir, de forma asequible y prescindiendo de analogías engañosas, su auténtico contenido y significado. En sus páginas leemos, por ejemplo, que un electrón no se comporta ni como una partícula clásica ni como una onda, sino como un electrón cuántico, sujeto a unas leyes bien definidas. A diferencia de lo que sucede en el mundo clásico macroscópico, los estados de los sistemas cuánticos no están determinados por simples números, sino por funciones. Estos objetos matemáticos, que por razones históricas reciben el nombre de funciones de onda, evolucionan con el tiempo de una manera perfectamente predecible. Su conocimiento no solo nos informa de los posibles resultados de futuros experimentos, sino de la probabilidad de que cada uno de ellos ocurra.

Ese carácter probabilístico es acaso la principal «dificultad psicológica», por usar la expresión de Feynman, con que se encuentran aquellos que se aventuran por primera vez en el mundo cuántico. La intuición macroscópica determinista nos induce a pensar que cualquier incertidumbre en el resultado de una medida (no achacable a errores experimentales) tiene que ser consecuencia de nuestra ignorancia acerca del sistema sobre el que trabajamos. Pero esto no es lo que ocurre con la mecánica cuántica: aunque la función de onda nos da toda la información posible, el resultado de un experimento, como medir la posición de una partícula, no está determinado de antemano.

Es precisamente para intentar dar cuenta de esta particularidad de la naturaleza que tan a menudo se usa el «modelo» de que la partícula se encuentra en varios sitios a la vez, decidiéndose de alguna manera por uno de ellos en el momento en que se produce la medida. Pero, como explica Sabín, esta imagen, aunque recurrente, es incorrecta. En ningún caso puede decirse que una partícula ocupe dos o más posiciones simultáneamente, por el simple hecho de que carece de sentido hablar de «dónde está» antes de que midamos su posición. Es una característica fundamental de los sistemas

cuánticos que la propiedad que resulta de una medida no preexiste a la medición. Aceptar este hecho disipa gran parte de las «paradojas» cuánticas.

Pero el objetivo del libro no es solo clarificar las confusas ideas que circulan acerca de la mecánica cuántica, sino también explicar la esencia de sus leyes y la manera en que estas dan lugar a fenómenos imposibles en sistemas clásicos. Así, usando tan solo las propiedades de superposición de las funciones de onda y ahorrando al lector todo detalle técnico, se explica en qué consisten las correlaciones asociadas con el entrelazamiento cuántico y como estas jamás suponen la transmisión de información a velocidades superlumínicas. También se analiza el teletransporte cuántico, distinguiendo claramente este fenómeno físico de las ideas que el término evoca entre los aficionados al género de la ciencia ficción.

La última parte de *Verdades y mentiras de la física cuántica* está dedicada a discutir las aplicaciones tecnológicas de la teoría, con énfasis en tres campos: la computación, la criptografía y la metrología. Aunque concisa, la explicación introduce conceptos clave, como supremacía cuántica o computación cuántica adiabática, de una manera sencilla y rigurosa. Es sin duda de agradecer que el autor dedique algunas páginas a la discusión de las aplicaciones tecnológicas de las tecnologías cuánticas. Aunque quizá menos conocidas para el público que la computación y la criptografía, no son por ello menos importantes ni prometedoras, en particular en campos como la astrofísica y la cosmología.

Una de las grandes virtudes de este volumen es su brevedad. En apenas noventa páginas, Sabín ha sabido destilar con claridad y precisión los temas básicos que permitirán al lector adquirir una idea general fidedigna de la física cuántica y prepararle para otras lecturas más detalladas. Esta concisión invita además a la relectura y a la reflexión sobre las ideas expuestas. Y aunque no hay duda de que se trata de una obra muy recomendable para cualquier persona interesada en estas cuestiones, el libro resultará particularmente estimulante a los seguidores de su blog, *Cuantos completos*, ya que encontrarán en él un estupendo vademécum.

—Miguel Á. Vázquez-Mozo
Departamento de Física Fundamental
Universidad de Salamanca

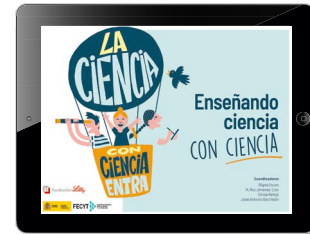
NOVEDADES

Una selección de los editores
de *Investigación y Ciencia*



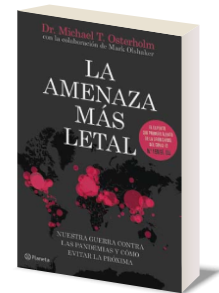
ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS Y OTROS ENTES IMAGINARIOS

Juan Ors Martínez
Catarata, 2020
ISBN: 978-84-9097-932-7
192 págs. (17 €)



ENSEÑANDO CIENCIA CON CIENCIA

Coordinado por Digna Couso, M. Rut
Jiménez-Liso, Cintia Refojo
y José Antonio Sacristán
FECYT y Fundación Lilly, 2020
ISBN: 978-84-010-5931-5
167 págs. (Pdf descargable)



LA AMENAZA MÁS LETAL NUESTRA GUERRA CONTRA LAS PANDEMIAS Y CÓMO EVITAR LA PRÓXIMA

Michael T. Osterholm
Planeta, 2020
ISBN: 978-84-08-23149-3
384 págs. (19,90 €)