

## LEONARDO DA VINCI'S CODEX LEICESTER A NEW EDITION

Leonardo da Vinci  
Edición de Domenico Laurenza y Martin Kemp  
Oxford University Press, 2019

### Leonardo en el laboratorio

*Una nueva mirada a los modelos experimentales del genio renacentista para estudiar el movimiento del agua y de la sangre*

Leonardo da Vinci, de cuya muerte se cumplen ahora 500 años, fue un adelantado a su tiempo: ya conocemos el cliché. Sin embargo, puede decirse que en lo esencial fue en gran medida un hombre de su época. Los grandes artistas e ingenieros del Renacimiento italiano constituyeron el preludio de su versatilidad. En particular, Filippo Brunelleschi, inventor y arquitecto de la enorme cúpula de la catedral de Florencia, formuló la ciencia de la perspectiva lineal para los pintores en los primeros años del siglo xv [véase «El pensamiento matemático de Leonardo da Vinci», por Pedro J. Miana, en este mismo número]. En su trabajo relacionado con las ciencias físicas, Leonardo fue heredero de las teorías medievales de la estática y la dinámica, pues aún faltaba mucho para Isaac Newton. Y sus investigaciones anatómicas combinaron la fisiología medieval con los análisis funcionales y morfológicos de Galeno.

Así pues, tal vez sea mejor decir que lo que demuestran las innovaciones de Leonardo es que consiguió llegar mucho más lejos que sus predecesores o contemporáneos en el contexto científico de su época. La más notoria de tales innovaciones fue el perfeccionamiento o invención de casi todas las técnicas de ilustración conocidas con anterioridad al advenimiento de la radiografía. En sus cuadernos dibujó objetos usando la perspectiva. Mostró formas sólidas modeladas de manera sistemática con luces y sombras. Las seccionó para exponer sus estructuras internas. Empleó transparencias para enseñar las características subyacentes. Representó «vistas explosionadas» de partes del cuerpo y de máquinas para revelar sus formas y articulaciones. Inventó representaciones esquemáticas para poner de manifiesto

las funciones de sistemas corporales y mecánicos. Y dibujó experimentos mentales para explorar cómo funcionaban las cosas. Leonardo empleó con frecuencia estas técnicas en sus esfuerzos científicos e ingenieriles.

Entre el amplio abanico de fenómenos que estudió y representó se encuentra el comportamiento de los líquidos. *Leonardo da Vinci's Codex Leicester* es una nueva edición en cuatro volúmenes del cuaderno científico de 72 páginas escrito después de 1508, donde el historiador de la ciencia Domenico Laurenza y quien escribe estas líneas mostramos cómo funcionaban sus revolucionarias ideas sobre la dinámica de fluidos en el contexto específico de la antigua historia del «cuerpo del mundo».

Las páginas exteriores del *Códice Leicester* se ocupan, en parte, de las teorías de Leonardo sobre el paso de la luz del Sol a la Tierra y a la Luna, lo que implicaba reflexiones en mares reales o supuestos. Sin embargo, la mayoría del cuaderno se dedica al estudio del agua en movimiento: en los mares, ríos y canales concebidos como *vene d'aqua* («venas de agua») tanto en la superficie de la Tierra como debajo de ella. El principio que subyace tras el pensamiento de Leonardo es el del micro- y el macrocosmos: vio el cuerpo humano como un «mundo menor» que reflejaba las formas y funciones del mundo exterior.

Mientras que las personalidades anteriores, como el astrónomo y geógrafo romano del siglo II Ptolomeo, habían contemplado la Tierra a partir de cambios relativamente locales, Leonardo consideró su dilatada historia de grandes transformaciones. En sus teorías geológicas, algunas partes de la corteza terrestre se desmoronaban, lo que transformaba

violentemente la relación entre la tierra y el agua. A medida que cambiaban los centros de gravedad, algunas porciones de la corteza emergían para formar paisajes y montañas.

Entre los aspectos más originales de la investigación de Leonardo se encuentran lo que legítimamente podríamos llamar «experimentos de laboratorio», los cuales hacen uso de ingeniosos modelos físicos. Los extensos análisis del italiano sobre el comportamiento del agua combinan las teorías matemáticas del movimiento con una observación aguda. Los ensayos documentados en el código se diseñaron para demostrar cómo se generaban las olas con el viento y cómo las corrientes y los vórtices trazaban sus complejos arabescos bajo la superficie. En dos pequeños dibujos situados en los márgenes del folio 9v bosquejó un tanque experimental. La ilustración superior lleva la etiqueta *experientia* («experiencia» o «experimento»). Una nota que lo acompaña le recuerda a Leonardo «conseguir un recipiente de terracota, con un fondo grande y plano, de dos brazos [116 centímetros] de largo y medio brazo [29 centímetros] de ancho; que lo haga aquí el ceramista». Los lados del tanque, escribió, deberían ser de vidrio. Después introduciría en el agua semillas de hierba (*Panicum* spp.) que podría usar para estudiar los vórtices en acción.

Una de las metas que se propuso fue observar lo que le sucede a un objeto móvil en el fondo del tanque cuando sopla una corriente de aire a través de una abertura rectangular situada en un extremo, justo sobre la superficie del agua. Leonardo concluyó que el objeto se movería en dirección opuesta al viento. Tales configuraciones experimentales revelan que los magníficos estudios sobre la turbulencia que realizó Leonardo, conservados en la Biblioteca Real del castillo de Windsor, en el Reino Unido, no provienen de la observación de la naturaleza, sino de los experimentos sobre el movimiento de los vórtices. Concentrándose uno a uno en varios aspectos del movimiento combinado del agua y el aire sumergido, el italiano completó una gran síntesis.

En el folio 15r Leonardo señala que, en el punto donde se unen dos ríos, «lo que sucede con los lechos [...] puede entenderse mediante un sencillo experimento con arena». Esta modelización de la interacción del agua con su lecho arenoso alcanza un mayor nivel de complejidad en el *Códice atlántico*, una serie de cua-

ernos que se conservan en la Biblioteca Ambrosiana de Milán. En el folio 227v de esta obra, Leonardo se propone fabricar un modelo experimental a escala de los golfos y mares del Mediterráneo, con sus principales ríos, para poner a prueba su reconstrucción de los antiguos procesos geológicos. Especuló que el estrecho de Gibraltar se agrandaría con el tiempo, permitiendo que el Mediterráneo se convirtiera en un poderoso río, una extensión del Nilo.

Sus estudios sobre el movimiento de la sangre en el cuerpo humano incluían modelos experimentales similares. Leonardo estaba especialmente interesado en la válvula aórtica del corazón, con tres valvas, y de la cual comprendió que era pasiva y debía ser accionada por el movimiento de la sangre. Para demostrar su teoría de que los vórtices se curvan hacia atrás en la constricción con forma de matraz que se halla presente en el cuello de la aorta, para así llenar las valvas,

propuso construir un molde de cerámica con la forma del cuello y en el que podría soplar un conducto de vidrio con forma de vaso sanguíneo. De ese modo sería capaz de presenciarse —de nuevo, gracias a las semillas de hierba— el movimiento del agua y la acción de las valvas, lo que constituiría una «demostración» de cómo se comporta la sangre.

El especialista en dinámica de fluidos Morteza Gharib, del Instituto de Tecnología de California, ha reconstruido el modelo de Leonardo y empleado modernas técnicas de imagen para demostrar la existencia de los vórtices giratorios que el italiano interpretó que cerraban la válvula. Sin duda, algo así constituye un modelo extremadamente original para el Renacimiento temprano. Así pues, y aunque Leonardo viviera en su propia época, sí cabe afirmar que hizo alguna que otra incursión en el futuro.

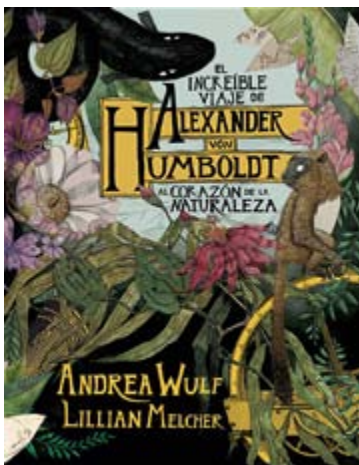
A menudo se afirma que, como la ciencia de Leonardo no se publicó ni distribu-

yó durante siglos, tampoco ejerció ningún impacto en los desarrollos científicos ulteriores. En esta edición del *Códice Leicester* Laurenza explica que, en realidad, su obra era conocida en los círculos de científicos que reformaron la geología entre los siglos xvii y xix, como el vulcanólogo William Hamilton, embajador británico en Nápoles desde 1764 hasta 1800. Algunas copias del código escritas a mano alcanzaron una gran circulación por lugares clave para la geología moderna, como Londres, Roma, Florencia, Nápoles, París y Weimar. De una manera u otra, Leonardo nunca deja de sorprender a quienes lo estudian.

—Martin Kemp  
Universidad de Oxford

Artículo original publicado en *Nature*, vol. 571, págs. 322-323, 2019. Traducido con el permiso de Macmillan Publishers Ltd. © 2019

Con la colaboración de **nature**



### EL INCREÍBLE VIAJE DE ALEXANDER VON HUMBOLDT AL CORAZÓN DE LA NATURALEZA

Andrea Wulf y Lillian Melcher  
Random Comics, 2019

## Alexander von Humboldt en novela gráfica

*Un tratamiento ilustrado de las hazañas del gran naturalista prusiano en Sudamérica*

Hace cuatro años, la historiadora Andrea Wulf rescató a Alexander von Humboldt (1769-1859) de la relativa oscuridad internacional en la que vivía con la biografía *La invención de la naturaleza* [véase «Humboldt: ahora es verde», por Oliver Hochadel; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, diciembre de 2016]. Para celebrar el 250 aniversario del nacimiento del naturalista, este año Wulf se ha unido a Lillian Melcher para crear *El increíble viaje de Alexander von Humboldt al corazón de la naturaleza*, una novela gráfica que representa los cinco años de exploración de un joven Humboldt en América Latina.

En aquella época los científicos se habían obsesionado con medir y documentar todos los aspectos del entorno, desde los rasgos humanos hasta la elevación de las colinas. Sin embargo, nadie había llevado esa investigación tan lejos como Humboldt y nadie había pensado tan seriamente como él en la manera en que tales mediciones podrían integrarse en una comprensión holística del planeta.

La historia de la aventura y el descubrimiento se adapta bien al formato gráfico, y Wulf y Melcher lo demuestran con orgullo. Un texto informativo y alegre, junto a unas ilustraciones ingeniosas, dan vida al bullicioso carácter de Humboldt

mientras arrastra a su pequeño grupo de compañeros más allá de sus zonas de confort: hacia volcanes en llamas, pozos mineros, ríos llenos de cocodrilos o bosques lluviosos repletos de mosquitos.

Los viajeros portan consigo los instrumentos científicos punteros de su tiempo —a menudo decididamente frágiles— para medir tantos parámetros físicos como les sea posible (el precioso barómetro de Humboldt, con su modesto suministro de tubos de vidrio de repuesto, hace frecuentes apariciones en la obra). También llevan multitud de cuadernos: Humboldt registró meticulosamente cada medición realizada y cada especie de flora o fauna encontrada. Melcher a menudo ordena sus ilustraciones en composiciones de tipo *collage* con páginas de aquellos cuadernos.

Leer sobre los extraordinarios logros de Humboldt lleva a preguntarse cómo llegó a estar tan olvidado fuera de Alemania. Su voraz apetito por el conocimiento no permitía que nada, ni siquiera el peligro personal, se interpusiera en la recopilación de datos sobre el mundo natural. Su capacidad para sintetizar el conocimiento era igualmente vasta, lo que le permitió construir su gran teoría de que todo en la naturaleza se halla conectado. Alterar cualquier elemento de esa red gigante, ya sea una especie o un clima local, tendrá efectos en cadena, argumentó. Advirtió con prontitud de que la deforestación po-

dría dañar el clima y el entorno, pues los bosques humedecen y refrescan la atmósfera al tiempo que evitan la erosión del suelo. [Véase «Von Humboldt: el científico universal», por J. M. Sánchez Ron; *en este mismo número*.]

Humboldt fue amigo de otros gigantes intelectuales de su tiempo, como Johann Wolfgang von Goethe. Y Charles Darwin reconoció su deuda intelectual para con él. Todo tipo de fenómenos llevan su nom-

bre, desde la corriente de Humboldt, en la costa occidental de Sudamérica, hasta el majestuoso pico de Humboldt, en las montañas Rocosas de Colorado. También han sido bautizadas en su honor numerosas especies de plantas y animales, y muchas ciudades alemanas tienen una Humboldtstraße.

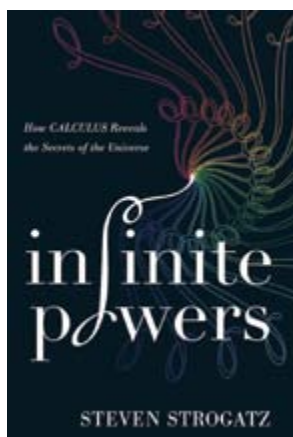
Humboldt fue un progresista que se expresó con fuerza contra la esclavitud, un científico motivado y muy centrado, y

un hombre de casi infinita confianza en sí mismo. *El increíble viaje de Alexander von Humboldt* ofrece una espléndida vía para empezar a conocerlo.

—Alison Abbot

Artículo original publicado en *Nature*, vol. 568, págs. 168-169, 2019. Traducido con el permiso de Macmillan Publishers Ltd. © 2019

Con la colaboración de **nature**



**INFINITE POWERS  
HOW CALCULUS REVEALS THE SECRETS  
OF THE UNIVERSE**

Steven Strogatz  
Houghton Mifflin Harcourt, 2019

**Cálculo para todos  
los públicos**

*Un repaso a la historia, ideas y aplicaciones de una de las herramientas matemáticas que han construido nuestro mundo*

Steven Strogatz es profesor de matemática aplicada en la Universidad Cornell desde 1994. Antes pasó por Princeton, Cambridge, Harvard y el Instituto de Tecnología de Massachusetts. Probablemente su contribución más conocida sea un trabajo publicado en *Nature* en 1998 junto con Duncan Watts, por aquel entonces estudiante suyo, sobre las llamadas «redes de mundo pequeño». Aquel estudio marcaría el nacimiento de la teoría moderna de redes complejas y acabaría por convertirse en el sexto artículo de física más citado de todos los tiempos [véase «La ciencia de redes cumple 20 años», por Alessandro Vespignani; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, diciembre de 2018].

Strogatz es experto en dinámica no lineal y sistemas complejos, y suele inspirarse para investigar en «curiosidades de la vida cotidiana»: temas cercanos que, iluminados por la matemática, se tornan sorprendentes. Además de un referente en su área de investigación, es un gran maestro y comunicador. *Infinite powers*, un superventas según el *New York Times*, es su libro más reciente. Previamente había escrito *Nonlinear dynamics and chaos* (1994), *Sync* (2003), *The calculus of friendship* (2009) y *The joy of  $x$*  (2012).

En las primeras páginas de *Infinite powers* Strogatz nos deja clara su intención: hacer accesible la historia y las grandes ideas del cálculo al público general, convenciéndonos del papel clave que ha desempeñado el análisis matemático en la construcción de nuestro mundo. El tema del libro es «cómo cambian las cosas». Y, para Strogatz, las matemáticas no solo nos permiten describir esos cambios, no solo son el lenguaje de la ciencia, sino que constituyen una forma de razonar que concluye en predicciones que se ajustan asombrosamente bien a la realidad.

Si usted se dedica a la enseñanza de las matemáticas, como es mi caso, seguro que le han preguntado una infinidad de veces para qué sirve esta disciplina. El libro de Strogatz comienza con un par de ejemplos que responden con ingenio a esta pregunta: inventos como el láser o las comunicaciones inalámbricas que disfrutamos —o padecemos— hoy en día nunca hubieran sido posibles sin el cálculo. Al formalizar los descubrimientos empíricos de Michael Faraday y André-Marie Ampère sobre la electricidad y el magnetismo, James Clerk Maxwell predijo matemáticamente las ondas electromagnéticas. Poco después, Heinrich Hertz demostró

experimentalmente su existencia, lo que más tarde concluyó en el primer sistema de radiocomunicación por parte de Nikola Tesla. La historia del láser es similar. Predicho teóricamente por Albert Einstein, inunda hoy nuestra tecnología.

Cada capítulo del libro nos muestra algún ejemplo semejante del papel que la matemática ha ejercido en el desarrollo del GPS, de los mallados triangulares para la animación digital, en el estudio del empaquetamiento del ADN o en el uso de «ondículas» (*wavelets*) para clasificar huellas digitales, por nombrar solo algunos ejemplos. Por desgracia, puesto que la obra está dedicada a un público sin conocimientos matemáticos, el libro no acaba de entrar en detalles en ningún caso. Ello puede suponer un *coitus interruptus* para el lector más avezado, aunque también puede resultar un acicate para que quien lo desee explore por su cuenta a mayores profundidades.

Según Strogatz, la impresionante eficacia del cálculo puede resumirse en la siguiente estrategia: «Para resolver un problema difícil sobre cualquier cosa continua, rebánela en infinitas partes y resuelva cada una de ellas. Entonces podrá obtener la respuesta al problema original juntando todas esas respuestas parciales. He llamado a este credo el Principio Infinito». Como consecuencia, el autor nos presenta el cálculo en dos partes bien diferenciadas: el cálculo diferencial, que trocea nuestro problema, y el cálculo integral, que finalmente suma las partes.

La obra sigue un recorrido histórico donde prima la aplicación de la matemática a su versión más pura. Por eso el primer personaje estrella es Arquímedes, en vez de Pitágoras. Comienza con el concepto capital de infinito, mostrando cómo la famosa paradoja de Zenón sobre Aquiles y la tortuga no resulta paradójica vista desde el análisis. Y presenta las ideas de Arquímedes, adelantadas 2000 años a su



tiempo («¿Ha existido alguna vez alguien más adelantado a su tiempo?»), sobre el cálculo del valor de pi usando polígonos y su prodigioso método de exhaución.

Con un salto de 1800 años pasa a Galileo, el racional heredero de Arquímedes que estableció las primeras leyes de la cinemática en la Tierra, y a Kepler, el místico heredero de Pitágoras que hizo lo propio con sus tres famosas leyes para los cielos. Luego nos relata el nacimiento de la geometría analítica y el encuentro entre la geometría y el álgebra a través de la poco conocida rivalidad entre Descartes, «un ego tan grande como su genio», y Fermat, que crea el embrión del cálculo diferencial al enfrentarse a problemas de optimización y acaba enunciando el principio de mínima acción.

Antes de relatar el famoso enfrentamiento entre Newton y Leibniz por la paternidad del cálculo diferencial, Strogatz explicita los tres problemas centrales del

**En el siglo XVIII se produce una «explosión cámbrica» en el cálculo que empieza a percolar en todas las áreas de la matemática**

cálculo: encontrar la tangente a una curva en un punto; dadas las tangentes de una curva, encontrar la curva en sí; y hallar el área bajo una curva. Para abordarlos comienza por desentrañar «el enigma de la velocidad instantánea», tomando como ilustración la famosa carrera de los cien metros de Usain Bolt en los Juegos Olímpicos de Pekín en 2008, y sigue en esta línea hasta explicar «visualmente» el teorema fundamental del cálculo a través de sencillos ejemplos de cinemática.

Al igual que queda patente su predilección por Fermat frente a Descartes, ocurre lo mismo con Leibniz frente a Newton. Mientras que del primero afirma que fue «el genio más versátil en una centuria de genios que incluyen a Descartes, Galileo, Newton y Bach», de Newton apostilla: «Nunca se casó, y hasta donde sabemos nunca tuvo una relación romántica. Rara vez reía». Especialmente interesante re-

sulta la discusión sobre el peliagudo concepto de infinitesimal («es más pequeño que cualquier cosa pero más grande que nada») y el tratamiento distendido que hace de los diferenciales, los desarrollos de potencias o las sumas telescópicas y su relación con las integrales.

Después de explicarnos cómo Newton construyó su sistema del mundo a partir de sus tres famosas leyes y de la ley de la gravitación universal (y cómo esas mismas herramientas nos permiten mejorar... ¡el diseño de arados!), nos encontramos el que, para mí, constituye el mejor ejemplo de los que aparecen en el libro: un modelo con ecuaciones diferenciales para el virus del sida debido a los matemáticos David Ho y Alan Perelson, el cual culminó con la estrategia de la terapia triple que se emplea hoy en día.

A partir del siglo XVIII se produce una «explosión cámbrica» en el cálculo que empieza a percolar en todas las áreas de la matemática. Strogatz nos introduce en las ecuaciones diferenciales ordinarias y en derivadas parciales a través de los trabajos de Fourier sobre la ecuación del calor y de los famosos patrones de Chladni que estudió Sophie Germain. Una vez más aparecen ejemplos de aplicaciones como los hornos de microondas o la tomografía computarizada, para la que el aparataje matemático, debido a Johann Radon, estaba listo cuarenta años antes. Y, por supuesto, no podían faltar la inteligencia artificial y el aprendizaje automático. La obra cierra con tres ejemplos más: la sorprendente capacidad de predicción de la electrodinámica cuántica, el descubrimiento de la antimateria y la teoría general de la relatividad.

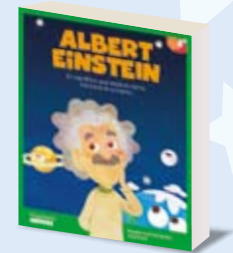
Si usted es un lector poco ducho en matemáticas y siente curiosidad por saber qué papel ha jugado el cálculo en la historia del pensamiento, este es sin duda su libro. Pero si las matemáticas están presentes en su vida como profesional de la educación o de la investigación, no creo que la obra vaya a contarle muchas cosas que no haya leído antes. Le decepcionará —aunque sea fan de Strogatz, como es mi caso— sencillamente porque el nivel le resultará muy superficial. Pero como sé que si usted es admirador de Strogatz lo leerá sí o sí, me gustaría añadir que el entusiasmo que desprende un autor ya consagrado como él resulta contagioso. Y esa energía es aire fresco para cualquiera.

—Bartolo Luque  
Universidad Politécnica de Madrid

## NOVEDADES ESPECIAL NAVIDAD

### LIBROS DE CIENCIA PARA NIÑOS

Una selección de los editores de *Investigación y Ciencia*



#### **ALBERT EINSTEIN EL CIENTÍFICO QUE EXPLICÓ CÓMO FUNCIONA EL UNIVERSO**

Eduardo Acín Dal Maschio  
Shackleton Books, 2019  
ISBN: 978-84-17822-09-5  
32 págs. (9,90 €)



#### **BIÓNICA IMITANDO A LA NATURALEZA**

Carles Marsal y Eduard Martorell  
Ediciones Lectio, 2019  
ISBN: 978-84-16918-47-8  
56 págs. (14,30 €)



#### **TÚ ESTÁS AQUÍ**

Aleksandra Mizielinska  
y Daniel Mizielinski  
Maeva, 2019  
ISBN: 978-84-17708-04-7  
108 págs. (24,90 €)