

JOURNEY TO THE EDGE OF REASON THE LIFE OF KURT GÖDEL

Stephen Boudiansky
Oxford University Press, 2021
368 págs.

La vida y la obra de Kurt Gödel

La entrañable inocencia del genio que cambió para siempre la manera de concebir la matemática

El método axiomático-deductivo es uno de los grandes logros del pensamiento griego. Articulado inicialmente por Aristóteles, alcanzó su forma más depurada con Euclides, cuyos *Elementos* fueron considerados durante siglos el modelo a imitar en la búsqueda de un conocimiento cierto. Del prestigio intelectual del «modo geométrico» de argumentación da testimonio su influencia más allá de las matemáticas. Encontramos ejemplos de él en Descartes y muy especialmente en Spinoza, que redactó los *Principios de la filosofía de Descartes* y la *Ética* siguiendo el patrón de los *Elementos*.

A finales del siglo XIX, el matemático David Hilbert quiso llevar este método a sus últimas consecuencias con una reformulación axiomática de la geometría que eliminaba cualquier vestigio de intuición visual. Puntos o líneas se convertían en conceptos abstractos definidos implícitamente por los propios axiomas. Con ello puso en marcha un programa formalista que aspiraba a la axiomatización sistemática de todo el conocimiento matemático comenzando por su base, la aritmética. Dado un sistema de axiomas completo y coherente, todas las verdades matemáticas serían accesibles en un número finito de pasos mediante métodos algorítmicos de prueba. Cualquier problema matemático tendría, por tanto, una solución. «¡En matemáticas no existe el *ignorabimus!*» (ignoraremos), afirmaba categóricamente Hilbert durante su alocución en el II Congreso Internacional de Matemáticas, celebrado en 1900 en París.

Aquel optimismo correría una suerte parecida al de los que, en esos mismos años, proclamaban su fe en el determinismo clásico, que a efectos prácticos habría de ser abandonado en el estudio de los sis-

temas caóticos y que la mecánica cuántica acabaría refutando a un nivel fundamental. El programa formalista, por su parte, naufragó en 1931, apenas unos meses después de que Hilbert volviera a reivindicarlo públicamente con la frase que sería su epitafio: *Wir müssen wissen, wir werden wissen* («debemos saber, sabremos»).

La causa fue el artículo escrito por un joven de 24 años llamado Kurt Gödel en el que demostraba dos teoremas. El primero afirmaba que, dado un sistema de axiomas lo suficientemente rico como para contener la aritmética, existen enunciados que, siendo ciertos, no pueden ser demostrados algorítmicamente. El segundo concluía que la ausencia de contradicción lógica entre los axiomas (su coherencia) es, asimismo, imposible de demostrar. Con estos dos teoremas, llamados de incompletitud, Gödel mostró que el programa de Hilbert era una entelequia.

En *Journey to the edge of reason*, Stephen Boudiansky nos propone un recorrido por la vida, obra, pensamiento y personalidad de Gödel. Un personaje fascinante en lo intelectual y extremadamente complejo en lo personal, que conoció su periodo de mayor creatividad durante los años más convulsos del siglo XX y que se relacionó con los grandes de la ciencia y la filosofía de su tiempo. Combinando múltiples perspectivas, Boudiansky construye un relato de las peripecias vitales del protagonista en el que se entretajan su obra lógico-matemática, su filosofía personal y su complicada psicología, así como la historia política, social e intelectual del mundo en que vivió.

Una buena parte del libro está naturalmente dedicada a la obra lógica de Gödel. Además de mostrar la relevancia y el impacto de los dos teoremas de in-

completitud, se presenta la idea general de la demostración del primero: su estructura autorreferencial, que sin embargo evita paradojas como la de Russell, y la «numeración de Gödel», que permite traducir los enunciados metamatemáticos en proposiciones aritméticas [véase «Así funciona el teorema de Gödel», por Natalie Wolchover; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, agosto de 2021].

También se analiza el otro gran resultado de Gödel: la demostración de que la hipótesis del continuo (que afirma que no hay conjuntos con cardinales intermedios entre el de los números naturales y el de los reales) es imposible de refutar en el contexto de la teoría de conjuntos basada en los axiomas de Zermelo-Fraenkel más el axioma de elección (ZFC). Un teorema que supuso el primer paso hacia la histórica prueba de Paul Cohen de que la hipótesis es de hecho indecidible en el sentido del primer teorema de incompletitud, ya que ni ella ni su negación son demostrables dentro del sistema de axiomas ZFC [véase «Demostrar la hipótesis del continuo», por Jean-Paul Delahaye; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, mayo de 2020].

Pero el libro no desatiende ni mucho menos los otros intereses de Gödel. Por supuesto, incluye su incursión en la relatividad general con el «universo de Gödel», pero también y particularmente sus ideas filosóficas, que son de especial relevancia a la luz del ambiente intelectual de su juventud. Como nos explica Boudiansky, a pesar de su participación — eminentemente pasiva — en el Círculo de Viena, Gödel mantuvo posturas filosóficas opuestas a las del positivismo lógico. Así, frente a la doctrina positivista de que el significado de una proposición radica en su proceso de verificación empírica, Gödel creía en la capacidad de la razón para alcanzar verdades no susceptibles de comprobación experimental, por ejemplo en matemáticas. Sus propios teoremas de incompletitud eran para él un indicio de la supremacía de la mente humana sobre cualquier intento de «automatización» del conocimiento matemático.

En este sentido se situó también en las antípodas de la noción, que los positivistas tomaron de Wittgenstein, de que las matemáticas son un sistema sintáctico y que la «verdad» de sus proposiciones radica en que estas sean sintácticamente correctas. Gödel fue un inveterado platónico que sostuvo la realidad no empírica de las verdades matemáticas, las cuales

son descubiertas, y no formuladas o inventadas [véase «¿Son reales las matemáticas?», por Kelsey Houston-Edwards; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, noviembre de 2019]. Una idea que el también realista Paul Erdős expresaba metafóricamente refiriéndose a «El Libro» en poder de la divinidad que contenía todos los teoremas matemáticos, así como sus demostraciones más perfectas y elegantes.

La narración de Budiansky nos descubre magistralmente al Gödel más personal. Testimonios y anécdotas ponen de manifiesto lo que el matemático Karl Sigmund llamaba la «entrañable inocencia» que siempre lo caracterizó. Todo esto en el trasfondo de sus graves problemas psicológicos, que desde mediados de los años treinta lo transformaron y aislaron progresivamente. A diferencia de su etapa vienesa, en la que mantuvo una activa vida social, sus relaciones personales en Princeton fueron escasísimas. Aparte de

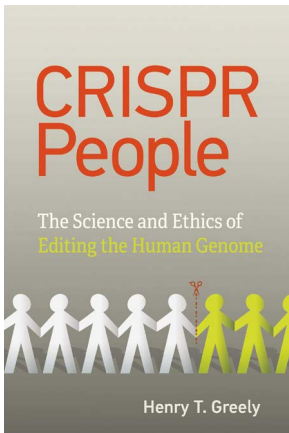
Albert Einstein, a quien le unió una legendaria amistad, tan solo cabe mencionar a John von Neumann, Oskar Morgenstern y, en sus últimos años, al filósofo Hao Wang, a quien debemos gran cantidad de información sobre las ideas filosóficas del Gödel maduro.

Uno de los aspectos más sobresalientes de *Journey to the edge of reason* es la forma en que la vida de Gödel se entrelaza con su complejo trasfondo histórico: la monarquía austrohúngara, su hundimiento y la Viena de entreguerras; ambientes magistralmente retratados en la literatura de Stefan Zweig, Joseph Roth y Arthur Schnitzler, a la que Budiansky recurre con frecuencia. También la creación del Instituto de Estudios Avanzados y la vida de los emigrados europeos en Princeton. Especialmente vívida es la descripción del enrarecido ambiente político y social de la universidad vienesa de los años veinte y treinta, la creciente violencia antisemita

y la disolución progresiva del Círculo de Viena, que culmina con el asesinato en 1936 de su fundador, Moritz Schlick.

Aunque la vida de Gödel ya se ha contado en otras ocasiones y con varios énfasis (recordemos, entre otros, los libros de Rebecca Goldstein o Palle Yourgrau), puede afirmarse sin titubeos que Budiansky ha escrito una biografía redonda. Gracias a una extraordinaria fluidez narrativa y a un equilibrio perfecto entre la persona, su ciencia y su tiempo, *Journey to the edge of reason* hace revivir a Gödel ante los ojos del lector en toda su compleja genialidad y, sobre todo, humanidad. Una deliciosa y gratificante lectura para toda persona interesada en la historia de la lógica y las matemáticas, o simplemente del pensamiento del siglo xx.

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



**CRISPR PEOPLE
THE SCIENCE AND ETHICS OF EDITING THE
HUMAN GENOME**

Henry T. Greely
MIT Press, 2021
400 págs.

**Ciencia y ética en el caso
de He Jiankui**

*Un documentado testimonio de la historia
que hizo saltar todas las alarmas bioéticas
de la edición genómica*

No han transcurrido ni diez años desde que aparecieron los primeros trabajos sobre el uso del sistema CRISPR en edición genética, una historia que Henry T. Greely trenza a través del caso He Jiankui y su experimento sobre modificación de embriones humanos. Bioético y jurista de profesión, Greely nos ofrece en *CRISPR people* un libro documentado, preciso y sin concesiones a lo anecdótico, pese a estar redactado a menudo en primera persona dada su participación en los hechos narrados. Fiscal unas veces por su exhaustiva inquisición de todas las caras del poliedro, juez en otras con las pruebas sopesadas, Greely aplica una fina criba científica, jurídica y ética a un experi-

mento que epitomiza el presente y futuro de la edición genómica humana de la línea germinal.

El 25 de noviembre de 2018, los pilares de la ciencia y de la ética asociada a su avance se tambalearon. Un joven investigador chino formado en EE.UU., con cuya comunidad científica seguía estrechamente relacionado, declaró que un mes antes habían nacido dos gemelas a partir de sendos embriones cuyo ADN había sido manipulado antes de implantarlos en el útero materno. Aquellas gemelas fueron los primeros humanos cuyos genes habían sido editados en su línea germinal, con lo que los cambios pasarían también a su progenie. Ni con la clonación de la oveja

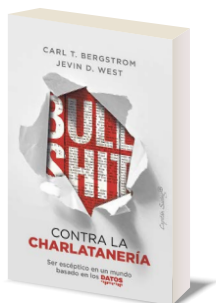
Dolly en 1996, con la que se comparó en seguida el suceso, ocurrió algo similar.

¿Qué significado encerraba todo aquello para la ciencia y para la misma especie humana? Greely analiza qué se hizo, cómo se hizo y de qué manera reaccionó la sociedad ante esa intervención sin precedentes en el genoma humano. En el área de la salud, la investigación básica ha venido aplicando técnicas de biología molecular para descifrar todo tipo de incógnitas. Por su lado, la praxis clínica ha recurrido a dichas técnicas para tratar enfermedades o prevenirlas. Se han dado pasos importantes en la elucidación del papel de la genética en la anemia falciforme, la distrofia muscular, la fibrosis quística, la sordera o la ceguera. Hay más de 10.000 enfermedades que se deben a mutaciones genéticas. Algunas resultan directamente de la mutación de un solo gen, pero la mayoría implica una compleja imbricación de factores genéticos y ambientales.

Fruto de la colaboración entre la industria y la academia, entre 1994 y 2010 aparecieron las técnicas de edición genómica basadas en nucleasas diseñadas *ad hoc*. Existen varias plataformas de edición del genoma, entre las que destacan las nucleasas asociadas al sistema CRISPR-Cas9 [véase «El descubrimiento del sistema CRISPR-Cas», por Francisco J. M. Mojica y Cristóbal Almendros; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, octubre de 2017].

NOVEDADES

Una selección de los editores
de *Investigación y Ciencia*



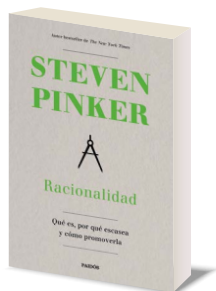
**BULLSHIT: CONTRA
LA CHARLATANERÍA
SER ESCÉPTICO EN UN MUNDO
BASADO EN LOS DATOS**

Carl T. Bergstrom y Jevin D. West
Capitán Swing, 2021
ISBN: 978-84-123902-0-9
414 págs. (23 €)



**BLAS CABRERA
CIENTÍFICO ESPAÑOL Y UNIVERSAL**

José Manuel Sánchez Ron
Catarata, 2021
ISBN: 978-84-1352-287-6
384 págs. (21 €)



**RACIONALIDAD
QUÉ ES, POR QUÉ ESCASEA
Y CÓMO PROMOVERLA**

Steven Pinker
Paidós, 2021
ISBN: 978-84-493-3861-8
536 págs. (28 €)

Cuando, en junio de 2012, *Science* publicó un artículo de Jennifer Doudna y otros investigadores sobre la naturaleza y posibilidades del sistema CRISPR, la comunidad científica viró su hoja de ruta. Aquella herramienta permitía editar, con sencillez y celeridad, el ADN de plantas y animales. Aquel fue uno de los avances más revolucionarios de la historia de la biología, razón por la cual años más tarde Doudna y Emmanuelle Charpentier recibirían el Nobel. Pero este avance encierra un poder descomunal que puede usarse para bien y para mal: para evitar enfermedades letales o para crear bebés a la carta. En menos de un lustro la técnica entró en todos los laboratorios del mundo, y hoy su horizonte de aplicaciones no parece agotarse. Pero la creación de las gemelas, escribió George Church, mostró que el genio de la edición genómica había escapado de la botella. La técnica había despertado inquietud y esperanza a partes iguales, con la controversia ética como telón de fondo [véase «La aplicación de CRISPR en humanos», por Marc Güell; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, enero de 2020].

He se familiarizó con la técnica mientras hacía su doctorado en la Universidad Rice. Tras un tiempo en Stanford, en 2012 volvió a su China natal. Fundó en Shenzhen la compañía Direct Genomics, especializada en el mercado de la secuenciación clínica, y atrajo cientos de millones de dólares en inversiones. Deseoso de introducirse en el campo de la edición genética, visitó a Feng Zhang, pionero de CRISPR, en su laboratorio del Instituto de Tecnología de Massachusetts, quien le aconsejó que no editara embriones con vistas a su implantación uterina. De Mark DeWitt, genetista de la Universidad de California en Berkeley, recibió el mismo consejo. No pudo entrevistarse con Doudna, también de Berkeley y quien, a tenor de lo sucedido, se preguntaría más tarde si lo que He pretendía era hacerse con una carpeta de contactos respetables para aparentar un amplio apoyo. He presentó esbozos de sus trabajos en reuniones y congresos en EE.UU., pero comunicó a muy pocos sus planes de llegar a la implantación, el embarazo y el nacimiento.

Fue en marzo de 2015 cuando un equipo chino acometió la primera edición genómica en embriones humanos. Un año después, en junio de 2016, He avanzaba de manera formal su proyecto para editar genes de embriones humanos in vitro mediante la técnica CRISPR. Acotaba su programa a parejas en las que el padre

fuera portador del VIH. En marzo de 2017, empezó a reclutar candidatas. Hasta noviembre de 2018 no informó del nacimiento de las dos niñas ni tampoco de un segundo experimento con un tercer embrión cuyo genoma también se había editado. Una declaración que coincidió en fecha con su participación en un artículo en *The CRISPR Journal* donde se señalaba, paradójicamente, un proyecto de normas éticas aplicables al uso de la edición genética en técnicas de reproducción. La revista retiró el artículo en febrero de 2019, aduciendo que He no había informado de que estaba llevando a cabo ensayos clínicos que implicaban la edición de la línea germinal de embriones humanos.

Para entonces, el experimento de He, presentado en víspera de la Segunda Cumbre Internacional sobre Edición Genómica, celebrada en Hong Kong, había desencadenado la indignación general por haberse saltado todas las normas éticas. El presidente de la Academia Nacional de Ciencias de China y el de las Academias Nacionales de Ciencias, Ingeniería y Medicina de EE.UU. urgieron en diciembre de 2018 a un acuerdo internacional sobre criterios para la edición de la línea germinal. Aquella debía ser una condena universal al trabajo de He, y en ella se apelaba al espíritu de la Conferencia de Asilomar sobre ADN recombinante de 1975, cuando se establecieron unas normas éticas y unos protocolos metodológicos.

Greely muestra con datos abrumadores que había científicos que conocían de una manera u otra los pasos de He; un trabajo emprendido sin suficiente experiencia en animales y una violación flagrante del consenso internacional. He y su equipo aplicaron la técnica CRISPR para modificar en los embriones el gen CCR5, ya que las personas que nacen con las dos copias de dicho gen inactivadas son resistentes al VIH. Pero cambiar los genes de un embrión significa cambiar los de todas las células. Si el experimento tiene éxito, el bebé presentará alteraciones que heredará su prole generación tras generación. Y eso, coinciden los científicos, constituye un camino que debe acometerse con la máxima prudencia y deliberación. Algunos opinan que debe reservarse a enfermedades graves para cuya curación no haya otra alternativa; otros sostienen que no debe realizarse en ningún caso. He prescindió de la deontología profesional e inactivó CCR5, un gen normal.

—Luis Alonso