

MARCUS DU SAUTOY

LO QUE NO
PODEMOS SABER

EXPLORACIONES EN LA
FRONTERA DEL CONOCIMIENTO

TRADUCCIÓN DEL INGLÉS
DE EUGENIO JESÚS GÓMEZ AYALA

BARCELONA 2018



A C A N T I L A D O

TÍTULO ORIGINAL *What We Cannot Know*

Publicado por
A C A N T I L A D O
Quaderns Crema, S. A.

Muntaner, 462 - 08006 Barcelona
Tel. 934 144 906 - Fax. 934 636 956
correo@acantilado.es
www.acantilado.es

© 2016 by Marcus du Sautoy
© de la traducción, 2018 by Eugenio Jesús Gómez Ayala
© de esta edición, 2018 by Quaderns Crema, S. A.

Derechos exclusivos de edición en lengua castellana:
Quaderns Crema, S. A.

ISBN: 978-84-16748-89-1
DEPÓSITO LEGAL: B. 4629-2018

AIGUADEVIDRE *Gràfica*
QUADERNS CREMA *Composició*
ROMANYÀ-VALLS *Impresió y encuadernación*

PRIMERA EDICIÓN *marzo de 2018*

Bajo las sanciones establecidas por las leyes,
quedan rigurosamente prohibidas, sin la autorización
por escrito de los titulares del copyright, la reproducción total
o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento mecánico o
electrónico, actual o futuro—incluyendo las fotocopias y la difusión
a través de Internet—, y la distribución de ejemplares de esta
edición mediante alquiler o préstamo públicos.

CONTENIDO

| | |
|---|-----|
| <i>Frontera cero: lo que sabemos que no sabemos</i> | 7 |
| Primera frontera: los dados de casino | 27 |
| Segunda frontera: el violonchelo | 97 |
| Tercera frontera: el pomo de uranio | 163 |
| Cuarta frontera: el universo con recortables | 233 |
| Quinta frontera: el reloj de pulsera | 307 |
| Sexta frontera: el robot parlante | 379 |
| Séptima frontera: el <i>cracker</i> navideño | 455 |
| <i>Agradecimientos</i> | 533 |
| <i>Procedencia de las ilustraciones</i> | 535 |
| <i>Lecturas complementarias</i> | 537 |
| <i>Índice</i> | 547 |

*A mis padres,
que me animaron a emprender este viaje
hasta las fronteras del conocimiento.*

FRONTERA CERO: LO QUE SABEMOS QUE NO SABEMOS

Todos los hombres desean por naturaleza saber.

ARISTÓTELES, *Metafísica*

La ciencia es la reina.

Todas las semanas aparecen titulares que anuncian nuevos adelantos en nuestra comprensión del universo, nuevas tecnologías que transformarán nuestro entorno, nuevos avances médicos que prolongarán nuestras vidas. La ciencia nos está dando perspectivas insospechadas sobre algunas de las grandes cuestiones que han desafiado a la humanidad desde el momento en que ésta acertó a formularlas. ¿De dónde venimos? ¿Cuál es el destino último del universo? ¿Cuáles son los constituyentes básicos del mundo físico? ¿Cómo un conjunto de células se vuelven conscientes?

En el lapso de los diez últimos años, hemos logrado posar un vehículo espacial sobre un cometa, hemos fabricado robots que pueden crear su propio lenguaje, hemos usado células madre para reparar el páncreas de los enfermos de diabetes, hemos descubierto cómo usar el poder de la mente para que sepa manipular por sí sola un brazo robótico y hemos secuenciado el ADN de una muchacha que vivió en las cavernas hace cincuenta mil años. Así de vasto es nuestro conocimiento. Los avances de la ciencia generan una gran adicción.

La ciencia nos ha proporcionado la mejor arma para luchar contra el destino. En vez de rendirse a la devastación que generan las enfermedades y los desastres naturales, la ciencia ha creado vacunas para combatir virus mortales como el de la polio o incluso el del ébola. Ante el problema de una población mundial siempre creciente, los avances científicos pro-

porcionan la mejor esperanza de conseguir alimentar a los 9.600 millones de personas que vivirán en 2050. La ciencia es la que nos está avisando del impacto mortal al que estamos sometiendo nuestro entorno y la que nos da la oportunidad de hacer algo antes de que sea demasiado tarde. Un asteroide podría haber barrido a los dinosaurios, pero la ciencia que hemos desarrollado los humanos es nuestro mejor escudo para hacer frente a los choques directos que puedan producirse en el futuro. En la lucha constante de la raza humana contra la muerte, la ciencia es su mejor aliada.

La ciencia es la reina no sólo en lo tocante a la lucha por la supervivencia, sino también a la hora de mejorar nuestra calidad de vida. Somos capaces de comunicarnos con los amigos y con la familia a través de enormes distancias. Disfrutamos de un acceso incomparable a las bases de datos que recogen los conocimientos que hemos acumulado durante generaciones consagradas a la investigación. Hemos creado mundos virtuales con los que podemos evadirnos en el tiempo libre. Podemos recrear en el salón las grandes interpretaciones de Mozart, Miles y Metallica con sólo pulsar un botón.

El deseo de saber está programado en la psique humana. Los primeros humanos que tuvieron sed de conocimiento son los que sobrevivieron, se adaptaron y transformaron su entorno. Los que no sufrieron el impulso de este afán se quedaron atrás. La evolución ha favorecido a las mentes que desean conocer los secretos del funcionamiento del universo. La subida de adrenalina que acompaña al descubrimiento de nuevos saberes es el modo que tiene la naturaleza de decirnos que el deseo de saber es tan importante como el impulso por reproducirnos. Como formuló Aristóteles en la primera línea de su *Metafísica*, comprender cómo funciona el mundo constituye una necesidad humana básica.

En mis años escolares, la ciencia me acogió pronto con los brazos abiertos. Caí entusiasmado ante su extraordinario poder para explicarnos tal cantidad de cosas sobre el univer-

so. Las historias fantásticas que nos contaban los profesores de las asignaturas de ciencias parecían más imaginativas incluso que los libros de ficción que había leído en casa. Dominado por este conjuro, consumía todas las ofertas de ciencia que caían en mis manos.

Convencí a mis padres para que me pagaran una suscripción al *New Scientist*. Devoraba el *Scientific American* en la biblioteca cercana a mi casa. Todas las semanas acaparaba el televisor para seguir los episodios de mis programas científicos favoritos: *Horizon* y *Tomorrow's World*. Quedé atrapado por las series *Ascent of Man* de Jacob Bronowski, *Cosmos* de Carl Sagan y *Body in Question* de Jonathan Miller. En Navidades, las Conferencias Navideñas de la Institución Real me proporcionaban una buena ración de ciencia en conjunción con el pavo familiar. Mis calcetines aparecían llenos de libros de George Gamow y de Richard Feynman. Aquellos eran tiempos embriagadores, en los que todas las semanas se anunciaban nuevos adelantos.

Al tiempo que leía estas historias de descubrimientos, empecé a sentirme cada vez más intrigado por los aspectos que no se contaban en ellas. Lo que sabíamos pertenecía al pasado, pero lo que todavía no sabíamos pertenecía al futuro, a mi futuro. Me obsesioné con los libros de rompecabezas del matemático Martin Gardner que me dio mi profesor. La emoción de luchar contra un enigma y la repentina descarga de euforia que suponía resolver cada problema me crearon adicción por la droga del descubrimiento. Aquellos problemas fueron mi campo de entrenamiento para el desafío, más grande, de afrontar cuestiones que no tenían una respuesta al final del libro. Las preguntas sin respuesta, los misterios matemáticos y los dilemas científicos que nadie había resuelto habrían de convertirse en el combustible de mi vida científica.

LO QUE SABEMOS

Si vuelvo la vista a los años setenta, cuando estaba en el colegio, y comparo aquello que entonces sabíamos con lo que sabemos hoy, resulta extraordinario lo mucho que hemos comprendido del universo solamente en el medio siglo que he vivido. La tecnología ha ampliado la capacidad de nuestros sentidos de modo que podemos ver cosas que estaban fuera del alcance de los científicos que me entusiasmaron cuando era niño.

Los nuevos modelos de telescopio que escudriñan los cielos nocturnos han descubierto planetas similares a la Tierra que podrían albergar vida inteligente. Han revelado el hecho sorprendente de que, a partir de los tres cuartos del ciclo de vida del universo, la expansión de éste comenzó a acelerarse. Recuerdo haber leído cuando niño que nos encaminábamos hacia un gran colapso, pero ahora parece que nos espera un futuro completamente distinto.

Los aceleradores de partículas como el Gran Colisionador de Hadrones del CERN (la Organización Europea para la Investigación Nuclear, en Suiza) nos han permitido penetrar en los entresijos de la misma materia y han desvelado nuevas partículas—como el quark cima, descubierto en 1994, y el bosón de Higgs, descubierto en 2012—, que eran sólo retazos de matemática especulativa cuando yo leía en el colegio mi ejemplar de *New Scientist*.

Y desde los primeros años de la década de los noventa, las imágenes por resonancia magnética funcional (fMRI, por sus siglas en inglés) nos han permitido mirar dentro del cerebro y descubrir cosas que en los años setenta francamente no eran consideradas siquiera competencia de los científicos. El cerebro era terreno acotado de filósofos y teólogos, pero hoy la tecnología puede revelar cuándo uno está pensando en Jennifer Aniston o predecir qué haremos incluso antes de que nosotros mismos lo sepamos.

La biología ha visto una explosión de avances. En 2003 se anunció que los científicos habían determinado una secuen-

cia completa de ADN humano que consta de tres mil millones de letras de código genético. En 2011 se publicó la red neuronal completa del gusano *C. elegans*, que proporcionaba una descripción exhaustiva de cómo están conectadas entre sí las 302 neuronas del gusano.

Los químicos han abierto también nuevos horizontes. En 1985 se descubrió una forma totalmente nueva del carbono, ensamblada como un balón de fútbol, y los químicos nos volvieron a sorprender en 2003 creando los primeros ejemplos de grafeno, que mostraban cómo el carbono puede formar un panal hexagonal con el espesor de un átomo.

Y en mis tiempos, la disciplina a la que acabaría dedicándome, las matemáticas, ha visto cómo se resolvían finalmente algunos de los grandes enigmas: el último teorema de Fermat y la conjetura de Poincaré, dos retos que habían burlado a muchas generaciones de matemáticos. Nuevas ideas y herramientas matemáticas han desbrozado caminos ocultos para transitar por el universo matemático.

Estar al tanto de todos estos nuevos avances, por no hablar de hacer alguna contribución propia, es un reto en sí mismo.

LA CÁTEDRA DEL PROFESOR SABELOTODO

Hace unos años conseguí añadir un nuevo título a mis tareas como profesor de matemáticas en la universidad de Oxford que suele arrancarme una sonrisa: Profesor Simonyi para la Comprensión Pública de la Ciencia. Parece que existe la creencia de que poseer este título hace que deba saberlo todo. La gente me llama por teléfono suponiendo que conozco la respuesta de cualquier cuestión científica. Poco después de haber aceptado el título, se anunció el Premio Nobel de Medicina. Un periodista me llamó en busca de una explicación del avance que se premiaba: el descubrimiento de los telómeros.

La biología nunca ha sido uno de mis fuertes, pero estaba sentado frente a la pantalla del ordenador y, aunque me

avergüence decirlo, busqué la página de Wikipedia sobre los telómeros y, después de un repaso rápido, me puse a explicar con autoridad que son la porción del código genético situado al extremo de los cromosomas que controla el envejecimiento, entre otras cosas. La tecnología que tenemos al alcance de la mano ha incrementado la sensación de que poseemos la capacidad de saberlo todo. Basta teclear una pregunta en un motor de búsqueda y la máquina parece predecir, incluso antes de terminar de escribir, qué es lo que queremos saber, y proporciona una lista de sitios en los que encontrar la respuesta.

Pero entender algo no es lo mismo que disponer de una lista de hechos. Para un científico, ¿es posible saberlo todo? ¿Saber cómo resolver ecuaciones en derivadas parciales no lineales? ¿Saber cómo $SU(3)$ gobierna las relaciones entre las partículas fundamentales? ¿Saber cómo la inflación cósmica da origen al estado del universo? ¿Saber cómo resolver las ecuaciones de Einstein referentes a la relatividad general o la ecuación de ondas de Schrödinger? ¿Saber cómo las neuronas y las sinapsis desencadenan el pensamiento? Seguramente Newton, Leibniz y Galileo fueron los últimos científicos en conocer todo lo conocido en su tiempo.

Debo admitir que la arrogancia propia de la juventud me inculcó la creencia de que podría entender cualquier cosa que se supiera. Que un cerebro humano encontrara el modo de abrir una senda que conducía a nuevos conocimientos significaba que el mío también era capaz. Con el tiempo suficiente, pensaba, podría descifrar los misterios de las matemáticas y del universo, o al menos dominar el estado actual del conocimiento sobre ellos. Pero, cada vez más, estoy empezando a poner en duda esta creencia, y presiento que algunas cosas quedarán para siempre fuera de mi alcance. Con frecuencia tengo que estrujarme mucho el cerebro para manejarlo con la ciencia que conocemos hoy. Se acaba el tiempo de conocerlo todo.

Mis propias investigaciones matemáticas están rebasando ya los límites de lo que mi cerebro humano se siente capaz de entender. He estado trabajando durante más de diez años en una conjetura que se resiste obstinadamente ante mis esfuerzos por descifrarla. Pero mi nueva tarea como Profesor para la Comprensión Pública de la Ciencia me ha sacado de la zona de confort de las matemáticas y me ha arrastrado hacia los engorrosos conceptos de las neurociencias, las resbaladizas ideas de la filosofía y las infundadas teorías de la física. Ha requerido una manera diferente de pensar que es ajena a mi pensamiento matemático, que maneja certezas, demostraciones y precisión. Mi pretensión de entender todo lo que hoy se considera conocimiento científico ha puesto a prueba drásticamente los límites de mi capacidad de entender.

El proceso de alcanzar conocimientos se basa necesariamente en encaramarse a hombros de gigantes, como declaró Newton en una famosa frase, a propósito de sus propios descubrimientos. Por eso mi viaje hasta las fronteras del conocimiento ha implicado leer sobre cómo otros han articulado el estado actual del conocimiento, escuchar conferencias y seminarios ofrecidos por los especialistas del área que trato de entender, charlar con los que están ganando terreno en la línea con lo desconocido, poner en duda explicaciones contradictorias, consultar las pruebas y los datos recogidos en las revistas científicas que apoyan una teoría, a veces hasta echar una ojeada sobre una idea en Wikipedia. Aunque enseñamos a los estudiantes a poner en duda toda información que surja de una búsqueda con Google, una investigación más detenida ha revelado que las descripciones que proporciona la Wikipedia de los temas situados en el extremo menos controvertido del espectro científico, como la teoría de la relatividad general, son consideradas de una calidad pareja a la de las descripciones ofrecidas en la literatura científica. Pero si uno escoge un asunto más polémico, como el cambio climático, el contenido puede depender del día en que uno mire.

Esto plantea la cuestión de hasta qué punto puede uno fiarse de estos informes. El mero hecho de que la comunidad científica acepte una explicación como la que más se ajusta al momento presente no quiere decir que sea cierta. La historia muestra, una y otra vez, que ocurre justo lo contrario, y esto debe servirnos de aviso de que el actual conocimiento científico es provisional. Las matemáticas tienen quizá características ligeramente diferentes, como explicaré en los dos capítulos finales. La demostración, en las matemáticas, ofrece la posibilidad de establecer un conocimiento más permanente. Pero merece la pena señalar que, incluso cuando se innova en matemáticas, suelen citarse resultados de otros colegas cuyas demostraciones uno no ha comprobado personalmente. Hacerlo sería como correr para no moverse del sitio.

Y el auténtico reto para cualquier científico es no quedarse retenido en el jardín seguro de lo conocido, sino aventurarse en el terreno salvaje de lo desconocido. Este reto es el que late en este libro.

LO QUE NO SABEMOS

A pesar de todos los avances conseguidos por la ciencia en los últimos siglos, todavía hay muchos profundos misterios que siguen esperando a que los resolvamos. Cosas que no sabemos. El conocimiento de lo que no sabemos parece crecer más rápidamente que nuestro catálogo de descubrimientos. Lo que sabemos que no sabemos supera a lo que sabemos que sabemos. Y esas cosas que no sabemos son las que impulsan la ciencia. Los científicos se interesan más en aquello que no comprenden que en hablar de los fenómenos que ya sabemos cómo explicar. La ciencia es un ente vivo y palpitante gracias a todas esas preguntas que no sabemos contestar.

Por ejemplo, la sustancia que constituye el universo físico con el que interactuamos parece representar solamente un 4,9 % de la materia total del universo. Pero entonces ¿de

qué está hecho el otro 95,1 %, las llamadas materia y energía oscuras? Si se acelera la expansión del universo, ¿de dónde viene la energía que alimenta esta aceleración?

¿Es el universo infinito? ¿Hay infinitos universos paralelos al nuestro? Si los hay, ¿tienen leyes físicas diferentes? ¿Existían otros universos antes de que surgiera nuestro universo del Big Bang, la Gran Explosión? ¿Existía el tiempo antes de la Gran Explosión? ¿Existe el tiempo de un modo absoluto o aparece como consecuencia de conceptos más fundamentales?

¿Por qué existe un estrato de partículas fundamentales y otras dos copias casi idénticas de este estrato pero con masas crecientes, las llamadas tres generaciones de partículas fundamentales? ¿Hay más partículas que todavía no hayamos descubierto? ¿Son las partículas fundamentales diminutas cuerdas que vibran en el espacio de once dimensiones?

¿Cómo podemos unificar la teoría de la relatividad general formulada por Einstein, la física de lo muy grande, con la física cuántica, la física de lo muy pequeño? Lo que se busca aquí es lo que se llama la gravedad cuántica, algo absolutamente necesario aunque solamente pretendiéramos entender la Gran Explosión, el momento en el que el universo fue reducido al reino de lo cuántico.

Y qué decir de la comprensión del cuerpo humano, algo tan complejo que hace que la física cuántica parezca un ejercicio propuesto en la escuela secundaria. Se está todavía tratando de entender correctamente la compleja interacción entre la expresión génica y el entorno. ¿Se podrá encontrar una cura para el cáncer? ¿Es posible vencer al envejecimiento? ¿Entre los que hoy vivimos habrá alguien que alcance los mil años?

¿Y si nos preguntamos de dónde vienen los humanos? La evolución es un proceso de mutaciones aleatorias, de modo que ¿algún otro resultado de los dados de la evolución podría haber producido también organismos con ojos? Si rebo-

bináramos la evolución y la reiniciáramos, ¿obtendríamos vida inteligente o somos el resultado de una tirada feliz de los dados? ¿Existe vida inteligente en algún otro punto del universo? ¿Y qué hay de la tecnología que estamos creando? ¿Podrá un ordenador adquirir alguna vez conciencia? ¿Podremos finalmente descargar la conciencia en un ordenador y seguir vivos después de la muerte del cuerpo?

Las matemáticas tampoco están ni mucho menos acabadas. A pesar de lo que crea la gente, el último teorema de Fermat no era el último teorema. Abundan los fenómenos matemáticos desconocidos. ¿Hay algún patrón que regule los números primos o éstos se presentan al azar? ¿Lograremos resolver las ecuaciones matemáticas de la turbulencia? ¿Comprenderemos alguna vez cómo factorizar números grandes de modo efectivo?

A pesar de lo mucho desconocido que aún resta, los científicos son optimistas y piensan que estas cuestiones no quedarán sin respuesta para siempre. Las últimas décadas proporcionan razones para creer que estamos en una edad de oro de la ciencia. La velocidad con la que se producen descubrimientos en la ciencia parece crecer exponencialmente. En 2014 la revista científica *Nature* señaló que el número de artículos científicos que se publican se duplica cada nueve años desde el fin de la Segunda Guerra Mundial. Los ordenadores también se desarrollan a un ritmo exponencial. La ley de Moore se basa en la observación de que la potencia de procesamiento de los ordenadores parece duplicarse cada dos años. El ingeniero Ray Kurzweil defiende que lo mismo ocurre con el progreso tecnológico: el ritmo de cambio de la tecnología en los próximos cien años será comparable al experimentado en los últimos veinte mil años.

Pero ¿pueden los descubrimientos científicos mantener este crecimiento exponencial? Kurzweil habla de la «singularidad», que será el momento en el que la inteligencia tecnológica superará a la inteligencia humana. ¿Estará el pro-

greso científico abocado a su propia singularidad? El día en el que lo sepamos todo. De hecho, seguramente en algún momento podríamos descubrir las ecuaciones subyacentes que explican cómo funciona el universo. Descubriremos la lista final de las partículas que forman los constituyentes básicos del universo y cómo interactúan entre sí. Algunos científicos creen que con el ritmo actual de progreso científico llegará un momento en el que podremos descubrir una teoría del todo. Hasta le han dado un nombre: TOE («Theory of Everything»).

Como afirmó Hawking en *Breve historia del tiempo*: «Todavía creo que hay razones para un optimismo prudente sobre el hecho de que podamos estar ahora cerca del final de la búsqueda de las leyes últimas de la naturaleza», frase que concluyó teatralmente con la afirmación provocativa de que en tal caso «conoceríamos el pensamiento de Dios».

¿Es posible algo así? ¿Saberlo todo? ¿Sería deseable saberlo todo? La ciencia se anquilosaría. Los científicos mantienen una relación extrañamente esquizofrénica con lo desconocido. Por un lado, lo que nos intriga y fascina es lo que no sabemos, pero por el otro, lo que prueba el éxito de un científico es que aporte soluciones y conocimiento, que convierta lo desconocido en conocido.

¿Podría haber algunos enigmas que nunca se resolverán? ¿Hay límites que acotan lo que podemos descubrir del mundo físico? ¿Existen regiones del futuro que están fuera del poder predictivo de la ciencia y de las matemáticas? ¿Es el tiempo antes de la Gran Explosión terreno vedado? ¿Existen ideas tan complejas que se hallan fuera del alcance de los cerebros finitos de los humanos? ¿Pueden los cerebros investigar sobre ellos mismos, o este análisis entra en un círculo vicioso infinito del que es imposible escapar? ¿Existen conjeturas matemáticas que nunca podrán probarse?