

DE NEURONAS A GALAXIAS

¿Es el universo un holograma?

DE NEURONAS A GALAXIAS

¿Es el universo un holograma?

Adolfo Plasencia

Esta publicación no puede ser reproducida, ni total ni parcialmente, ni registrada en, o transmitida por, un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, ya sea fotomecánico, fotoquímico, electrónico, por fotocopia o por cualquier otro, sin el permiso previo de la editorial. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.



El capítulo 22 está bajo la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-Licencia internacional de NoDerivatives 4.0. Para ver una copia de esta licencia, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/> o envíe una carta a Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, ee. uu.

Título original: *Is the Universe a Hologram? Scientists Answer the Most Provocative Questions*
© Massachusetts Institute of Technology, 2017

© Del texto: los autores, 2021

© De esta edición: Publicacions de la Universitat de València, 2021

© De la traducción: Adolfo Plasencia, 2021

Publicacions de la Universitat de València
Arts Gràfiques, 13 • 46010 València
<http://puv.uv.es>
publicacions@uv.es

Maquetación: Arantxa Pérez

Imagen de cubierta: «A La Divina Proporción», de José María Yturralde

Diseño de la cubierta: Celso Hernández de la Figuera

ISBN: 978-84-9134-782-8

Depósito legal: V-994-2021

Impresión: Estudio Aguatinta, S.L.

A mi madre, Rafaela, y a mi padre, Ángel, que pusieron todo su empeño en que yo fuera una buena persona. A mi hermana María Jesús y a mi sobrino Ángel, un prodigio de la naturaleza. A mi abuela Concha, una extraordinaria mujer que vivió 102 años, iluminando el contraste entre dos siglos, y que aún hoy sigue guiando mi corazón y mis búsquedas

A mi abuelo Adolfo, a quien debo mi nombre y al que la Guerra Civil española me impidió conocer. De él creo que, además del nombre, debo de haber heredado alguna misteriosa fuerza que surge en mí de forma inexplicable para afrontar los momentos más difíciles.



Mosaico Academia de Platón. Casa de T. Siminius Stephanus, Pompeya, 110–80 a. C.
Museo Archeologico Nazionale de Napoles, Italia. Foto de Adolfo Plasencia.

Aunque los dioses estaban lejos, él visitó su región del cielo, en su mente, y lo que la naturaleza negaba a la visión humana lo disfrutaba con su ojo interior. Cuando hubo considerado cada tema, a través de un pensamiento profundo, lo comunicaba ampliamente en público, enseñando a silenciosas multitudes, que escuchaban con asombro sus palabras, sobre el origen del vasto universo, y sobre las causas de las cosas; y de lo que es el mundo físico; de lo que son los dioses; de dónde surgen las nieves; cuál es el origen de los relámpagos, ya sea Júpiter, los vientos de tormenta, o el trueno de las nubes que chocan; de lo que estremece la tierra; sobre qué leyes mueven las estrellas; y de cualquier otra cosa que esté oculta....

*«Ovidio describe a Pitágoras»
Metamorfosis XV*

CONTENIDO

Prefacio	
<i>Tim O'Reilly</i>	15
Agradecimientos.....	17
Cómo surgió este libro	19
Ideas poderosas tratadas en el libro	27
I. EL MUNDO FÍSICO	
Introducción y diálogos de Adolfo Plasencia con:	
1 La física cuántica tiene en cuenta el libre albedrío	
<i>Ignacio Cirac</i>	35
2 Unificando la física de partículas con la cosmología del universo primordial	
<i>José Bernabéu</i>	53
3 Para los exoplanetas todo es posible	
<i>Sara Seager</i>	65
4 De las fuerzas Casimir a la radiación del cuerpo negro: fluctuaciones cuánticas y térmicas	
<i>Alejandro W. Rodríguez</i>	75
5 El reto del cambio climático	
<i>Mario J. Molina</i>	87
6 El grafeno y su «familia»: los materiales más finos que han existido, existen y existirán	
<i>Pablo Jarillo-Herrero</i>	97
7 Las leyes de la termodinámica te dicen qué es y qué no es posible	
<i>Avelino Corma</i>	109
8 La sabiduría acumulada en las antiguas piedras talladas	
<i>John Ochsendorf</i>	121
9 Programa Galileo: planeando la incertidumbre e imaginando lo posible y lo imposible	
<i>Javier Benedicto</i>	133

12 De neuronas a galaxias ¿Es el universo un holograma?

10 Mirando hacia adelante en la arquitectura al mirar atrás
Yung Ho Chang 147

11 El acoplamiento perfecto entre bits y átomos
Hiroshi Ishii..... 155

II. INFORMACIÓN

Introducción y diálogos de Adolfo Plasencia con:

12 Cultura de la convergencia: donde los antiguos y los nuevos
medios colisionan
Henry Jenkins 167

13 La lógica de la física frente a la lógica de la informática
Bebo White 181

14 Los pilares del MIT: innovación, meritocracia radical
y conocimiento abierto
Hal Abelson 191

15 Necesitamos algoritmos que puedan hacer explícito
lo que es implícito
Bernardo Cuenca Grau..... 203

16 La llegada de una inteligencia no biológica
Michail Bletsas..... 215

17 Recordar el futuro: la frontera de las tecnologías de búsqueda
Ricardo Baeza-Yates..... 227

18 El desafío de la difusión abierta de conocimiento,
inteligencia distribuida y tecnología de la información
Anne Margulies..... 241

19 La tecnología es algo para hacer del mundo un lugar mejor
Tim O'Reilly 251

20 La encriptación como un derecho humano
David Casacuberta..... 263

21 El orden en el ciberespacio solo puede mantenerse
con una combinación de ética y tecnología
John Perry Barlow 277

22 El paradigma del *software* libre y la ética *hacker*
Richard Stallman 283

III. INTELIGENCIA

Introducción y diálogos de Adolfo Plasencia con:

- | | | |
|----|---|-----|
| 23 | «Computación afectiva» no es un oxímoron
<i>Rosalind W. Picard</i> | 309 |
| 24 | Mente, Cerebro y Conducta
<i>Álvaro Pascual-Leone</i> | 319 |
| 25 | Innovación colaborativa del MIT: hacen falta >2 para bailar
este tango
<i>Israel Ruiz</i> | 333 |
| 26 | La Mente sobre la Materia: Interfaces Cerebro-Máquina
<i>José M. Carmena</i> | 345 |
| 27 | Queremos que los robots vean y entiendan el mundo
<i>Antonio Torralba</i> | 355 |
| 28 | Entre cavernas: desde Platón hasta el cerebro a través de internet
<i>Javier Echeverría</i> | 367 |
| 29 | No habrá fin del trabajo
<i>Paul Osterman</i> | 379 |
| 30 | Una multitud inteligente no es necesariamente una multitud sabia
<i>Howard Rheingold</i> | 389 |
| 31 | Medir la inteligencia de todo
<i>José Hernández-Orallo</i> | 397 |
| 32 | Tocando el alma de Miguel Ángel
<i>Gianluigi Colalucci</i> | 413 |

IV. EPÍLOGO

Introducción y diálogos de Adolfo Plasencia con:

- | | | |
|----|---|-----|
| 33 | Geometría de un universo multidimensional: el arte ingravido
y la pintura del vacío
<i>José María Yturralde</i> | 429 |
|----|---|-----|

V. APÉNDICE

Introducción y diálogos de Adolfo Plasencia con:

- | | | |
|----|---|-----|
| 34 | En el corazón de nuestra más profunda descripción
de la naturaleza, verdad y belleza se unen
<i>Frank Wilczek</i> | 449 |
|----|---|-----|

V.I. Intento de una breve caracterización conceptual del COVID-19 (y sus congéneres)	467
INTRODUCCIÓN. ACCESO A LOS DATOS	
V.II. Marco: la existencia del sars-CoV-2 Se alterna entre los lados de la <i>borrosa</i> frontera entre lo No-Vivo y Lo Vivo.....	479
Microdiálogos sobre el coronavirus COVID-19 de Adolfo Plasencia con:	
• El filósofo de la ciencia <i>Javier Echeverría</i>	480
LA CONSTRUCCIÓN SOCIAL Y POLÍTICA DEL TECNOVIRUS COVID-19	
• El químico, virólogo/inmunólogo y jefe del laboratorio de coronavirus del Centro Nacional de Biotecnología (CNB-CSIC), <i>Luis Enjuanes</i>	488
LOS VIRUS SON ENTIDADES QUE SE ESTÁN REINVENTANDO CONSTANTEMENTE	
• El filósofo <i>Daniel Innerarity</i>	492
¿SON PARTE DE UNA INTELIGENCIA COLECTIVA LOS CORONAVIRUS COMO EL COVID-19?	
• El botánico y biólogo <i>Jaime Güemes</i>	496
¿EXISTE LA FRONTERA ENTRE LO «NO-VIVO» Y «LO VIVO» EN EL REINO VEGETAL?	
• El científico de computación, ciencia de datos e inteligencia artificial y doctor en lógica y filosofía <i>José Hernández-Orallo</i>	504
SOBRE LA FRONTERA ENTRE LO «NO-VIVO» Y «LO VIVO» EN EL REINO DIGITAL	
V.III. Nuevas responsabilidades globales en el siglo XXI	509
V.IV. Conclusión: Un mundo que ignorábamos.....	515
ÍNDICE ONOMÁSTICO	519
ÍNDICE ANALÍTICO	529
Partes I a V.....	529
Partes V.I. a V.IV.	536

Prefacio

Tim O'Reilly

El futuro no es algo que «sucede». Es algo que creamos.

Sí, hay elementos e influencias más allá de nosotros. Las leyes de la naturaleza, y nuestra propia naturaleza, limitan nuestras decisiones. Y hay grandes catástrofes, terremotos, plagas e inundaciones que dan forma a sucesos. Pero cada vez más los seres humanos somos la fuente de nuestro propio destino, nuestra propia grandeza, y nuestros propios errores.

Más razón, pues, para reflexionar sobre el futuro y sobre las opciones que elegimos. En su ensayo *Imagination as Value (La imaginación como valor)*, que forma parte de la colección *The Necessary Angel (El ángel necesario)*, el poeta Wallace Stevens escribió: «La verdad parece vivir ya en nosotros en conceptos de la imaginación antes de que la razón los haya establecido. Si esto es cierto, entonces la razón simplemente es el método de la imaginación». El futuro es el resultado de innumerables actos creativos, visiones de lo que puede ser hecho realidad a través de la persuasión y el esfuerzo. El pionero informático Alan Kay se hizo eco de este pensamiento cuando dijo: «Es más fácil inventar el futuro que predecirlo».

Pero cada invención, cada nueva idea, cada nuevo momento social o político, solo se vuelve real cuando se comparte. La chispa salta de mente a mente, a veces despacio, a veces como un relámpago. Pero sin ese salto, la chispa muere.

Una versión simplista de la historia se centra en individuos únicos y momentos solitarios: la batalla decisiva, el gran hombre o mujer, el trascendental descubrimiento. Pero la verdad es que mientras algunos momentos importan más que otros, y algunas decisiones o descubrimientos individuales parecen enviar al mundo a un nuevo camino, ningún descubrimiento, ninguna nueva idea y ninguna decisión trascendental existe de forma aislada. Más bien parecen surgir de mil conversaciones, en un tropezar juntos hacia un acuerdo compartido. Las modas del momento, y lo que perdura o se redescubre (a veces demasiado tarde para el beneficio del creador), siempre han sido *crowdsourced* (realizada en colaboración abierta y distribuida por una multitud).

Ahora, sin embargo, las redes sociales aceleran el proceso, con tormentas virales de descubrir y compartir. Hay muchas cosas que no sabemos acerca

de cómo este nuevo vector de transmisión cultural funcionará a largo plazo, aunque ya podemos ver lo siguiente en este proceso:

- Los caminos de la atención se encuentran no en efímeros «gustos», sino en una persistencia más profunda de los motores de búsqueda que se hacen eco de la forma en que nuestros propios cerebros conservan los recuerdos, estableciendo huellas repetidas, cada vez más fuertes a lo largo del tiempo, de modo que algunas cosas tienen prioridad sobre otras. Y a medida que algunas narraciones se vuelven dominantes, otras se olvidan.
- Como en el cerebro, los recuerdos se desvanecen con el tiempo sobrescritos constantemente por algo nuevo. Lo que una vez fue popular se convierte en una curiosidad, tal vez incluso se desvanece de nuestra vista. Un sitio web se desconecta, un documento desaparece y el *link* es redireccionado.

Pero ¿es esto realmente diferente (excepto en la velocidad, escala y medios electrónicos de producción) de lo que sucedió antes? Recuerdo estar al pie de la tumba de mi padre y oír a mi tía, que era bastante culta, lamentándose: «Tanto aprendizaje. Tantos conocimientos, que ya no están». Ahora, treinta años después, mi anciana tía mayor es un depósito de conocimientos y recuerdos a punto de ir al «HTTP 404 No encontrado».

En el antiguo orden cultural, las obras consideradas dignas de mención fueron preservadas en las bibliotecas. Ahora, aparte del archivo de internet y archivado accidental proporcionado por las cachés de los motores de búsqueda, hay poca preservación formal. Esto bien podría resultar una tragedia de nuestra época.

Por eso, lo hecho por Adolfo Plasencia en los diálogos contenidos en este libro es tan importante. Ha reunido una serie de destacadas conversaciones, con transmisión de ideas de mente a mente, debates que dan forma al futuro, importantes conceptos que una vez fueron nuevos y controvertidos, que tal vez al principio fueron ignorados, luego discutidos, y solo entonces, finalmente, adoptados con la suficiente amplitud como para diluirse en ese mar del presente que llamamos «conocimiento común» en el que tal vez podrán hundirse bajo las olas y convertirse en historia.

Agradecimientos

Puedo afirmar sin equivocarme que hacer este libro no hubiera sido posible sin las ayudas, en algunos casos premeditadas y constantes, casi siempre cómplices, y en otros creo que inconscientes, por parte de muchas personas que me han apoyado a lo largo de la génesis de este libro.

Entre quienes me han guiado y asistido está, en primer lugar, Douglas Morgenstern, quien encarna para mí una asombrosa combinación de sabiduría y humildad, idealismo utópico y amor a la verdad, siempre sin despegar los pies del suelo. Douglas me acompañó, a las pocas horas de vernos por primera vez, a una reunión, que cambió mi vida, a la que me citó William J. Mitchell en su despacho del Lobby 7, bajo la gran cúpula del Rogers Building, y que me abrió una maravillosa puerta al MIT. Desde entonces todo ha sido distinto para mí. Este libro es una de las consecuencias. Por eso, mis agradecimientos a William y a su memoria nunca terminarán. Y tampoco la que debo, a partir de aquella cita, al profesor Morgenstern, con quien disfruté luego una extraordinaria, pionera y *entusiasmante* iniciativa que fundamos juntos, llamada *MITUPV Exchange*, que se mantuvo viva durante los siguientes doce años en el MIT.

Además de reiterar que agradezco, a cada uno de los participantes en los diálogos de este libro, el regalo de sus ideas y su tiempo, también debo inmenso agradecimiento a la paciencia, afabilidad, sutileza y excelente y pedagógico trabajo de mis dos editoras, Gita Devi Manaktala y Susan Buckley, y en su ayuda a la producción, a Deborah Cantor-Adams, en la edición de MIT Press.

Si esta edición del libro, en concreto, merece mi especial y emocionado agradecimiento, es al interés, constancia, empuje y tesón del profesor Antonio Ariño, vicerrector de Cultura de la Universitat de València, cuya persuasión ha sido decisiva para que se materializara este volumen, tal como el lector lo tiene en sus manos. Y también, por supuesto, quiero agradecer hacerlo posible a José Luís Canet entonces responsable del servicio de publicaciones (PUV), y Lluís Miró, gerente del mismo, así como la actual directora María Teresa Ferrer Valls, todos ellos de la Universitat de València, que asumieron con entusiasmo la idea y la tarea de publicar esta edición.

Aunque no hay espacio para mencionar a todas las personas que me han apoyado, debo citar explícitamente, al menos, a algunas. En primer lugar, agradezco sus enseñanzas, revisiones y consejos al sabio José Manuel Gironés, con quien, tras su reiterada y gran ayuda –y para responder a su buen humor–, tengo claro que, si estuviéramos en el siglo XIX y tuviera que batirme en duelo con él, yo nunca elegiría como arma la gramática. Agradezco la inestimable

ayuda de mi abogado y amigo Luis Sáenz Mariscal, capaz de conseguir lo más difícil e incluso lo que parece inalcanzable. Y el reiterado e intenso apoyo en el tiempo de Ana Gómez y María Jesús Plasencia. También debo mi sincero agradecimiento por sus diversos apoyos al exrector Justo Nieto, y al actual rector de la UPV Francisco Mora, así como al vicerrector de investigación José E. Capilla. De igual modo, mi agradecimiento a mis colegas Roberto Aparici y Sara Osuna, de la UNED. Agradezco al gran Tim O'Reilly el maravilloso prefacio que escribió para este libro. Y su entusiasta apoyo a Israel Ruiz, Pablo Jarillo-Herrero, Michail Bletsas, James Patten, Manuel Ramírez (Pre-Textos), Tom Burns Marañón, Richard Stallman, Mark McCreary, Rafael de Luis, Javier Benedicto, Ricardo Baeza-Yates, José Bernabéu, José María Yturralde, Juncal Iglesias, Avelino Corma, Justo Nieto, Montse Robles, Miguel Ángel Sánchez, Rodney Cullen, Rosa Martínez, Elisa Cuenca, George Mattingley, Inmaculada Monzó, Jaime Gómez y Ramón Diago. Y las diversas ayudas de Elena Benito, Natalia Navas, Miles Roddis, Scott Adams, Enrique Dans, Miquel Alberola, Javier Sampedro, Antonio Córdoba, Miquel Ramis, Mercedes Gómez-Ferrer, Juan Quemada; y las de mis compañeros de Innovadores Rafael Navarro, Eugenio Mallol, María Climent. Y su apoyo incondicional al sabio editor y despiadado corrector Juan Lagardera; y a Juan Reig, Antonio J. Araque, Pilar Roig y Fernando Brusola.

Mi agradecimiento también a quienes en diferentes momentos me alentaron a seguir adelante y a superar los variados obstáculos surgidos en el largo proceso de invención y construcción de este raro libro y su proyecto a contracorriente. A todos ellos, mil gracias.

Cómo surgió este libro

Adolfo Plasencia

*Y, ¿de qué sirve un libro – pensó Alicia–
que no tiene dibujos ni conversaciones?*¹

Esta primera de las muchas preguntas aparentemente ingenuas que Alicia plantea en *Las aventuras de Alicia en el país de las maravillas* es realmente una crítica velada del tipo de enseñanza que era común durante la época de Lewis Carroll. Los métodos a los que se oponía Carroll ignoraban el ejemplo de grandes maestros como Platón y Rousseau, que consideraban que el diálogo era esencial para una buena educación. Este libro toma muy en serio la fórmula deseada por Alicia como base para la educación y, en última instancia, para la ciencia. Reúne el diálogo –las conversaciones– y las imágenes para explorar las fronteras del pensamiento tal y como lo practican algunos de los principales investigadores que trabajan en vanguardia, hoy en día.

El panorama científico actual está lleno de conversaciones. La vanguardia del nuevo conocimiento es el producto de la colaboración que atraviesa las fronteras disciplinarias tradicionales y surge en lugares donde investigadores de diversos orígenes se reúnen y coinciden para resolver problemas. El conocimiento y sus aplicaciones prácticas emergen de un intenso diálogo entre campos y de la formación de nuevas intersecciones y solapamientos entre ellos.

Este libro ofrece un breve y subjetivo, aunque no exhaustivo, inventario de lo que estas colaboraciones están logrando. Las respuestas provienen de profesionales en áreas que van desde la física hasta las artes, la computación, la biología y otros campos. El libro trata de analizar algunas de las interacciones que están teniendo lugar entre las humanidades, ciencias y tecnologías hoy en día, y de transmitir y divulgar los puntos de vista todavía controvertidos y contradictorios que están apareciendo.

¿CÓMO SURGEN LAS IDEAS NUEVAS Y TRANSFORMADORAS?

Recientemente visité un observatorio astronómico para conocer la Nebulosa del Águila,² hogar de las singulares formaciones gaseosas intergalácticas

¹ Lewis Carroll: *Las aventuras de Alicia en el país de las maravillas* (reimpresión), Nueva York, Dover Thrift, 1993, p. 1.

² Wikipedia: «La Nebulosa del Águila» (catalogada como Messier 16 o M16, y como NGC 6611), en línea: https://en.wikipedia.org/wiki/Eagle_Nebula (última modificación: 11 de noviembre de 2015, a las 09:36 h).

que han sido llamadas Pilares de la Creación.³ Hoy, gracias a varias imágenes obtenidas por el telescopio espacial Hubble, combinado con los gigantescos radiotelescopios de ALMA en el desierto de Atacama (Chile), que muestran hasta las más leves nubes de gas, poseemos imágenes que hemos adoptado como nuestra iconografía general del universo. Con su actividad generadora de gas y polvo, la Nebulosa del Águila es hoy considerada un importante lugar de nacimiento de nuevas estrellas. Por ahora, no sabemos por qué las gigantescas nubes de la galaxia del Águila producen tantas estrellas nuevas, solo sabemos que lo hacen.

La creación de nuevas estrellas es una metáfora útil para usarla cuando se discute sobre cómo surgen las nuevas ideas. ¿De dónde vienen? ¿Cómo se crean y por qué? ¿Quién será capaz de sacarlas a la luz?

Bill Aulet, director gerente de The Martin Trust Center for MIT Entrepreneurship,⁴ me dijo que el emprendimiento no es un algoritmo y que, aparentemente, tampoco lo es el éxito. Con esto en mente, pregunté al informático Ricardo Baeza-Yates sobre los mecanismos del proceso creativo en su campo. Respondió que eso era imposible afirmarlo con certeza, ya que no podemos imaginar cómo algo nuevo e inimaginable surge de lo que ya sabemos. No existe un método o mecanismo único o automático para la producción de nuevos conocimientos.

Está claro que ciertas personas son capaces de innovar gracias a una visión amplia e integral que les permite conectar ideas y temas dispares. Este tipo de visión está lejos de ser universal; no todo el mundo la tiene. Ricardo Baeza-Yates cita el ejemplo de la creación artística: el artista hace algo nuevo aportando una visión singular a su medio y materializando esta visión a través de un arte y una habilidad excepcionales. Precisamente porque otros no lo vieron o ejecutaron de la misma forma antes.

Mi método en este libro ha sido establecer ciertas conexiones entre los diferentes diálogos presentados. Lo que los científicos con quienes conversé en este libro comparten es esta visión integral y el arte de la invención. Son alquimistas de nuevos conocimientos. Cada uno excepcional en su campo, y cada uno en circunstancias diferentes. Por esta razón no he intentado etiquetar, agrupar o dividir los textos de este libro de acuerdo con alguna clasificación canónica que captara todos los giros y matices, o incluso proporcionar

³ Wikipedia Commons: «Archivo: Pilares de la creación 2014 HST WFC3-UVIS full-res.jpg», en línea: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pillars_of_creation_2014_HST_WFC3-UVIS_full-res.jpg (última modificación: 5 de enero de 2015).

⁴ MIT: «The Martin Trust Center for MIT Entrepreneurship/about», en línea: <https://entrepreneurship.mit.edu/about> (última modificación: 4 de enero de 2016).

un marco en el que encajarían todos los diferentes *quadrivia*⁵ disciplinarios. Como dice Ricardo, la complejidad surge de la diversidad. Mi esperanza es que la diversidad heterodoxa de las visiones de estos creadores estimule y genere nuevos pensamientos y nuevas preguntas.

¿SOBRE QUÉ TRATA EL LIBRO?

Cada científico, creador o inventor que hace un avance significativo en su campo ha luchado para encontrar las preguntas correctas. Siguiendo a Platón, y su método de la *Synusia*,⁶ para quien las buenas preguntas siempre fueron mucho más valiosas que las respuestas, he intentado estructurar este libro alrededor de preguntas e ideas clave, una lista de las cuales aparece después del prólogo. Los pensadores que participan en los diálogos de este libro ofrecen observaciones específicas sobre estas preguntas. También se involucran en los marcos de pensamiento más amplios que nos informan sobre estos temas.

Pablo Picasso señaló que la técnica y la tecnología no están a la altura de las grandes cuestiones de la condición humana. El artista que subvirtió el arte del siglo XX reconoció que la comprensión tiene tanto sus límites como sus posibilidades. Este libro muestra de manera similar que los descubrimientos creativos, especialmente aquellos con un alto grado de subversión, no producen mayores certezas sino mayores incertidumbres. De ellas surgen más preguntas, y son precisamente esas preguntas las que impulsan una mayor investigación. Al igual que las estrellas jóvenes emergen de la Nebulosa del Águila, las ideas inesperadas arrojan nueva luz sobre el universo que creíamos conocer, subvirtiendo viejas creencias y revelando nuevas vías de investigación.

La manera de crear nuevos conocimientos está cambiando, especialmente en la ciencia, donde nada dura para siempre. Lo vemos simplemente observando lo que ocurre en el CERN (Organización Europea de Investigación Nuclear), el mayor laboratorio científico jamás construido por el hombre, cuya filosofía, visión y maquinaria humana y técnica describe José Bernabéu en este libro. Un artículo científico recientemente publicado ofrece los ha-

⁵ El *quadrivium* (plural: *quadrivia*). Miranda Lundy y Anthony Ashton: *Quadrivium: The Four Classical Liberal Arts of Number, Geometry, Music, & Cosmology* (prólogo de K. Chritslow), Nueva York, Wooden Books, 2010, iii-iv.

⁶ *Synusie* (o *Synousia*), acción conjunta con libre intercambio de conocimientos. El término fue acuñado por la Academia de Platón, que la describe en su Séptima Carta (324a y ss.). Esta forma de *Synusia* es una preforma de la ética hacker actual, en línea: <https://de.m.wikipedia.org/wiki/Synusie> (consultado: 6 de octubre de 2019).

llazgos del CERN sobre un nuevo tipo de partícula, el pentaquark.⁷ Dicho artículo acredita tener 724 autores. La nacionalidad de estos investigadores individuales es irrelevante. Lo que importa es que se reunieron en el gigantesco túnel del LCH (*Large Hadron Collider*)⁸ para colaborar en la mayor máquina jamás construida. Es seguro decir que su descubrimiento no se habría realizado sin una colaboración a esta escala. La imagen del científico solitario que trabaja solo en un laboratorio es cada vez más ajena a la realidad de los descubrimientos científicos. Hoy en día, la investigación se mueve rápidamente, es intelectualmente híbrida y científicamente promiscua, produciendo hallazgos que a menudo pueden ser compartidos instantáneamente.

El contenido de este libro puede ser leído en cualquier orden. Los investigadores participantes en él comparten muchas preocupaciones, preguntas y métodos de análisis. A pesar de la falta de ortodoxia disciplinar en sus trabajos en muchos casos y en la ciencia contemporánea en general, emergen temas comunes. Dejo al lector la tarea de extraer todas las implicaciones de estas superposiciones y conexiones. Mi objetivo es estimular el pensamiento y, si es posible, proporcionar alguna síntesis y reflexión a lo largo del camino.

¿CÓMO SE ORIGINÓ EL CONTENIDO Y LA DIVERSIDAD DE ESTE LIBRO?

Estos diálogos (y hay muchos otros que decidí, dolorosamente, no incluir en este volumen) han sido recopilados a lo largo de varios años como parte de mi vida profesional. Incluyen una serie de conversaciones con investigadores y profesores del MIT y otros lugares de vanguardia. También hay científicos, tecnólogos y humanistas con los que comparto país de origen. Yo nací y vivo en España. No pocos de estos investigadores han cambiado de nacionalidad como consecuencia del lugar donde viven y trabajan actualmente. El idioma y la nacionalidad no fueron los factores determinantes en mi decisión de incluirlos en el libro. Sus logros científicos o su éxito en las humanidades me proporcionaron la base para su inclusión.

Puedo decir que sí ha sido provechoso para el libro compartir el país de origen con algunos de estos participantes, cuyas carreras científicas sigo de cerca. Llevo más de dos décadas escribiendo artículos de ciencia, tecnología e

⁷ Colaboración del LHCb. R. Aaij et al. (723 autores adicionales no mostrados): Observation of J/ψ resonances consistent with pentaquark states in $\Lambda^0 b \rightarrow J/\psi K^- p$ decays, High Energy Physics - Experiment (hep-ex). arXiv: 1507.03414 [hep-ex]. DOI: 10.1103/PhysRevLett.115.072001 (consultado: 5 de enero de 2016).

⁸ CERN: *The Large Hadron Collider*, en línea: <http://home.web.cern.ch/topics/large-hadron-collider> (última modificación: 17 de diciembre de 2015).

innovación para revistas y periódicos en español y hace un tiempo dirigí y presenté varios años el programa de televisión *Tecnópolis TV*⁹ en la UPV RTV (canal hoy ya cerrado) sobre ciencia y tecnología que fue transmitido y visto en todo el mundo de habla hispana. Todo esto, más la asistencia o participación en conferencias internacionales de vanguardia, me dio acceso a tecnólogos y científicos de todo el mundo.

En el 2000, junto con mi colega Douglas Morgenstern, fui cofundador de una iniciativa de red social pionera llamada MITUPV Exchange^{10,11}, que funcionó durante doce años con sus contenidos en español. Participaron en él miles de estudiantes del MIT y otros tantos universitarios españoles y de varias universidades latinoamericanas. Ese proyecto me dio la oportunidad de hacer múltiples visitas regulares al MIT para colaborar en clases y reuniones, cosa que contribuyó en gran medida a incrementar mis conocimientos sobre el ecosistema del MIT, y que me proporcionó acceso a la esfera más amplia de la investigación y la ciencia universitaria en Cambridge, Massachusetts. He tenido la suerte de ver *in situ* entornos de investigación de alto nivel de Estados Unidos que incluyen a científicos y tecnólogos de todo el mundo a través de esta ventana excepcional. El conjunto de diálogos que componen este volumen ha sido seleccionado para proporcionar una ventana similar sobre las ideas, visiones y preguntas que muestran de cerca la ciencia avanzada actual. Tal selección no se puede considerar exhaustiva; en el mejor de los casos muestra un panorama muy dinámico en un momento determinado del tiempo.

Como con cualquier nacimiento, la génesis de estas páginas no fue simple ni fácil. A través de preguntas y respuestas los participantes y yo hemos intentado describir lo que el físico Bernabéu señala en su diálogo: una expansión desesperadamente lenta de nuestra isla de conocimiento en medio del vasto océano de nuestra ignorancia.

Este volumen ofrece un conjunto de diálogos reunidos a lo largo de un período de tiempo prolongado. El orden en que aparecen solo pretende proporcionar un marco general para leerlos y disfrutarlos. El libro comienza por «El mundo físico», seguido de secciones sobre «Información» e «Inteligencia» y concluye con un Epílogo como reflexión crítica sobre las conexiones entre ciencia, tecnología y humanidades vistas a través del arte. Antes de cada sec-

⁹ *Tecnópolis TV*, en línea: <https://blogtecnopolis.wordpress.com/> (consulta: 6 de Octubre de 2019).

¹⁰ MIT: *The MITUPV Exchange* (D. Morgenstern y A. Plasencia, dirs.), en línea: <http://web.mit.edu/hyperstudio/mitupv/> (consulta: 4 de enero de 2016).

¹¹ D. Morgenstern: «MITUPV: Language, Media and Distance in an Online Community». En Ian Lancashire (ed.): *Teaching Literature and Language Online*, p. cm. (Options for teaching (26, 2009, 190-201), New York, The Modern Language Association of America.

ción hago una breve introducción a los temas e ideas específicas que se incluyen e irán surgiendo en las páginas a continuación.

En el caso de esta edición en español, he incluido un Apéndice nuevo. Se compone de dos partes. La primera con un diálogo con Frank Wilczek, premio Nobel de física 2004; y en la segunda se incluyen: un intento de breve caracterización conceptual del Covid-19 (y sus congéneres), y 5 micro-diálogos, con cinco científicos, sobre el coronavirus Covil-19 y una reflexión final complementaria como conclusión del volumen.

¿QUÉ SE EXPLORA EN ESTE LIBRO?

Lograr la culminación final del volumen y el contenido de este libro ha sido, al tiempo, fácil y difícil. Fácil porque muchos de los participantes estarían contentos de tener su diálogo en cualquier sección. El trabajo que cada uno de ellos realiza trasciende las simples etiquetas, que se aplican habitualmente a estas secciones. Las preguntas que planteé fueron diseñadas para obtener conexiones entre sus diálogos, a pesar de la gran diversidad de los encuestados. El progreso de la ciencia es difícil, en parte, porque cada paso adelante de una comunidad de investigación aumenta el nivel de complejidad para todas las demás. Como he mencionado antes, la complejidad viene precisamente del aumento de la diversidad, lo que ayuda a explicar parte de la incertidumbre con la que vivimos hoy en día.

El progreso también requiere una visión asertiva y positiva del futuro que nos espera, como afirma Hiroshi Ishii en su diálogo. «Realmente disfruto y saboreo la divergencia o la diferencia de puntos de vista sobre el futuro. Para mí, es totalmente natural. También creo que es saludable que haya variedad en las diferentes versiones del futuro que la gente predice».

El libro busca desafiar a un número de mentes altamente calificadas de la ciencia, las humanidades, la tecnología y el arte, buscando intentar que opinen sobre temas de fuera de su campo particular. Como se puede ver, muchos participantes aceptaron el reto y cruzaron la línea saliendo fuera de los límites de su propia especialización disciplinar.

Por si usted, querido lector, empieza a sospechar que la era de la hiperespecialización en ciencias se está terminando, le ofrezco ahora una sabrosa anécdota de un congreso reciente. Tuve la suerte de escuchar, por una circunstancia casual, una conferencia excepcional de un científico de genética, cuyo nombre no mencionaré. Como no había previsto hablar con él ni preparado ninguna pregunta, me acerqué después y le pregunté: «¿Sobre qué tema científico puedo preguntarle?». Sin dudar, respondió: «Pregúntame sobre el cromosoma 22. He dedicado mi vida al cromosoma 22. Puedo hablar de ello durante meses. Pregúntame lo que quieras, pero no me preguntes de nada más».

La superespecialización permanece porque funciona inercialmente ya largo tiempo, a pesar de que muchos de nosotros insistamos en la necesidad de contemplar el conjunto del conocimiento humano como un todo. El avance de los nuevos conocimientos exige una sólida colaboración entre especialistas de diferentes ámbitos, a fin de avanzar hacia el horizonte del descubrimiento de una manera más informada y acelerada. Por otro lado, la complejidad que da origen a estos avances proviene de la creciente diversidad. Los nuevos y sofisticados instrumentos creados por la superespecialización nos permiten acceder a escenarios que no hemos explorado ni observado antes, ya sea el universo profundo y sus exoplanetas o la frontera del nanómetro. En el espacio entre lo más inmenso y lo más diminuto empezamos a vislumbrar que nuestra realidad y su naturaleza, son infinitamente más complejas de lo que jamás habíamos imaginado.

¿CÓMO ES ESTE LIBRO POR DENTRO?

En cierto sentido, este conjunto de textos es deudor de la visión del editor John Brockman y su libro *The Third Culture: Beyond the Scientific Revolution* (*La tercera cultura: Más allá de la revolución científica*). Al igual que aquel libro, este pretende dar un modesto paso más allá de *The Two Cultures*¹² (*Las dos culturas*) que, como es conocido, escribió C. P. Snow.

Casi cincuenta años después, nos enfrentamos a una persistente paradoja: en un mundo de acceso a la información sin precedentes, un mundo impulsado por la urgencia de lo nuevo, muchas de las cuestiones más decisivas permanecen, año tras año, intactas. Ellas se muestran ajenas a la obsolescencia que parece afectar a todo lo demás, como resultado de la digitalización y su Ley de Moore. La lista de preguntas que abre este libro sugiere que los muchos problemas y cuestiones importantes están lejos de ser resueltos. En lugar de volverse obsoletos, han llegado a parecer intemporales en medio de la aceleración de todo lo demás a nuestro alrededor. No todos estos problemas pueden ser tratados aquí, pero creo que las preguntas a las que se han enfrentado mis dialogantes en el libro son importantes y merecen dedicación y atención.

¿POR QUÉ EL MÉTODO DEL DIÁLOGO?

Casi todas las disciplinas científicas de vanguardia son hoy en día híbridas. Su hibridación ha acelerado el proceso de descubrimiento y creación de co-

¹² C. P. Snow: *The Two Cultures and the scientific revolution, The Rede Lecture 1959*, New York, Cambridge University Press, 1961.

nocimiento. Algunas de estas conquistas del conocimiento perdurarán como avances genuinos e intemporales. Si he podido documentar alguna de estas ideas intemporales, es porque he tenido la notable fortuna de conversar en persona con muchos científicos relevantes –aunque no con todos los que me hubiera gustado dialogar–. En este libro, he tratado de presentar algo así como un *menú* ideal –una rica combinación de ideas ‘fuertes’ interactuando entre sí–.

Uno de los objetivos de esta obra es provocar una «fertilización cruzada» entre diferentes líneas de pensamiento. Una estrategia del método consistió en utilizar partes de las respuestas de algunos diálogos como *insumos* para formular preguntas en otros diálogos. Otro era pedir a los dialogantes que dieran su opinión sobre cuestiones ajenas a su especialidad. El resultado es, creo, algo inusual: pensadores de un campo en particular han sido atraídos a reflexionar sobre el mismo concepto o idea poderosa desde perspectivas muy diferentes. En la medida en que esto puede hacerse de una manera mutuamente enriquecedora, el resultado es un panorama de ideas sobre cuestiones, por ejemplo, como la de ¿qué es la inteligencia? Y las respuestas a ella en el libro llegan desde la vanguardia de la neurociencia y neurofisiología, de la computación, la inteligencia artificial y las humanidades, y convergen para iluminar esta cuestión esencial desde múltiples ángulos.

Antes de terminar, me gustaría expresar mi gratitud a todos los que participaron y respondieron en los diálogos por dedicar tanto de su valioso tiempo e ideas a este libro. Mi inmensa y profunda gratitud a Tim O’Reilly, quien de alguna manera encontró tiempo, cuando no parecía posible conseguirlo en un año tan intenso para él, para escribir el prefacio de este libro. También mi gratitud a Gita Manaktala y Susan Buckley, mis editoras de The MIT Press, por su eficiente y entusiasta apoyo, sus sugerencias extremadamente útiles y su importantísima labor de guía *espiritual* para ayudarme a lograr mi objetivo, que no es otra cosa que intentar proporcionar una valiosa y fascinante experiencia para el lector.

Ideas poderosas tratadas en el libro

*Los ordenadores no sirven para nada.
Solo pueden darte respuestas.
Pablo Picasso*

El enfoque de los diálogos de este libro se centra en el siguiente principio: la realidad es mucho más compleja y menos segura que antes, con más posibilidades. Puede dar lugar a más preguntas que respuestas. En otras palabras, las mejores respuestas son las que generan más preguntas. Estas nuevas preguntas resultan ser más importantes que las respuestas.

Algunas ideas poderosas y sugerentes que se tratan en el libro —y quien reflexiona sobre ellas— son las siguientes:

- ¿Qué es la inteligencia?, ¿cómo funciona, dónde reside y cómo se mide?
Álvaro Pascual-Leone / José Hernández-Orallo / Ricardo Baeza-Yates / Javier Echeverría Ezponda
- ¿Cómo serán las máquinas verdaderamente inteligentes? ¿Habrán inteligencia no biológica (no basada en el *Homo sapiens*)?
Michail Bletsas / José Hernández-Orallo / Sara Seager Seager / Ricardo Baeza-Yates
- ¿Qué pasará con el calentamiento global?
Mario J. Molina / Avelino Corma / Tim O'Reilly
- ¿Hasta dónde debe llegar nuestro compromiso de economizar energía y minimizar su uso?
Avelino Corma / Mario J. Molina / Alejandro W. Rodríguez
- ¿La ley de Moore está llegando a su fin? ¿Son el grafeno y los materiales bidimensionales la respuesta?
Pablo Jarillo-Herrero / Ignacio Cirac / Anne Margulies
- ¿Cómo funciona realmente el cerebro? ¿Dónde está el yo?
Álvaro Pascual-Leone / José Hernández-Orallo / José M. Carmena
- ¿Dónde reside la conciencia y cómo emerge?
Álvaro Pascual-Leone / Javier Echeverría Ezponda / José M. Carmena Carmena / Rosalind Picard

- ¿Somos deterministas y estamos determinados?
¿Está determinado el comportamiento humano o tenemos libre albedrío?
Ignacio Cirac / Javier Echeverría Ezponda / Álvaro Pascual-Leone / Ricardo Baeza-Yates
- ¿Es el universo un holograma? ¿Qué pasa con la materia y la energía oscura?
José Bernabéu / Sara Seager / Javier Echeverría Ezponda
- ¿Qué genera el comportamiento en los humanos? ¿Y en los robots? Álvaro Pascual-Leone / Michail Bletsas / Rosalind W. Picard
- ¿Qué va a pasar con el aprendizaje y las universidades, y qué papel van a desempeñar en la sociedad a partir de ahora?
¿Cuál será el mejor modelo? ¿Qué valores tendrán?
¿Cómo debe ser una universidad eficiente hoy en día?
Hal Abelson / Israel Ruiz / Anne Margulies
- ¿Las tecnologías de la convergencia son también una cuestión de cultura?
Henry Jenkins
- ¿Cómo se debe integrar la tecnología en el aprendizaje?
Anne Margulies / Hal Abelson / Henry Jenkins
- ¿Vamos a convertirnos en biónicos? ¿Hasta qué punto?
José M. Carmena
- ¿La tecnología está modificando la percepción humana? ¿Cómo debería interactuar con nuestro sistema cognitivo?
Hiroshi Ishii / Michail Bletsas / Javier Echeverría Ezponda
- ¿Debemos usar la tecnología como nosotros queremos,
...o como nos dice el fabricante que se debería usar?
Richard Stallman / Ricardo Baeza-Yates
- ¿Nuestra relación con la tecnología está cambiando la «configuración» de nuestros sentidos?
Hiroshi Ishii / Michail Bletsas / Rosalind W. Picard
- ¿Se observa en la física de partículas la violación de la simetría bajo inversión temporal?
José Bernabéu

- ¿Puede la ética combinada con el conocimiento abierto crear una economía de las ideas sostenible?
John Perry Barlow / Michail Bletsas / Hal Abelson
- ¿Hemos llegado a ver la última partícula desconocida?
José Bernabéu
- ¿Por qué la naturaleza es cuántica pero nuestra lógica no la acepta?
¿La computación se convertirá en algo cuántico?
¿Veremos los ordenadores cuánticos como una parte normal de nuestras vidas?
Ignacio Cirac / Pablo Jarillo-Herrero / Alejandro W. Rodríguez
- ¿Por qué existe la masa? ¿Hay algo más allá del bosón de Higgs?
José Bernabéu
- ¿Es posible gobernar la incertidumbre y convivir con sus efectos estocásticos? ¿Podemos planificar lo imposible?
Javier Benedicto
- ¿Habrá alguna vez un «fin del trabajo»?
Paul Osterman
- ¿La web semántica va a hacer que todo lo que está implícito sea claramente explícito? ¿Cómo va a evolucionar la transmisión de conocimientos en Internet?
Bernardo Cuenca Grau / José Hernández-Orallo
- ¿Las tecnologías de búsqueda nos permiten ahora *recordar el futuro*?
Ricardo Baeza-Yates
- ¿Es importante mantener una internet libre y abierta?
Bebo White
- ¿Ha madurado el impacto de la web? ¿Será la web 3.0, la internet móvil o la web Semántica? ¿El internet de las cosas o el internet de todo? ¿Habrá una web definitiva?
Tim O'Reilly / Ricardo Baeza-Yates / Bebo White / Bernardo Cuenca Grau

- ¿Podría el universo de la web ser como gran «cerebro conectado», y convertirse finalmente en el «cemento» que nos lleve de vuelta a un período de comprensión del conocimiento humano como un todo?
Tim O'Reilly
- ¿Va a ser el cambio producido por la física cuántica mucho mayor que el producido por la teoría de la relatividad?
Ignacio Cirac / Pablo Jarillo-Herrero
- Cifrado y descifrado: ¿Debe considerarse como derecho humano el «derecho a encriptar» la comunicación personal?
David Casacuberta / Michail Bletsas / José Hernández-Orallo
- ¿Es la realidad mucho más *abierta* que las matemáticas que tratan de describirla?
Ignacio Cirac / Sara Seager / Pablo Jarillo-Herrero
- ¿Es la expresión «computación afectiva» un oxímoron?
Rosalind W. Picard
- ¿Cambiará la nanotecnología nuestros marcos operativos de una manera que aún no hemos imaginado?
Pablo Jarillo-Herrero
- ¿Seremos capaces de descubrir otra Tierra diferente de la nuestra durante nuestra vida?
Sara Seager
- ¿Belleza ≠ Verdad? ¿Podemos contradecir a John Keats?
José María Yturralde
- En arte, ¿podemos volver al pasado y cambiarlo?
José María Yturralde
- ¿Es posible pintar el vacío?
José María Yturralde

I. EL MUNDO FÍSICO

Introducción

Explorar lo que comúnmente llamábamos el mundo físico se ha transformado en algo distinto. Ni siquiera *explorar* significa lo que entendíamos antes. Las páginas inmediatas de este libro son testimonio de ello.

Albert Einstein, en su libro de 1954 titulado *Mis ideas y opiniones*,¹ se posiciona del lado del pensamiento puro de la matemática y la lógica, es decir, el de los conceptos e ideas abstractas, frente a la visión que se apoya en la materia prima que proporcionan las impresiones sensoriales, en la tarea de avanzar en el conocimiento sobre el mundo *objetivo* o mundo de las *cosas*. Afirma Einstein que no debe extrañarnos que Platón concediese mayor realidad a las *ideas* que a las cosas empíricamente experimentables. Él califica esta visión del conocimiento de posición *aristocrática*, que considera ilimitada frente a la que le hace de contrapunto, que es una ilusión más plebeya del realismo ingenuo en ciencia, en la que las cosas «son» lo que percibimos por nuestros sentidos. Obviamente, Einstein no es aquí del todo objetivo ya que estaba, en realidad, defendiéndose en un conocido debate muy vigente en el mundo científico de su época. Por entonces, la visión basada en la percepción sensorial directa llevaba las de ganar porque, en aquel momento, aún era evidente el dominio de la observación sensorial de la vida diaria de personas y animales. Era un punto de partida decisivo para todas las ciencias, específicamente para las ciencias naturales, que eran las que se ocupaban de encontrar y demostrar, por el método científico, las realidades del mundo físico —y, en última instancia, del inmenso universo—.

La mirada directa de ese *realismo ingenuo* a la que aludía Einstein también era compartida nada menos que por el filósofo y matemático Bertrand Russell, de quien cita unas frases de su libro *Una investigación sobre el sentido y la verdad*. Dice Russell:

Todos partimos del *realismo ingenuo*, es decir, la doctrina de que las cosas son lo que parecen. Creemos que la hierba es verde, las piedras duras y la nieve fría. Pero la física, nos asegura que el verdor de la hierba, la dureza de las piedras y la frialdad de la nieve no son el verdor, la dureza y la frialdad que conocemos por nuestra propia experiencia, sino algo muy distinto. El observador, cuando piensa que está observando una piedra, está observan-

¹ Albert Einstein: *Ideas and Opinions by Albert Einstein*, New York, Crown Publishers, 1954, p. 20.

do en realidad, si hemos de creer a la física, los efectos de la piedra sobre él. La ciencia parece, pues, en guerra consigo misma: cuanto más objetiva pretende ser, más hundida se ve en la subjetividad, en contra de sus deseos. El realismo ingenuo lleva a la física y la física, si es auténtica, muestra que el realismo ingenuo es falso. En consecuencia, el realismo ingenuo, si es verdadero, es falso. En consecuencia, es falso.²

Y tengamos en cuenta que no es un físico el que está hablando aquí, sino un filósofo que también es matemático. Como el resto de los seres humanos, los científicos no pueden escapar de la subjetividad. Hay, al respecto, casos muy expresivos de científicos que *mirando la misma cosa* veían cosas distintas. Unos veían cosas que otros no. Miraban lo mismo, pero llegaban a conclusiones diferentes. Los debates entre Wallace y Darwin, o el de Ramón y Cajal y Camillo Golgi, son buenos ejemplos de creadores científicos que, como mínimo, refutan la *unicidad* de la visión del realismo ingenuo en la ciencia. ¿Su conclusión? La observación directa es necesaria para el descubrimiento, pero hoy raramente es suficiente.

Ha pasado casi un siglo desde los primeros avances que Einstein impulsó en ciencia y los instrumentos actuales para la observación han cambiado enormemente. Desde el Hubble hasta el microscopio de fuerza atómica (AFM), entre otros instrumentos, nos permiten ahora una mirada al *mundo físico* muy distinta y amplia, comparada con la tradicional basada a nuestros sentidos. Tal vez sea una visión que viene en apoyo de un nuevo *realismo ingenuo* científico del siglo XXI basada en información que podemos recoger a distancia y simular su representación, a partir de datos digitales abstractos (ceros y unos), en lugar de lo que percibimos directamente con nuestros sentidos. Sin embargo, antes de llegar a esa conclusión tendríamos que aclarar si la observación que permiten esos sofisticados instrumentos es, en cualquier sentido, equivalente a la percepción directa y al *realismo* que Einstein y Russell describieron.

Marshall McLuhan afirmó que cualquier tecnología, incluso las más poderosas, son extensiones de nuestros sentidos o de la habilidad humana, extensiones propias de ser humano según esa visión. Si aceptamos el argumento de McLuhan, entonces el telescopio espacial Hubble y el AFM extienden la observación humana en lugar de cambiarla. Y siguiendo ese argumento, podríamos afirmar que la aprehensión directa del mundo es todavía posible en la ciencia contemporánea, al menos hasta cierto punto. En cambio, otras ideas que propuso McLuhan parece demasiado arriesgado considerarlas válidas. Expresiones tales como: «Somos lo que vemos» y «Formamos nuestras herra-

² Bertrand Russell: *An Inquiry into Meaning and Truth*, New York, W. W. Norton, 1940, pp. 14–15.

mientas y luego estas nos forman»,³ ciertamente tendrían que ser explicadas con más claridad para el mundo de hoy.

Lo que sí parece claro es que estamos lejos de la percepción directa cuando estamos frente a algo como el Hubble o el AFM. Atravesar inmensas distancias, en el caso del Hubble, o percibir átomos individuales, en el caso del AFM, son claramente formas fundamentalmente diferentes de *ver* y *conocer* de las que disponíamos antes.

Estos diálogos que vienen a continuación, en la sección «El mundo físico», abordan múltiples aspectos fascinantes de la realidad, incluyendo cómo funciona el bit cuántico; la cosmología primordial del universo; cómo son los exoplanetas, o las fluctuaciones cuánticas y térmicas relacionadas con el diseño del cuerpo negro; qué materiales son los más finos que han existido, existen o existirán; qué sabiduría talló las piedras de siglos pasados; cómo enfrentarnos al desafío del calentamiento global; por qué cuanto más lejos miramos en el universo vemos antes; y cuáles son las mejores maneras de combinar átomos y bits en un todo.

En resumen, lo que el lector ahora está a punto de leer es un conjunto de conversaciones desbordantes de ideas. Espero que su lectura le tienta a reflexionar sobre si el realismo ingenuo de los sentidos que Einstein y Russell criticaron debe ser declarado oficialmente obsoleto o si, como afirma McLuhan, sigue siendo válido.

³ Marshall McLuhan: *Understanding Media: The Extensions of Man*, Cambridge, MA: MIT Press, 1994, p. 21 (primera edición 1964).