

SOMETHING DEEPLY HIDDEN QUANTUM WORLDS AND THE EMERGENCE OF SPACETIME

Sean Carroll
Dutton, 2019
368 págs.

¿Mecánica cuántica o misticismo cuántico?

*Una defensa enérgica pero cuestionable de
la interpretación de los muchos mundos*

De entre todas las teorías científicas, la mecánica cuántica ha corrido una suerte peculiar. Teniendo a su favor las comprobaciones experimentales más espectaculares de la historia, aglutina todavía un número significativo de descontentos. Una razón para ello es, sin duda, que sus consecuencias parecen no adaptarse a nuestro «sentido común». Pero también hay una causa histórica. Entre la primera generación de críticos se encontraron algunos grandes nombres de la física del siglo xx; entre ellos, varios de los creadores de la teoría. Especial influencia tuvieron las críticas de Erwin Schrödinger, con su célebre gato, y las de Albert Einstein, cuyo escepticismo condujo a la identificación del más cuántico de todos los fenómenos físicos: el entrelazamiento.

Mientras que en el caso de otras teorías revolucionarias los éxitos y el tiempo acaban por acallar a los críticos, con la mecánica cuántica estos persisten tras casi un siglo desde su formulación. El núcleo del «problema» está claramente en que, a diferencia de la mecánica clásica, es imposible predecir los resultados de una medida cuántica con total certeza, ni siquiera cuando nuestro conocimiento del sistema es exhaustivo. Desde un punto de vista histórico, es precisamente esta naturaleza no determinista (verificada experimentalmente de forma repetida) la que hace de la mecánica cuántica la teoría que inaugura la física del siglo xx. Por contraste, la relatividad especial y general, ambas nacidas también a principios del pasado siglo, pueden considerarse en más de un sentido como la culminación de la física determinista del siglo xix.

Los intentos de «purgar» la mecánica cuántica de su carácter intrínsecamente probabilístico condujeron a la formulación de las teorías de variables ocultas. El fracaso experimental de estas ha desplazado la atención a la llamada interpretación de muchos mundos (IMM). Su origen se remonta al trabajo de Hugh Everett en los años cincuenta, aunque su versión actual debe mucho a la formulación de otros físicos posteriores. La IMM elimina el carácter estocástico de los fenómenos cuánticos de un plumazo: la evolución de la función de onda es siempre determinista y, como consecuencia de una medida, todos los posibles resultados de esta se realizan, aunque en diferentes «mundos» completamente desconectados entre sí. Los conocedores del universo narrativo de Jorge Luis Borges habrán sin duda notado ya las resonancias con su relato de 1944 *El jardín de caminos que se bifurcan*.

La IMM ha encontrado especial eco en la divulgación científica contemporánea. Recordemos títulos como *La realidad oculta*, del físico teórico Brian Greene (Crítica, 2016), o *Nuestro universo matemático* (Antoni Bosch, 2015), del también físico Max Tegmark. La incorporación más reciente a esta lista es *Something deeply hidden*, el último libro de Sean Carroll, cosmólogo y físico teórico del Instituto de Tecnología de California. En él, el autor se propone convencer al lector de que la IMM no solo es la descripción más pura del mundo cuántico, sino también la más económica desde el punto de vista explicativo.

Difícil tarea, sin duda, defender la economía de un formalismo que asume la creación de un número ingente de mundos

inobservables cada vez que se produce una medida cuántica. Carroll comienza con una presentación de la mecánica cuántica que, bajo el nombre de «interpretación de Copenhague», resalta el llamado postulado del colapso de la función de onda como una adición artificial. Este establece que, al efectuar una medición, la función de onda «se proyecta» sobre el estado asociado al resultado, cuya probabilidad queda dada por la regla de Born.

A esto Carroll contrapone lo que denomina «la mecánica cuántica austera», la cual, renunciando al colapso de la función de onda, simplemente contempla su evolución temporal mediante la ecuación de Schrödinger. Al realizar una medida, la función de onda se ramifica. Y como consecuencia de la interacción entre el sistema y el medio, esta acabará describiendo la superposición de tantos «mundos» (con sus correspondientes observadores) como resultados posibles implique la medida.

Puede que esta sea una visión muy austera de los procesos cuánticos; sin embargo, no explica el aspecto más importante del que debe dar cuenta toda teoría física: los resultados de los experimentos. Y es precisamente al intentar hacer esto que la IMM pierde todo atisbo de austeridad. Recuperar la regla de Born no solamente requiere cambiar el punto de vista sobre lo que significa la probabilidad. El verdadero problema radica en encontrar una manera de calcular la probabilidad de que el observador se encuentre en una u otra rama de la función de onda. Para conseguirlo, es necesario introducir criterios adicionales, como los «principios de racionalidad» que deben aplicar los observadores para localizarse en el espacio de funciones de onda.

Una de las críticas básicas del libro a la interpretación de Copenhague es que esta debe asumir la existencia de observadores clásicos, separados del sistema cuántico bajo estudio. Pero ¿es esto realmente un problema? La mecánica cuántica, como cualquier otra teoría física, es la forma que tenemos de explicar el mundo que observamos y, por tanto, su misión es poner orden en nuestras percepciones, ya sean estas directas o mediadas por instrumentos. De hecho, este es el objetivo último de toda descripción científica del universo.

Carroll nos recuerda que en el universo primitivo no había observadores que realizaran experimentos, pero que la física debe ser capaz de decir algo sobre

qué ocurrió entonces. Así es. Pero lo que no parece contemplar este argumento es que nuestras teorías del universo primitivo intentan explicar qué ocurrió en el pasado remoto a partir de lo que observamos en el presente. Es decir: siempre se trata, en último término, de explicar observaciones.

El postulado del colapso no puede verse como un elemento extraño a la mecánica cuántica, sino como una regla básica que hace de ella una teoría científica operativa. Es por esta razón por la que la IMM se ve forzada a recuperar la regla de Born, empleando para ello una artificialidad extrema. Todo esto con el resultado final de que, a efectos prácticos, podemos ignorar toda la plétora de mundos paralelos y usar el formalismo ordinario de la mecánica cuántica. La impresión que se obtiene es, por tanto, que los muchos mundos acaban reduciéndose a un mero recurso dialéctico.

A pesar de todo lo anterior, el autor insiste en la *realidad* de todos los mundos en los que la función de onda se ramifica. La IMM parte de un presupuesto que, aunque Carroll denomine ontológico, podría también calificarse de metafísico: que la función de onda describe la rea-

lidad, y no simplemente nuestro conocimiento exhaustivo de ella. Se dota, por tanto, al espacio de todas las funciones de onda de realidad física, y se asume que los observadores son «vectores» de ese espacio. La interpretación de las diferentes ramas de la función de onda como mundos separados está basada, de hecho, en este compromiso metafísico.

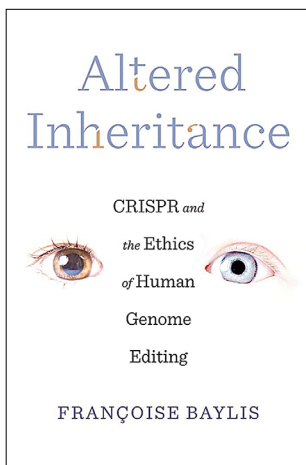
La analogía usada por Carroll para ilustrar el significado de esos diferentes mundos es ciertamente reveladora: es, nos dice, como considerar un mundo habitado por los espíritus de los difuntos, en el que estos pueden interactuar entre sí pero no con nosotros. A la vista de lo anterior, la respuesta que la IMM ofrece a los «problemas interpretativos» de la mecánica cuántica recuerda a la «solución» de problemas clásicos como la teodicea, invocando la existencia de realidades transcendentales.

Además del arsenal de argumentos presentados a favor de la IMM, Carroll se sirve también de un viejo truco dialéctico. Su discusión comienza intentando convencer al lector de la inviabilidad de la interpretación de Copenhague. Después, dando este punto por demostrado, la IMM se contrasta positivamente con

alternativas más débiles o incluso marginales, como la mecánica de Bohm y las teorías de colapso espontáneo. Pero, muy a pesar de la argumentación del autor, la cuestión central de si los muchos mundos pueden o deben sustituir a la mecánica cuántica como una teoría científica operativa permanece sin demostrar.

Pese a estas críticas al núcleo argumental del libro, *Something deeply hidden* no es una obra carente de mérito. Carroll hace un gran esfuerzo divulgativo y el resultado es notable. Su discusión de la historia de la mecánica cuántica resulta muy recomendable, y algunos capítulos ofrecen magníficas presentaciones de temas de investigación punteros. Es el caso de las secciones finales del libro, dedicadas a las aplicaciones de la IMM a la teoría cuántica de campos y la gravedad cuántica, que sirven de excusa para discutir aspectos de la física de los agujeros negros y la noción de holografía. En resumen, se trata de una lectura entretenida e informativa, si bien exige al lector mantener su capacidad crítica en permanente alerta.

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



**ALTERED INHERITANCE
CRISPR AND THE ETHICS OF HUMAN GENOME
EDITING**

Françoise Baylis
Harvard University Press, 2019
304 págs.

**Ética de la edición
genómica**

*Razones a favor y en contra
de una moratoria*

Estamos inmersos en una revolución de consecuencias imprevisibles para el futuro de nuestra especie. El ser humano tiene ya en sus manos el poder de cambiar su propia constitución y naturaleza mediante la reconfiguración de su genoma, el patrimonio genético que lo individualiza e identifica. Con la invención de las técnicas de manipulación genética se ha

abierto el camino hacia una investigación y aplicaciones tan esperanzadoras como temibles. De las múltiples cuestiones éticas que suscitan los nuevos métodos de edición genética nos habla en *Altered inheritance* Françoise Baylis, experta en bioética de la Universidad Dalhousie y asesora de la Organización Mundial de la Salud en cuestiones de edición del genoma humano.

En un par de metros de ADN, plegado con asombrosa economía de espacio, porta la célula humana su manual de instrucciones. Las instrucciones contenidas en el ADN se transcriben en otro lenguaje, el del ARN, como paso intermedio para dirigir el proceso de síntesis de proteínas. A la secuencia de ADN que codifica una proteína la llamamos gen, la unidad de la herencia. Considerados en conjunto, los genes conforman el genoma de un organismo.

Los genomas de los eucariotas constan de miles de millones de bases de ADN. Una mutación o alteración de esas secuencias puede comportar la pérdida de la función o la formación de una proteína anómala y convertirse en trastorno hereditario. Para remediar tales errores recurrimos a la terapia génica, que implica manipular el material genético. A las modificaciones que abarcan las tareas de rastrear, cortar, sustituir o engarzar genes se le ha puesto el nombre de «edición» porque simula la labor del revisor de un escrito. La edición genómica opera cambios en el ADN de nuestras células somáticas o de las germinales. Las primeras son las que componen

los tejidos del cuerpo, mientras que las segundas corresponden a los gametos y sus precursores. Los cambios en las células somáticas no pasan a las generaciones siguientes, pero los inducidos en la línea germinal sí [véase «Modificar nuestra herencia», por Stephen S. Hall; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, noviembre de 2016].

En menos de cien años hemos pasado de la idea de manipular la línea germinal humana, propuesta por Herman Joseph Muller en los años veinte de la centuria pasada, al nacimiento de las dos primeras niñas con modificaciones genéticas introducidas mediante la técnica CRISPR. A finales de noviembre de 2018, el científico He Jiankui provocó un auténtico terremoto con el anuncio de que dos gemelas, conocidas por los pseudónimos Lulu y Nana, habían sido sometidas en su fase embrionaria a un proceso de ingeniería genética para inocularles resistencia al virus del sida, portado por su progenitor masculino. El rechazo fue unánime.

La edición genómica dio sus primeros pasos clínicos con sistemas *ex vivo* y, más recientemente, recurriendo a adenovirus asociados. Pero, de todas las técnicas terapéuticas, el sistema CRISPR-Cas9 ha revolucionado los métodos moleculares del tratamiento de las enfermedades [véase «La aplicación de CRISPR en humanos», por Marc Güell; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, enero de 2020]. El descubrimiento de la técnica CRISPR-Cas9 como método de edición genómica ha aportado una vía bastante sencilla de modificación del genoma en sitios específicos, merced a su mecanismo único de enlace con el ADN mediado por ARN.

Por tratarse de la modificación de la constitución humana, la ética ha sido siempre un referente para la ingeniería genética. Sobre la forma en que debe intervenir en el quehacer científico, los investigadores discrepan [véase «La cumbre sobre edición genética en humanos concluye con opiniones divergentes», por Sara Reardon; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, febrero de 2016]. Baylis es partidaria de un acuerdo lo más amplio posible en torno a las normas que deben regir el comportamiento del científico. Puede caerse, sin embargo, en un asambleísmo donde el número de votos valga más que la solidez del razonamiento. Dos son las principales doctrinas sobre este particular: la utilitarista, que prima las consecuencias que se derivan de la investigación, y la ética objetiva, que propone una serie de principios y normas de obligado cumplimiento

basada en la concepción personal y única del ser humano. Los hay incluso radicales, que postulan que la ética no debe entrar en el laboratorio y solo debe importar el criterio del científico. La manipulación genética de las células somáticas no suele crear problemas éticos, pero la cuestión se torna espinosa al abordar los experimentos en la línea germinal. A propósito de este tipo de modificaciones, en congresos y en declaraciones personales se ha abogado por una moratoria; solicitud que otros rechazan, urgidos, dicen, por las necesidades de los pacientes.

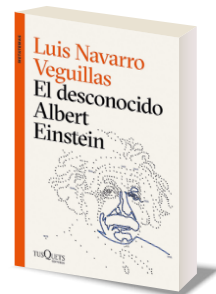
Pese a ello, la investigación experimental no se ha detenido. En 2015, Kathy Niakan, del Instituto Francis Crick de Londres, solicitó el permiso a la Autoridad sobre Fecundación y Embriología Humanas para modificar genéticamente embriones humanos. En diciembre de 2016 se aprobó en el Reino Unido el uso de la donación de mitocondrias para eliminar enfermedades a través del ADN mitocondrial. Y unos meses antes, en septiembre, se había informado de que un niño concebido mediante transferencia genómica nuclear (conocida también como «fecundación in vitro de tres progenitores») había nacido en México en abril. También se dijo por entonces que había nacido por esa técnica otro niño en China, y en 2017 se produjo otro nacimiento similar en la Clínica Nadia de Kiev. Desde entonces se han registrado varios casos más en Ucrania, y en enero de 2019 se anunció un primer embarazo resultante de una colaboración greco-hispana.

En la consideración ética de la investigación sobre la línea germinal, para determinados expertos, Baylis entre ellos, importa más llegar a un acuerdo lo más amplio posible que las razones que puedan esgrimirse. Reduciendo un tanto la división, podría decirse que para algunos importa más la cantidad que la calidad, aunque suelen aceptarse como orientativos determinados criterios: promoción del bienestar, transparencia, cuidados debidos, ciencia responsable, respeto a las personas, juego limpio y cooperación internacional. Al tratarse a menudo de manipulación embrionaria, el debate sobre la naturaleza humana del cigoto y las primeras fases de su desarrollo, incluso hasta el nacimiento, suele enfrentarse al problema de la persona, cuestión que cae más en el terreno de la filosofía y de la ética que en el genuinamente científico.

—Luis Alonso

NOVEDADES

Una selección de los editores de Investigación y Ciencia



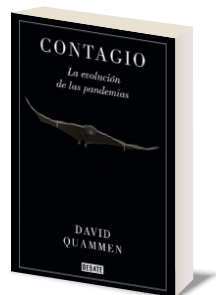
EL DESCONOCIDO ALBERT EINSTEIN

Luis Navarro Veguillas
Tusquets, 2020
ISBN: 978-84-9066-783-5
560 págs. (24 €)



MEMORIAS DE UN CLIMA CAMBIANTE ENTENDER EL PASADO PARA CORREGIR EL FUTURO. UNA VISIÓN CIENTÍFICA SOBRE LA EMERGENCIA CLIMÁTICA

Javier Martín-Chivelet
Shackleton Books, 2020
ISBN: 978-84-17822-91-0
176 págs. (16,90 €)



CONTAGIO LA EVOLUCIÓN DE LAS PANDEMIAS

David Quammen
Debate, 2020
ISBN: 9788418006760
624 págs. (23,90 €)