

El tiempo de la física

El ciclo **Narrativas de lo Real (Lectura Mundi, UNSAM)** tuvo como invitado especial al físico teórico italiano Carlo Rovelli, autor de *Siete breves lecciones de física*, traducido ya a 35 idiomas y convertido en best seller. Ondas gravitacionales, agujeros negros, gravedad cuántica de bucles fueron las estrellas de las jornadas. Es el “tiempo de la física”, entonces, en un doble sentido: como actualidad de la disciplina y como puesta en cuestión de su concepto.

Narrar el tiempo

Por Bruno Arpaia

Ah, nosotros los novelistas. No nos cansamos de repetir que, con nuestros libros, perseguimos constantemente la realidad, que nos esforzamos en representarla de forma siempre más compleja y, luego, de cara a la mecánica cuántica que socava todo nuestro sentido común, aun el vinculado a aquella realidad, nos quedamos boquiabiertos, sin nada que decir. Ah, nosotros los narradores. Sabemos que cada relato es un tejido de espacio y tiempo, sabemos que narrar historias significa ocuparse del tiempo, del hecho de que, dentro de aquel tiempo, lamentablemente nuestra vida tiene fin. En el fondo, relatar es un modo de oponerse a la muerte. Si fuésemos inmortales, tal vez no narraríamos historias. Y, sin embargo, raras veces nos preguntamos de qué está hecho en realidad aquel tiempo que manipulamos narrativamente con tanta habilidad.

Permanecemos anclados a una visión newtoniana, a un tiempo “absoluto” que transcurre de manera uniforme dentro de nuestras vidas; queriéndolo o sin querer, lo pensa-

mos como un telón de fondo inmutable sobre el cual entra en escena la representación del universo. Quedan así afuera de nuestro “horizonte de los eventos” muchas teorías físicas que, desde Einstein en adelante, nos han explicado que aquel escenario cambia, se modifica, tiene una historia. Permanecen casi desconocidas las teorías que hacen que dudemos de su misma existencia: el tiempo, en aquella hipótesis, no sería un elemento fundamental de la naturaleza, sino una creación de nuestro cerebro; sería el modo en el cual percibimos, desde nuestra escala de grandeza, algo más fundamental y completamente distinto a partir del simple, estúpido, uniforme “transcurrir del tiempo”.

Sin embargo, sería fundamental que este tiempo inconcebible deviniera parte del bagaje de cada narrador. Porque sólo a través del arte podemos hacer alguna experiencia de él, entrever su estructura y sus secretos, ya que en la vida de todos los días el acceso a aquella dimensión nos estará siempre vedado. Y gracias al relato, al arte de magia de la narración, aquel tiempo más fundamental, tan diferente de nuestra percepción común, podría, quizás, ayudarnos a descubrir que la línea ininterrumpida que va del pasado al futuro, pasando fugazmente por el presente (que es la forma común en la que nosotros, occidentales, percibimos el tiempo), podría ser tan sólo una ilusión.

Probablemente así escaparíamos también de la dictadura del “tiempo real”, de este eterno presente que, durante el último siglo, nos ha privado de golpe ya sea del pasado, ya sea del futuro. ¿Difícil? Sí, claro. Pero ¿la tarea de la narración no ha sido siempre volver narrable aquello que parecía no serlo?

Fin.

Traducción de Micaela Cuesta.

Bruno Arpaia es escritor, periodista y traductor experto en literatura española y latinoamericana. Se licenció en Ciencias Políticas en la Universidad de Nápoles y se especializó en historia americana. Se desempeñó como periodista en *Il Mattino* de Nápoles y en *La Repubblica*. Es autor, entre otros, del ensayo *Per una sinistra reazionaria* (2007) y de las novelas *I forestieri* (1990), *Tiempo perdido* (1997), *La última frontera* (2001), *Il passato davanti a noi* (2006) y *L'energia del vuoto* (2011), finalista del Premio Strega y ganadora del Premio Merck Serono. Su última novela es *Qualcosa, là fuori*. Coordina (junto con Mario Greco) el ciclo **Narrativas de lo Real** del programa **Lectura Mundi** (UNSAM).

¿Y si el tiempo no existiera?*

Por Carlo Rovelli

El aumento del conocimiento científico pone a menudo en discusión las evidencias que nos parecen las más obvias. En el pasado nos ha demostrado que el cielo no se encuentra tan sólo sobre nuestra cabeza sino también bajo nuestros pies, y que la sólida Tierra sobre la que caminamos no está quieta, sino que gira velozmente en el espacio. A medida que aprendemos más sobre el mundo, nos damos cuenta de que las ideas más arraigadas son muchas veces ilusiones debidas a los límites de nuestra experiencia. En el novecientos, esta evolución de nuestra imagen del mundo afectó nuestra intuición del tiempo. Aprendimos que este no transcurre a la misma velocidad para todos: dos compañeros de escuela continúan siendo contemporáneos sólo si permanecen uno junto al otro; de otra manera, cuando se reencuentren ya no tendrán la misma edad. El tiempo, por ejemplo, pasa más rápidamente en la montaña que en la llanura.

Si ninguna pareja de compañeros de escuela ha todavía realizado la experiencia de reencontrarse con edades distintas, es sólo porque las diferencias de envejecimiento son pequeñas. Pero hoy tenemos relojes precisos con los cuales esta variabilidad en el paso del tiempo se mide fácilmente. En virtud de esta precisión, mientras en Génova, sobre el mar, pasa una hora, en L'Aquila, setecientos metros más arriba, pasa una hora y una millonésima de segundo. Poco como para tener efecto sobre nuestra vida cotidiana, pero suficiente como para mostrarnos que la concepción de un tiempo que transcurre uniformemente, igual para todos, es sólo una aproximación debida a la imprecisión de nuestras percepciones.

Hasta aquí nos encontramos en el ámbito de la física bien conocida: la dependencia del tiempo respecto a la altitud, por ejemplo, es un efecto ya comprendido, descrito por la teoría de la relatividad general, la más bella de las teorías de Einstein y la que nos provee el mejor marco conceptual, en la actualidad, para pensar el espacio y el tiempo. El efecto ha sido medido muchas veces y debe ser tenido en cuenta en las aplicaciones tecnológicas: los sistemas de GPS no funcionarían si no tuviesen en cuenta que los relojes de los satélites van más rápido que aquellos de la Tierra. Estamos, luego, en el ámbito de una ciencia quizás poco conocida aún por un amplio público, pero desde hace tiempo evidente para los especialistas.

Pero la sed de conocer no se detiene, la investigación continúa. Si hay algo que sabemos con certeza es que las cosas que aún desconocemos son muchas. Existen problemas abiertos en nuestro conocimiento del mundo físico elemental que nos indican que hay todavía mucho de esencial que se nos escapa, y nuestras ideas reclaman aún una revisión sustancial. Uno de los problemas abiertos de mayor envergadura es el de la gravedad cuántica, que se origina en el hecho de que la teoría de la relatividad general, a la que me he referido antes, descuida el otro descubrimiento fundamental de la física del novecientos: la naturaleza cuántica, esto es, granular y probabilística, de la materia y de la radiación. Lo que todavía no comprendemos, y sobre lo cual se está enfocando una parte importante de la investigación teórica actual, es la diminuta estructura cuántica, granular, probabilística, que ha de tener el espacio mismo.

Carlo Rovelli es un físico italiano que se especializa en física teórica. Se graduó en la Universidad de Bolonia (1981) y obtuvo su doctorado en la Universidad de Padua (1986). Es profesor en el Centro de Física Teórica de la Universidad del Mediterráneo Aix-Marsella II y en los Departamentos de Física y de Historia y Filosofía de la Ciencia de la Universidad de Pittsburgh. Es reconocido mundialmente por sus aportes al desarrollo de la teoría de la gravedad cuántica de bucles, de la que es uno de los fundadores (junto con Abhay Ashtekar). Es autor de numerosos artículos y libros científicos, además de ser un gran divulgador de la ciencia. Entre sus últimos libros se encuentra *Siete breves lecciones de física* (2014, edición en español: 2016), convertido ya en best seller.

En el campo de esta investigación, se asoma una idea a primera vista vertiginosa: quizás el tiempo “no existe”. La idea apareció por primera vez en 1967, en un artículo del físico norteamericano Bryce DeWitt, fallecido hace poco. Combinando relatividad general y teoría cuántica, DeWitt consigue elaborar el esbozo de una ecuación capaz de describir la propiedad cuántica del espacio, pero en la ecuación desaparece por completo la variable “t”, el tiempo. La matemática pareciera indicar que, para describir el mundo a nivel elemental, no debemos usar la noción de tiempo. Pero ¿qué quiere decir esto? Hasta hoy todas nuestras ecuaciones describen el despliegue de los fenómenos en el tiempo.

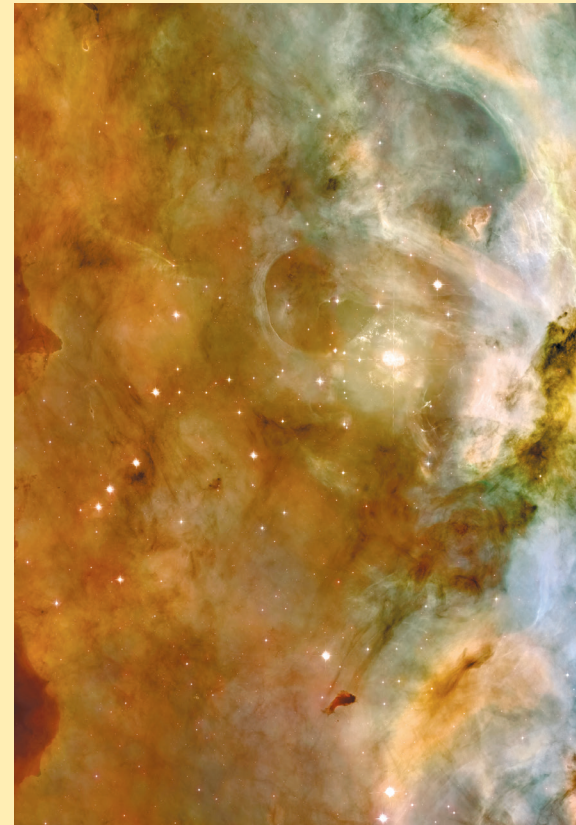
Demostremos un paso atrás: ¿qué entendemos en física cuando hablamos del tiempo? Para saber la hora, es decir, medir el tiempo, podemos observar la posición del Sol en el cielo. Para tener más precisión, miramos un reloj. La posición de las agujas de mi reloj indica el tiempo que ha pasado. Pero ¿cómo hago para saber si mi reloj mide verdaderamente el tiempo “real”? Bueno, puedo controlarlo con la hora exacta emitida por un instituto oficial, donde hay un reloj muy preciso. Pero ¿cómo hago para saber si aquel reloj mide el tiempo “real”? Lo confronto con otro reloj que...

Está claro que hay un problema. Todo aquello que observamos son agujas de relojes, objetos que se mueven, la posición del Sol en el cielo... No vemos nunca el “tiempo real”. Vemos sólo objetos que se mueven.

Newton, el padre de la física, comprendió todo esto con gran claridad al escribir que la existencia de una variable “tiempo” es sólo una hipótesis, que pone orden en nuestras observaciones sobre el movimiento de los objetos. Observamos dónde se encuentra un objeto cuando otro está en cierto lugar (“cuando las agujas de mi reloj están verticales, el Sol está al sur”) y por convención imaginamos una variable física “t” que ordena todo esto (“al tiempo $t=12:00$, las agujas de mi reloj están verticales y el Sol está al sur”), pero aquello que observamos son sólo posiciones de objetos, no el tiempo en sí. Tomando en serio esta observación, es claro que, en principio, podemos evitar hablar de tiempo y hablar siempre y sólo de la posición del Sol en el cielo o de la posición de las agujas de cada reloj. Incómodo, pero posible.

Aquello que DeWitt descubrió implícitamente al escribir su ecuación sin el tiempo es que este proceder –describir el mundo ofreciendo la evolución de las variables una respecto a otra, en lugar de respecto al tiempo– se torna necesari-

o en el microcosmos. La cuestión intuitiva es que la naturaleza cuántica de las variables lleva a todas a flotar (oscilar) de manera independiente, motivo por el cual no podemos ya imaginar a todas danzando al ritmo único de una sola variable tiempo. La hipótesis de que existe un tiempo al ritmo del cual danza el universo no es una hipótesis correcta. A pequeña escala, el universo es un conjunto de variables que bailan cada una con la cercana, sin ningún tiempo que ordene el baile. ¿Fácil de entender? No. La concepción habitual del tiempo está arraigada en nuestra experiencia cotidiana y articulada en nuestra estructura conceptual. Pero difícil no quiere decir imposible: la dificultad de concebir un mundo sin tiempo no es distinta a la dificultad que tuvieron nuestros abuelos en imaginar la Tierra esférica y a sus habitantes, en las antípodas, con la cabeza para abajo: la dificultad está en aceptar que nuestra experiencia del mundo, donde alto y bajo son lo mismo para todos y el tiempo transcurre uniforme, es limitada. Tenía razón Kant cuando observaba que tiempo y espacio, más que existir en la naturaleza, son formas de nuestro modo de conocerla; no obstante, había probablemente errado al concluir que tales formas eran inmutables: las formas mismas de nuestro conocer crecen con el conocimiento.



* Artículo periodístico cedido por el autor para esta edición y publicado por primera vez en *Il Sole*, 24 Ore, 15 de enero de 2012. Carlo Rovelli fue invitado del programa **Lectura Mundi** y reconocido con el título *honoris causa* por la UNSAM. Traducción de Micaela Cuesta.

Ciencia y opinión pública

Por Ana María Vara

Es casi un lugar común referirse a la distancia entre la ciencia –o las ciencias– y el gran público. También desde la teoría: no deja de deplorarse la brecha cognitiva entre expertos y legos, multiplicada al infinito por la especialización de las disciplinas. Los más sofisticados se refieren a las “dos culturas” sobre las que alguna vez escribió el británico C. P. Snow, visión que lamenta que una persona que se dice culta no pueda confesar su ignorancia sobre Shakespeare, pero sí sobre las leyes de la termodinámica.

Una mirada a contrapelo, sin embargo, nos permitiría reparar en algunas tendencias históricas que cuestionan esa desvalorización del gran público.

Hubo momentos, por ejemplo, en que los expertos apelaron ostensiblemente a la inteligencia de los legos para demostrar la validez de sus teorías. El ejemplo fundamental es Galileo y su *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* [Diálogos sobre los dos máximos sistemas del mundo], publicado en 1632 en *volgare*, en lugar del latín de rigor que dominaría en universidades y academias hasta bien entrado el siglo XVIII. Escrito como una serie de conversaciones entre tres personajes ficticios, presenta el universo ptolemaico, con la Tierra en el centro, en boca del sabio Simplicio, y el copernicano, con el Sol en el centro, en boca del sabio Salviati. El tercero en cuestión, Sagredo, es un lego inteligente, que va

asistir a las exposiciones sin tener una posición tomada previamente. Él es el personaje clave, porque es el retrato, dentro de la obra, de su destinatario: el *Dialogo* no está escrito sólo para expertos.

No fue un gesto aislado. La Academia del Cimento, en Florencia, formada por los herederos intelectuales de Galileo y financiada por los Medici, publicó en 1667 los *Saggi di naturali esperienze fatte nell' Accademia del Cimento* [Ensayos sobre los experimentos naturales realizados en la Academia del Cimento], con instrucciones para repetir los experimentos realizados por los académicos sobre temas que iban desde la posibilidad de disolver perlas en vinagre hasta la presunta habilidad de los patos para digerir bolitas de cristal o balas. Sus autores esperaban “incitar a otros a repetir también con la mayor severidad y esmero los mismos experimentos”, explicando que “así nos hemos atrevido nosotros a hacerlo con los de cualquier otra persona”.

Entre los siglos XVII y XIX, se verificaron oleadas sucesivas de experimentos-espectáculo, en manos de algunos de los expertos más destacados, como Robert Hooke (sí, el descubridor de la célula), en Londres, como parte de las actividades de la Royal Society. Otro de los impulsores de estas sesiones fue el propio Isaac Newton, quien contrató a hábiles técnicos para realizar experimentos públicos que probaran sus teorías, de la óptica a la gravedad. Algunos resultaron muy convincentes y contribuyeron a difundir su obra.

Los salones de París y los cafés de Londres contaban regularmente con exposiciones de filósofos naturales, que buscaban despertar el interés del público con temas que iban de gusanos y rarezas anatómicas a entomología, los efectos de la falta de aire y hasta improvisadas transfusiones. Se cuenta que el abate Jean Antoine Nollet, protegido de dos miembros de la Academia de Ciencias de París, llegó a reunir audiencias de hasta quinientas personas en 1760, con experimentos sobre fluidos, fuego, luz y electricidad.

Se dirá que son curiosidades, antiguallas de los tiempos heroicos. Pero no debe subestimarse su aporte a la cultura. La ópera prima de la ciencia

ficción, *Frankenstein o el moderno Prometeo*, publicada en 1818 por la romántica Mary Shelley, se inspira en los experimentos sobre electricidad animal de Luigi Galvani, que se extendieron por toda Europa e incluyeron demostraciones con animales pero también con cuerpos humanos, como cadáveres de ajusticiados.

Más importante es tener en cuenta que la ciencia tomó forma en simultáneo con otra institución fundante de la modernidad: la opinión pública, como cuenta Élisabeth Badinter en su trilogía sobre los *philosophes* de la Ilustración, *Las pasiones intelectuales* (1999-2007). A ese nuevo actor social apelaron los sabios de la época (un poco filósofos, otro poco literatos, otro poco científicos) para ganar legitimidad y prestigio, frente a los soberanos como Catalina II de Rusia, Luis XV o Federico II de Prusia, cuya financiación buscaban y a quienes pretendían aconsejar. Era un tercer actor social que, de alguna manera, podía laudarse a favor de uno u otro polo del poder/saber.

Y puede decirse que hay una línea de continuidad de estas dinámicas hasta el siglo XX y después, con una opinión pública ampliada y diversificada. Una de las exhibiciones más reveladoras del Science Museum de Londres es una réplica del módulo de la Apollo 11 que llegó a la Luna en 1969. Lo impresionante no es que los británicos les den tanto crédito a los norteamericanos (también lo hacen los alemanes, que ponen una imagen del hombre en la Luna, con banderita y todo, en los tickets de entrada de su muy técnico Deutsches Museum de Múnich), sino que acompañen la muestra con una vitrina donde se exhibe la carpeta de prensa del lanzamiento.

Esa carpeta, que contiene el material que la NASA preparó para facilitar el trabajo de los periodistas que cubrieron el acontecimiento, es una clara invitación a reflexionar sobre el sentido profundo de toda la carrera espacial, incluso más allá del contexto de la Guerra Fría. Y siguiendo esa línea, también sobre el sentido profundo de buena parte de las grandes empresas científico-tecnológicas del presente.



Ana María Vara es licenciada en Letras por la Universidad de Buenos Aires (UBA), magíster en Ecología de Medios por la New York University y doctora en Estudios Hispánicos por la Universidad de California en Riverside. Es investigadora en estudios sociales de la ciencia y la tecnología, con sede en el Centro de Estudios de Historia de la Ciencia y de la Técnica José Babini (EH-UNSAM). Es profesora de grado y posgrado, además de secretaria académica de la Escuela de Humanidades (UNSAM). Ha publicado más de cincuenta artículos y capítulos de libros. Es autora de *Sangre que se nos va. Naturaleza, literatura y protesta social en América Latina* (2013) y coeditora de *Riesgo, política y alternativas tecnológicas. Entre la regulación y la discusión pública* (2013). Es miembro del *board* del RC 24 Ambiente y Sociedad, de la International Sociological Association (ISA).

Física y capitalismo: entre la armonía teórica y la eficacia técnica

Por Diego Hurtado

Existe consenso en aceptar que en algunos países de Europa, entre la publicación de *De revolutionibus* (1543) de Copérnico y la de los *Principia mathematica* (1687) de Newton, se produjo el nacimiento de la ciencia moderna. Desde entonces, el uso de instrumentos y matemáticas fue condición necesaria para legitimar la producción de conocimiento sobre la naturaleza. Telescopios, bombas de vacío, termómetros o planos inclinados para interrogar a la naturaleza; cálculo infinitesimal y geometría para expresar sus respuestas (o nuestras conjeturas sobre sus respuestas).

¿Qué pruebas hay en el siglo XVII de que la naturaleza es medible, geometrizable, predecible? Puede haber matemáticas en la monotonía de un péndulo, en la órbita cónica de un planeta o en la trayectoria parabólica de una bala de cañón. Pero ¿hay matemáticas en el desarrollo de un embrión? ¿Hay fórmula para explicar la conducta de mi gato en los próximos tres minutos o el cambio del curso de los ríos? Ni Galileo ni Descartes dudaron: el plan divino es la obra de un geómetra. La pléyade de físicos que crecieron en prestigio y número en los siglos siguientes aceptaron que la naturaleza es un libro escrito en caracteres geométricos.

Los instrumentos científicos, transformados en espectáculo, irrumpieron en la cultura de los salones del siglo XVIII. Obras de divulgación lograron narrar en pocas lecciones el orden racional. Las audiencias cultas fueron hipnotizadas por el mantra iluminista, que podría parafrasearse así: detrás de la aparente complejidad del mundo que nos muestran los sentidos, todo subyace un orden simple, matemático, regular y predecible.

Este programa, caracterizado por el historiador holandés Eduard J. Dijksterhuis como “la mecanización de la imagen del mundo”, fue enormemente exitoso. El calor, el sonido, la luz, el magnetismo, la electricidad, la gravedad, todos fueron codificados en expresiones matemáticas simples y deterministas. Incluso, cuando Heisenberg y Bohr –a pesar de los deseos de Einstein– encontraron un cubilete en las manos del Creador, resultó que el azar que rige el mundo subatómico era domesticable mediante la estadística. Es decir, el mundo de las partículas elementales, si bien profusamente antiintuitivo, también era racional y predecible.

Siete breves lecciones de física (2014), de Carlo Rovelli, retoma y actualiza esta saga: teoría general de la relatividad, mecánica cuántica, arquitectura del cosmos, partículas elementales, gravedad cuántica, agujeros negros. En clave *Alicia en el país de las maravillas*, cuenta Rovelli que “el espacio es granular, el tiempo no existe y las cosas no están en ningún lugar”. La recompensa de saber apreciar las teorías físicas es “la pura belleza, y nuevos ojos para ver el mundo”. El cuadro cierra sin fisuras en el nivel de las teorías físicas, la armonía matemática y la belleza.

Sin embargo, en la última lección, Rovelli intenta explorar cómo se ajustan los humanos a este cuadro. Entonces encontramos, justo un par de páginas antes del final, que algunas notas de la gran sinfonía desafinan. Aclaremos: no desafina Rovelli, desafina el relato de la epopeya de la modernidad, al que Rovelli adhiere. Por eso algo se rompe en la lección séptima, cuando el físico italiano confiesa su escepticismo respecto a que la humanidad pueda resolver los “brutales cambios que hemos desencadenado en el clima y en el medio ambiente”.

Comencemos de nuevo. La epopeya de la razón occidental se ha contado de distintas maneras. En

No puede negarse que la comunicación y el marketing son hoy parte inherente de la ciencia. No como un subproducto, algo que llega después, sino como faceta constitutiva de ella, un aspecto que contribuye a darle forma, en particular cuando se requiere movilizar ingentes recursos económicos, tecnológicos y humanos. La influencia de la opinión pública en la empresa científica, interpretada y mediada por las preocupaciones e intereses de actores políticos y económicos, será diferente en distintos casos, pero no puede menospreciarse. Finalmente, hablamos de democracias capitalistas: habrá que conquistar el voto o convencer a los inversores, por señalar lo obvio.

Adicionalmente, no debe olvidarse que hay también mucha ciencia “clasificada”, tecnología secreta sobre la que sólo sabremos por las denuncias de *insiders* como Edward Snowden, o sobre la que difícilmente tendremos conocimiento porque está protegida por el secreto industrial. El historiador de Harvard Peter Galison estima que el conocimiento secreto puede ser entre cinco y diez veces más vasto que el conocimiento publicado. Lo que es peligroso hacer y decir, lo que no es conveniente, lo que es estratégico esconder: allí también está operando la opinión pública, como un límite, como un actor al cual manipular, como un fantasma al cual convocar también desde lo que no puede revelarse.

Capitalismo, socialismo y democracia (1942), Joseph Schumpeter sostiene que la actitud racional fue forzada por la necesidad económica. Y explica que “es muy significativo que la moderna ciencia matemático-experimental se desarrolló [...] con el proceso social usualmente aludido como Surgimiento del Capitalismo”.

El historiador de la ciencia francés Dominique Pestre, en un libro titulado *Ciencia, dinero y política* (2003), cuenta cómo el discurso de la ciencia pura, que se cristalizó a fines del siglo XIX, contribuyó a legitimar a los científicos como “personajes más allá del bien y del mal [...] y eso en el momento mismo en el que su inserción en el mundo de los negocios y de las industrias basadas en el conocimiento cobraba nuevo vuelo y nueva forma”. El discurso de la ciencia pura permitió “ocultar la inserción real de los científicos en el mundo”. Pestre concluye: “También permitió a los científicos ser políticamente irresponsables”.

¿Son complementarios los relatos presentados en *Historia del tiempo* (1988) de Stephen Hawking, en *El sueño de una teoría final* (1994) de Steven Weinberg, o en *Siete breves lecciones de física* de Rovelli con los usos sociales, políticos y militares del conocimiento? Además de belleza, en las teorías físicas se codifica eficacia técnica. Por eso la belleza de una teoría física no es lo mismo que la belleza de una sinfonía o un poema. Casi podríamos arriesgar que belleza y eficacia técnica en física son el mismo rasgo mirado desde dos ángulos complementarios: la voluntad estética y la voluntad práctica. Las simetrías y regularidades que la física encuentra en la naturaleza son justamente la condición de posibilidad tanto para el juicio estético como para la forma de disciplinamiento de la naturaleza que llamamos tecnología.

El programa de mecanización de la imagen del mundo fue enormemente exitoso en ambas direcciones. Podríamos decir que, desde Galileo, la física recortó de la naturaleza conjuntos de fenómenos simples, matematizables y predecibles (controlables) y llamó “naturaleza” a este subconjunto. El conocimiento que habilitó esta operación aportó muchas de las claves que hicieron posible producir –además de bellas teorías– electricidad,

aeroplanos, reacciones en cadena, radares, chips y microprocesadores, satélites, vacunas y misiles.

Es por esta razón que las mismas economías capitalistas avanzadas que son reacias a financiar sistemas públicos de salud aceptan gastar miles de millones de euros o dólares para construir aceleradores de partículas con el fin

de buscar, por ejemplo, el bosón de Higgs, conocido también como la “partícula de Dios”. Si estas sofisticadas máquinas no sirvieran como bancos de prueba para desarrollos tecnológicos de punta que luego se pueden utilizar en la industria, ¿sería un problema científico importante el bosón de Higgs?

Diego Hurtado es doctor en Física y profesor de Historia de la Ciencia y la Tecnología en la Escuela de Humanidades de UNSAM. Es autor del libro *El sueño de la Argentina atómica. Política, tecnología nuclear y desarrollo nacional (1945-2006)* (2014). También se desempeña en gestión de la tecnología. Fue secretario de Innovación y Transferencia en UNSAM y presidente de la Autoridad Regulatoria Nuclear. Integra el Directorio de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación.

Funes el atemporal Borges y la irreversibilidad del tiempo en la física

Por Alberto Rojo

Pocas nociones son tan obvias como el paso irrevocable del tiempo. Sabemos (o sentimos) que el pasado es inalterable, que el futuro está abierto y que el tiempo es como un río que corre en una sola dirección. Sin embargo, diría Borges, a la realidad le gustan las simetrías. Para las leyes de la física, el pasado y el futuro son indistinguibles. El origen de su asimetría está en el azar, en nuestra ignorancia de “la infinita operación incesante de millares de causas entreveradas” que ocurren en la intimidad del universo microscópico, donde pasado y futuro son indistinguibles. “El tiempo -dice Carlo Rovelli- es nuestra ignorancia”. Si conociéramos cada estado microscópico del mundo, como el Ireneo Funes del cuento de Borges, no habría flecha del tiempo.

Cuando era niño, mi madre, que era especialista en didáctica de las ciencias, me mostró la irreversibilidad del tiempo con un experimento casero. Tiró una gota de tinta en una botella de agua. La tinta se fue esparciendo hasta que, al cabo de un rato, el agua adoptó un tinte uniforme, levemente azulado. Y así permaneció todo el día. Imaginen que filmo la botella durante el experimento y les paso la película al revés. Verán una mancha de tinta que se forma espontáneamente en la parte superior de la botella. Nunca vimos algo así. Hay una clara asimetría entre el experimento tal como lo hice con mi madre y su versión con el tiempo al revés. Ahora imaginen que hago *zoom* sobre una parte cualquiera del interior de la botella. El *zoom* nos lleva hasta el nivel microscópico. Somos testigos del choque entre cada molécula de agua y cada molécula de tinta, como si fueran bolas de billar de distinto tamaño. En ese nivel microscópico, somos incapaces de distinguir entre la película real y la película invertida. Cada choque individual entre esas bolas de billar es reversible: si lo paso al revés, no veo nada raro. Del mismo modo, si les muestro la filmación de un planeta girando alrede-

dor del Sol y luego proyecto la misma filmación de atrás para adelante, el planeta invierte el sentido de giro y, en esa inversión, no habrá nada sorprendente. La trayectoria de un planeta alrededor del Sol y el choque microscópico entre moléculas de agua y moléculas de tinta están de acuerdo con las leyes de Newton, que no distinguen el pasado del futuro. El origen de la asimetría en la mancha que se expande está en nuestra inaccesibilidad a cada estado individual, microscópico, del agua con tinta. A cada estado macroscópico que observamos le corresponde una infinidad de estados microscópicos a los que no tenemos acceso y que sintetizamos con un número limitado de frases: “mancha de tinta en la parte superior”, “mancha semiesparcida” o “agua uniformemente azulada”. La clave de la asimetría está en la distinta multiplicidad de los estados microscópicos que se corresponden con cada una de esas frases: hay muchos más estados microscópicos compatibles con “agua uniformemente azulada” que con “mancha de tinta en la parte superior”. Es frecuente el uso del término “desorden” para designar mayor multiplicidad, aunque la valoración estética de orden o desorden no sea aplicable a la idea de multiplicidad. La analogía con el mazo de naipes que se mezclan es apropiada. Hay muchísimas configuraciones (estados) del mazo, y sólo les damos nombre a algunas, las más ordenadas: “naipes puestos de mayor a menor” o “naipes acomodados por palos”. Si empezamos con una de esas configuraciones ordenadas y mezclamos las cartas, lo más probable es que terminemos en una de las tantas configuraciones anónimas que llamamos, genéricamente, desordenadas. La mezcla de cartas es análoga al choque de moléculas que pasan de un estado a otro. A medida que transcurre el tiempo, las moléculas van visitando todas las posibles configuraciones microscópicas, del mismo modo que un planeta, al girar alrededor del Sol, visita todos los puntos de su órbita y que el mazo de naipes va pasando de una configuración a otra. En esa visita por la infinidad de posibles estados del agua con tinta, cada una de las configuraciones microscópicas, como en el mazo de naipes, tiene la misma probabilidad. Pero desde un punto de vista macroscópico, es mucho (muchísimo) más probable el pasaje entre configuraciones de menor a mayor multiplicidad que al revés: es mucho más probable pasar de “mancha de tinta en la parte superior” a “agua uniformemente azulada” que al revés, y es mucho más probable pasar de “naipes acomodados por palos” a “baraja desordenada” que al revés. La asimetría del tiempo está en la síntesis macroscópica que hacemos de la multiplicidad del mundo microscópico. Pero esa multiplicidad es, al fin y al cabo, una limitación de nuestro lenguaje y de nuestra accesibilidad a cada estado íntimo de la naturaleza. Si pudiéramos darle un nombre distinto a cada orden de la baraja, no habría motivo para preferir un orden sobre otro y no tendría sentido decir que al mezclar desordenamos. La mezcla sería simplemente un pasaje simétrico entre configuraciones. Para un

ser con infinita memoria, que no sintetizara la enorme multiplicidad de estados microscópicos de la naturaleza en un número reducido de conceptos, la asimetría entre pasado y futuro no existiría. En “Funes el memorioso”, Borges habla de un orillero de Fray Bentos que fue maldecido con esa virtud luego de que lo volteara un redomón en la estancia de San Francisco: “Al caer, perdió el conocimiento; cuando lo recobró, el presente era casi intolerable de tan rico y tan nítido”.

El “cronométrico Funes” era incapaz de sintetizar: “No sólo le costaba comprender que el símbolo genérico perro abarcara tantos individuos dispares de diversos tamaños y diversa forma; le molestaba que el perro de las tres y catorce (visto de perfil) tuviera el mismo nombre que el perro de las tres y cuarto (visto de frente)”. Su memoria era descomunal: “no sólo recordaba cada hoja de cada árbol de cada monte, sino cada una de las veces que la había percibido o imaginado”, y su descripción de las cosas adolecía de un detalle extremo: “Dos o tres veces había reconstruido un día entero; no había dudado nunca, pero cada reconstrucción había requerido un día entero”. Lo más llamativo de Funes en relación con la asimetría del tiempo es el carácter instantáneo de su percepción: “Era el solitario y lúcido espectador de un mundo multiforme, *instantáneo* y casi intolerablemente preciso” (la cursiva es mía).

Si el tiempo es nuestra ignorancia, la asimetría que observamos, el flujo irrevocable del pasado al futuro se debe a que el universo empezó en un estado de baja multiplicidad, o bajo “desorden”; no empezó con la tinta azulada distribuida uniformemente sobre la botella sino como una “mancha” que fue, y está, expandiéndose hacia estados más “ordenados”. Por qué empezó en ese estado no lo sabemos. Pero sí sabemos que si hubiera empezado en otro estado no estaríamos aquí para hacernos esa pregunta. En su libro *La nueva mente del emperador* (1989), Roger Penrose dibuja a Dios eligiendo el estado inicial del universo como una aguja en un pajar de estados posibles. Y elige uno con baja multiplicidad. De algún modo, somos fragmentos de una mancha de tinta que va expandiéndose hacia un desorden final y siempre será extraño que podamos mirar indefinidamente hacia atrás, pero no hacia adelante.

Alberto Rojo nació en Tucumán. Es músico, escritor y doctor en Física por el Instituto Balseiro. Es profesor del Departamento de Física de la Universidad de Oakland. Tiene más de ochenta trabajos publicados en revistas de circulación internacional. Es un apasionado y prolífico divulgador, interesado en la conexión entre el arte y la ciencia. Su obra literaria incluye los libros *La física en la vida cotidiana* (2007), *El azar en la vida cotidiana* (2012) y *Borges y la física cuántica* (2013). Grabó a dúo con Mercedes Sosa y compuso a dúo con Pedro Aznar, Luis Gurevich y Víctor Heredia. Su discografía incluye *De visita* (1999), *Para mi sombra* (2003) y *Tangentes* (2009).

Staff: Rector: Carlos Ruta. **Director Lectura Mundi:** Mario Greco. **Edición general:** Micaela Cuesta. **Colaboran en este suplemento:** Carlo Rovelli, Bruno Arpaia, Ana María Vara, Diego Hurtado y Alberto Rojo.