

¿Quién le teme al infinito?

por Guillermo Mattei gmattei@df.uba.ar

La ciencia está llena de infinitos. El big bang, el electrón o la teoría de conjuntos se topan con él. Pero, ¿qué significan? ¿Acaso son un fracaso de las teorías? ¿Un inconveniente técnico? ¿O la frontera natural de la realidad hasta donde la ciencia hoy puede explicarla?

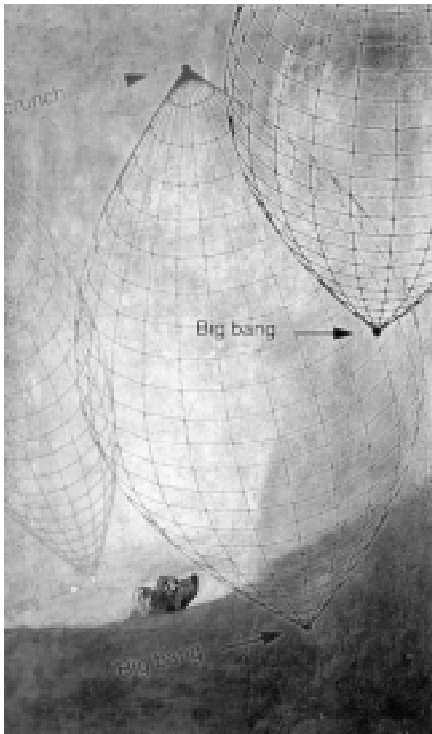
Para el lenguaje y la cultura, el infinito es una cantidad inmensamente grande, imposible de contar. Probablemente nadie mejor que Jorge Luis Borges logra sintetizar las múltiples interconexiones entre los infinitos de la matemática, la lógica y la física del siglo XX y la literatura y la filosofía de todos los tiempos. Borges recrea, con una estética única, una vieja confrontación de enfoques epistemológicos. Por un lado, el que dominó la física decimonónica, de la realidad externa con leyes únicas escritas en lenguaje matemático que la ciencia se encarga de descubrir. Por otro lado, el que aportaron las novedosas teorías de la Relatividad y la Mecánica Cuántica en las primeras décadas de siglo XX, de una realidad externa modelizable por medio de la matemática, independientemente del carácter *verdadero* de sus leyes.

En este esquema dicotómico, la noción de infinito tanto puede aparecer como una reveladora falencia en la pretensión por el descubrimiento de leyes naturales verdaderas, como un indicador de ciertas propiedades de la realidad externa o como una insuficiencia instrumental superable dentro de la lógica de la modelización envolventemente perfectible.

¿De qué hablamos cuando hablamos de infinito?

Los primeros matemáticos griegos poco pudieron hacer para ir más allá de la idea intuitiva de un infinito planteado como meta final de un proceso progresivo y así cayeron en famosas paradojas o conclusiones absurdas que involucraban a flechas, tortugas y semidioses. En otras palabras, hace casi dos mil quinientos años Zenón y Pitágoras ya protagonizaban la confrontación epistemológica que plantea Borges.

Dos mil años de confusión filosófica y oscuridad religiosa alrededor del infinito – en cuyo nombre acabaron, entre otras, con la vida de Giordano Bruno – comienzan a derrumbarse alrededor de 1814 cuando el checo Bernhard Bolzano le confiere al infinito una idea diferente al de meta inalcanzable y lo dota de un significado completo y autosuficiente dentro del conocimiento matemático. El ruso Georg Cantor retoma, muchos años después, el oficialmente censurado trabajo de Bolzano y demuestra que hay muchos, infinitos conjuntos tan grandes que no es posible contar sus elementos, incluso con la ayuda de los infinitos números naturales: infinitos infinitos. Cantor murió en un hospi-



tal psiquiátrico en 1918 pagando el alto precio, para su época, de poner en controversia a la intuición o al patrón cultural con la lógica matemática. A menudo, en ciencia formal, razonar siguiendo el sentido común puede llevar a absurdos. Sin embargo, los científicos modernos ya no enloquecen ni se suicidan por el infinito.

Tributum ad infinitum

Uno de los frentes de batalla donde los físicos le ven la cara al infinito es el problema de la subdivisión de la materia. El modelo más exitoso postula que los componentes fundamentales de la materia son las partículas llamadas quarks—que forman los nucleones atómicos— y aquellas de la familia denominada de los leptones, por ejemplo, y entre otras, el famoso electrón.

Los electrones, ¿son esferitas duras e indestructibles? No, porque es posible demostrar que ese hecho violaría el primer postulado de la relatividad especial por el cual la información solo puede transmitirse a velocidades no mayores a la de la luz. ¿Son puntos matemáticos que no ocupan volumen alguno? No, porque la propia física prescribe que acumularían una cantidad infinita de energía o, teoría de la relatividad mediante, una infinita cantidad de masa. “Nosotros decimos que el elec-

trón es puntual hasta la trillonésima de metro pero, a cierta distancia, debe dejar de ser puntual porque, si no, sería un agujero negro en lugar de una partícula”, explica el físico de partículas elementales del Departamento de Física de la FCEyN, Daniel de Florián.

Para los científicos modernos, los infinitos significan una advertencia que indica que el modelo que están empleando, por más exitoso que sea, deja de tener validez y, paralelamente, funciona como un estímulo para buscar otros modelos que abarquen al anterior y extiendan su rango predictivo. “La presencia del infinito me dice que estoy haciendo mal las cuentas o que mi teoría, a la larga, quedará incluida en alguna otra”, dice de Florián.

Para los científicos modernos, los infinitos significan una advertencia que indica que el modelo que están empleando, por más exitoso que sea, deja de tener validez.

Por su parte, Fernando Lombardo, físico teórico del Departamento de Física de la FCEyN argumenta: “Cuando tratamos de ver los efectos cuánticos del microcosmos sobre algo tan macroscópicamente usual como los fenómenos electromagnéticos, aparecen magnitudes infinitas, pero ¿qué significan?: que la cuenta está mal hecha en tanto pretendamos desconocer el rango de validez del modelo empleado, o extrapolamos sin mayores cuidados, o interpretemos erróneamente”. La manera “de hacer la cuenta bien” ocurre en el contexto del matrimonio entre las teorías de la mecánica cuántica y de la relatividad especial, cuyo vástago—llamado electrodinámica cuántica—permite eludir elegantemente o restar las magnitudes infinitas. Técnicamente, los físicos dicen que una teoría así es “renormalizable”.

Pressum ad infinitum

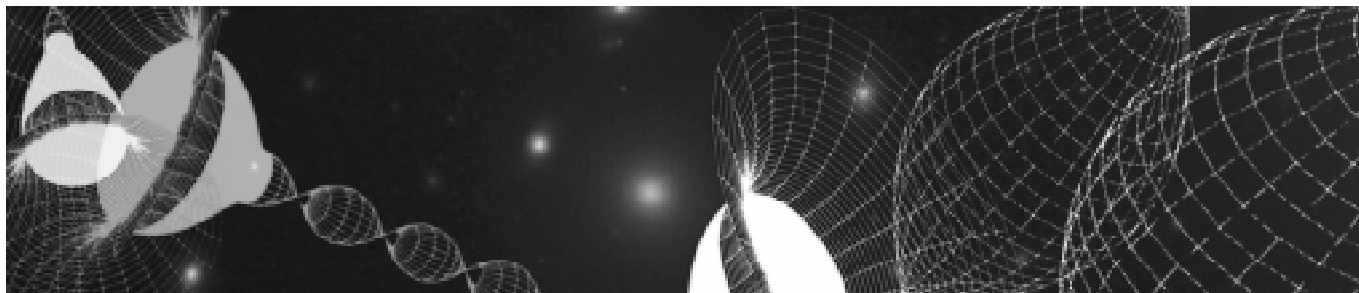
Otro infinito famoso de la física es el del colapso gravitatorio. Desde que Einstein describiera el mundo de los campos gravitatorios intensos—tales como el

de las estrellas gigantes— con sus famosas ecuaciones de 1915, los físicos saben que el universo está poblado de regiones donde la densidad de materia podría ser infinita. Muy esquemáticamente, cuando el combustible nuclear de estrellas supermasivas se acaba, todo su contenido material colapsa hacia el centro por mandato de las fuerzas gravitatorias. Más materia quiere ocupar menos volumen o, en otras palabras, la densidad crece y crece. La compresión gravitatoria de una monumental estrella en una región de volumen casi nulo dispara los valores de la densidad hacia el infinito y, en consecuencia, introduce en la historia a esos famosos personajes—de la teoría y de la observación astronómica— llamados agujeros negros. Técnicamente, los agujeros negros esconden en su centro lo que los físicos denominan “singularidad”.

Otro científico acostumbrado a verse las con el infinito es Esteban Calzetta, físico teórico del Departamento de Física de la FCEyN, para el cual hay menos conflicto con las situaciones poco intuitivas que se observan alrededor de la superficie característica que rodea a los agujeros negros, llamada “horizonte de los sucesos”, que con las presuntas singularidades “desnudas” (sin horizonte) que algunos modelos prescriben pero de las cuales aún no hay evidencia en la naturaleza.

El famoso y primordial big bang también es una singularidad. Varias históricas evidencias observacionales tales como el desplazamiento de los espectros luminosos de galaxias lejanas (1928), el fondo cósmico de radiación de microondas (1965) y la granularidad de ese fondo (1992, 2001) indican que hace unos trece mil setecientos millones de años todo (¡pero todo!) lo que hoy conforma el universo en expansión estaba concentrado en una región de volumen inimaginablemente insignificante o, en otras palabras, con una densidad probablemente infinita.

Tanto Lombardo y Calzetta como de Florián coinciden en la provisoriedad del modelo teórico del big bang. Por un lado no hay evidencia de un régimen cíclico de universo, como algunos modelos prevén,



de nacimiento en una gran explosión, crecimiento hasta un tamaño máximo, rebote, contracción hasta dimensiones mínimas y nuevo rebote expansivo sin necesidad de pasar por densidades infinitas. Por otro lado, dado que los físicos actuales no están en condiciones de anunciar una teoría de la gravedad en las dimensiones donde la mecánica cuántica es la mejor explicación, toda extrapolación que pretenda caracterizar al big bang como una singularidad conduce a dificultades interpretativas.

Lombardo aclara: “Las observaciones experimentales a grandes escalas muestran un universo actual débilmente dominado por la gravedad y expandiéndose indefinidamente. En otras palabras, no habría un final pero sí hubo un principio. ¿Eso es un problema? Por ahora no: nadie demostró que el big bang sea una teoría correcta y única más allá de ser compatible con los datos medidos. Sin una teoría cuántica de la gravedad, el problema es irrelevante. Si hay incomodidad teórica por la eventual falta de final, entonces también debería haberla por la falta de un modelo consistente del big bang”.

¿*Certatio ad infinitum*?

Hasta aquí el panorama de los principales infinitos de la física pero, con espíritu epistemológico, es lícito preguntarse: las singularidades y sus infinitos asociados ¿son un fracaso de las teorías? ¿Son un inconveniente técnico? ¿Son la frontera natural de la realidad hasta donde la ciencia hoy puede explicar?

Para Calzetta, los infinitos solo marcan la necesidad de renormalización: “las llamadas teorías supersimétricas pueden sacudirse a los infinitos de encima y, en particular, la teoría de cuerdas es la primera teoría que, además, cuantifica la grave-

dad”, explica Calzetta. “Pero no es necesario buscar al infinito en las condiciones extremas del universo”, agrega, y aclara que en toda explosión hay regiones de aire que se propagan con variaciones abruptísimas de presión y densidad llamadas ondas de choque, de modo que lo que en el rango del aire como fluido macroscópico parece una variación infinita, en el rango del aire como un gas molecular, no lo es. Con una lupa se ve un infinito y con otra más poderosa, no. Extrapolar directamente lo que se ve con una lupa a los rangos donde se puede ver con la otra cuesta un infinito.

Lo que hoy conforma el universo en expansión estaba concentrado en una región de volumen inimaginablemente insignificante, con una densidad probablemente infinita.

Por su parte, Archibald Wheeler, colaborador de Einstein, ícono de la física estadounidense, padre de la cosmología moderna y profesor emérito de Princeton, defiende un punto de vista contrario a considerar a las singularidades como meros bordes de la existencia; por el contrario, sostiene que “representan un umbral donde quedan superadas nuestras nociones de espacio y tiempo, si bien el mundo físico, en cierto sentido, sobrevive”. Algo así como que en un mundo de cien mil millonésimas de una billonésima de una billonésima de centímetro de diámetro existiría una subestructura pregeométrica, ya que la intensa gravedad destruiría la geometría conocida, con un espacio tiempo que Wheeler se atreve a asemejar a una gomaespuma irregular muy diferente a la imagen que los griegos supusieron por progresivas subdivisiones de intervalos.

Para pseudociencias, posracionalismos, misticismos y sus variantes, la falta de algunas explicaciones completas, o la presencia de contradicciones parciales, en diferentes aspectos del conocimiento tales como la noción del infinito, es indicio de precariedad de todo el cuerpo de conocimiento o evidencia de terrenos prohibidos para la “soberbia” pretensión del conocimiento científico, donde reinaría el misterio que verdaderamente “humaniza” o donde moriría lo sobrenatural.

“Como científico estoy más cerca del *instrumentalismo* que construye imágenes de la naturaleza que del descubrimiento de leyes, lo cual me suena un tanto arrogante”, opina Calzetta.

“Uno puede decir, como Albert Einstein, que la realidad existe independientemente del observador o decir, como Niels Bohr, que lo único válido es lo que se mide en el marco de los modelos disponibles”, explica Lombardo, pero además opina que la dicotomía es falsa: independientemente de lo que la realidad externa sea, los físicos no están ocupados de entender qué es sino de usar las herramientas para predecirla y esperar poder medir en el laboratorio.

Por su parte, de Florián aclara: “Mi impresión epistemológica es que la física es un conjunto de teorías efectivas y además una ciencia de escala. Cada teoría es válida en un rango de aplicación que puede incluir y quedar incluido en otros y eso no es evidencia de fracaso. Le pasó a la concepción newtoniana que parecía haber descubierto todas las leyes naturales; y, de todas maneras, por más que mi herramienta principal de trabajo sea la mecánica cuántica, sigo mandando mi auto al mecánico clásico cuando se descompone”.

Los infinitos, desafiantes, ladran pero no muerden. ■