

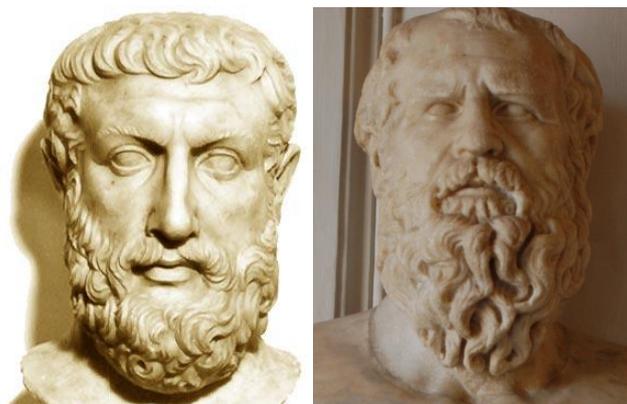
El espacio y el tiempo

Por Federico G. Lopez Armengol

Preguntas sobre el espacio y el tiempo inquietan los pensamientos del hombre desde hace miles de años. ¿Qué es el espacio? ¿Qué es el tiempo? ¿Vale la pena responder estas preguntas? Presento en este artículo las posturas de algunos pensadores, y mi posición al respecto, con el fin de destacar la importancia de esta área de la Filosofía.

Antigua Grecia

Como es usual, los orígenes de las corrientes del pensamiento que conocemos se encuentran en los trabajos de los filósofos pre-socráticos. Parménides de Elea (530 a.C. - 515 a.C.) fue el primero en aplicar el método deductivo a la realidad. Con intenciones de descubrir lo que realmente existe, planteó: *lo que es, es, y lo que no es, no es*. Aceptando sus premisas, lo que *es*, no puede dejar de serlo, no se transforma, es eterno, perfecto. Por el contrario, lo que *no es*, no puede ser, no hay devenir real, ni *creatio ex nihilo*; nada puede surgir de la nada. Todas nuestras percepciones son meras ilusiones que pertenecen al *no ser*, incluido el paso del tiempo. Según Parménides, el tiempo sólo podría existir substancialmente, como algo eterno y estático. Su discípulo directo, Zenón de Elea (490 a.C. - 430 a.C.), defendió esta postura con una serie de paradojas dedicadas a mostrar lo absurdo en suponer la existencia del movimiento y el cambio.



Parménides de Elea y Heráclito de Éfeso

Contrariamente, Heráclito de Éfeso (535 a.C. - 484 a.C.) distinguió el cambio, el fluir de las cosas, el movimiento permanente, el devenir, como características de la realidad. Argumentó: *todo cambia y nada permanece*, y materializó su visión de la realidad en el fuego, que nunca reposa. Las ideas de Heráclito influenciaron a Aristóteles (384 a.C. - 322 a.C.) quien, casi trescientos años después, asocia directamente el tiempo al movimiento. Basado en su *reductio ad absurdum*, Aristóteles falla en definir el tiempo en términos de pasado, presente, futuro, o duración, y concluye: *el tiempo es la medida del movimiento con respecto al antes y después*. Para Aristóteles, el tiempo existe en la categoría de cantidades, de una forma no substancial, y dependiente.

Newton y Leibniz

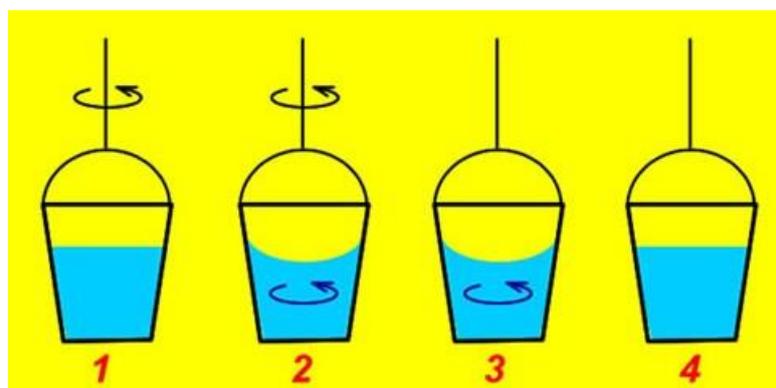
La controversia sobre la naturaleza del espacio y el tiempo se reanudó intensamente en el siglo XVII, próspera época para la ciencia occidental. Esta vez los protagonistas fueron Isaac Newton (1643 - 1727) y Gottfried W. Leibniz (1646 - 1716), quienes mantenían una fuerte rivalidad.

Newton advirtió la necesidad de precisar los conceptos de espacio y tiempo en los fundamentos de la Mecánica. En su obra principal *Principios matemáticos de la filosofía natural* (1687) define al *espacio y tiempo absolutos* como entes concretos, independientes, e inalterables. El espacio absoluto es inmóvil, y el tiempo absoluto fluye uniformemente, sin depender de factores externos.

En contraposición, Leibniz consideraba al espacio como una abstracción basada en las distancias relativas entre objetos concretos. Según esta visión, el espacio no existe en ausencia de objetos. En forma equivalente, concebía al tiempo como una abstracción basada en el orden de los sucesos.

Para mostrar que la postura de Newton era incorrecta, Leibniz argumentó: dos universos con los mismos constituyentes, con idénticas propiedades relativas, pero desplazados en el espacio o en el tiempo absoluto, serían equivalentes conforme al *principio de identidad de los indiscernibles*. Luego, de acuerdo al *principio de razón suficiente*, cualquier teoría que incluya ambas descripciones sería incorrecta.

Sin embargo, los argumentos de Newton fueron contundentes pues se basaron en la observación y experiencia. Para demostrar propiedades absolutas del movimiento, recurrió a sistemas en movimiento no inercial donde la aparición de fuerzas inerciales no podía reducirse a propiedades relativas. El más famoso de estos experimentos es el del balde: dado un balde lleno de agua y colgado de una cuerda retorcida, al liberar el sistema el balde comenzará a girar, y la superficie del agua adoptará gradualmente una forma cóncava. Ahora, si frenamos repentinamente el balde, la superficie del agua mantendrá la forma cóncava. Entonces, la concavidad de la superficie no es una manifestación del movimiento del agua relativo al balde, sino al espacio absoluto.



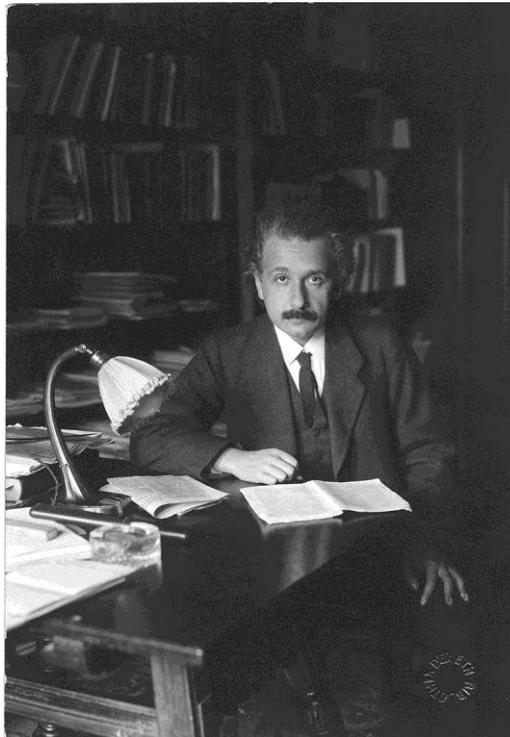
Etapas sucesivas del experimento del balde de Newton

La Mecánica y Filosofía Newtoniana tuvieron un éxito sin precedentes en la historia de la Física. Sin embargo, en el siglo XIX, Ernst Mach (1838 - 1916) volvió a criticar seriamente las noción de espacio absoluto de Newton en defensa del relacionismo de Leibniz. Mach nota que el experimento del balde sólo muestra que la concavidad de la superficie del agua no es una

manifestación del movimiento del agua relativo al balde. No obstante, establece que la concavidad del agua es una consecuencia de la rotación del balde respecto a la Tierra, al Sistema Solar, y en menor medida al resto del universo. En otras palabras, si todo el universo rota en torno al balde, el agua mostraría la misma superficie cóncava; el movimiento absoluto no existe.

La Teoría de la Relatividad

El siguiente cambio de paradigma respecto a la naturaleza del espacio y el tiempo comenzó en 1905 con la formulación de la Teoría de la Relatividad Especial por Albert Einstein (1879 - 1955). El trabajo de Einstein derribó los conceptos de espacio y tiempo absolutos pues mostró que medidas de longitud, intervalos de tiempo, o simultaneidad, eran relativas a cada observador, en función de su estado de movimiento.



Albert Einstein en 1920

En 1907, el matemático ruso Hermann Minkowski (1864 - 1909) se percató que la teoría de Einstein unificaba los conceptos de espacio y tiempo en un sólo concepto: *el espacio-tiempo*, y lo representó matemáticamente con una superficie particular de cuatro dimensiones. Vale la pena citar las palabras de Minkowski en su discurso de inauguración de la 80ª reunión de la Asamblea General Alemana de Científicos Naturales y Físicos de 1908:

"Las ideas sobre el espacio y el tiempo que deseo mostrarles hoy descansan en el suelo firme de la física experimental, en la cual yace su fuerza. Son ideas radicales. Desde ahora en adelante, el espacio y el tiempo por separado están destinados a desvanecerse entre las sombras y sólo una unión de ambos puede ser parte de la realidad."

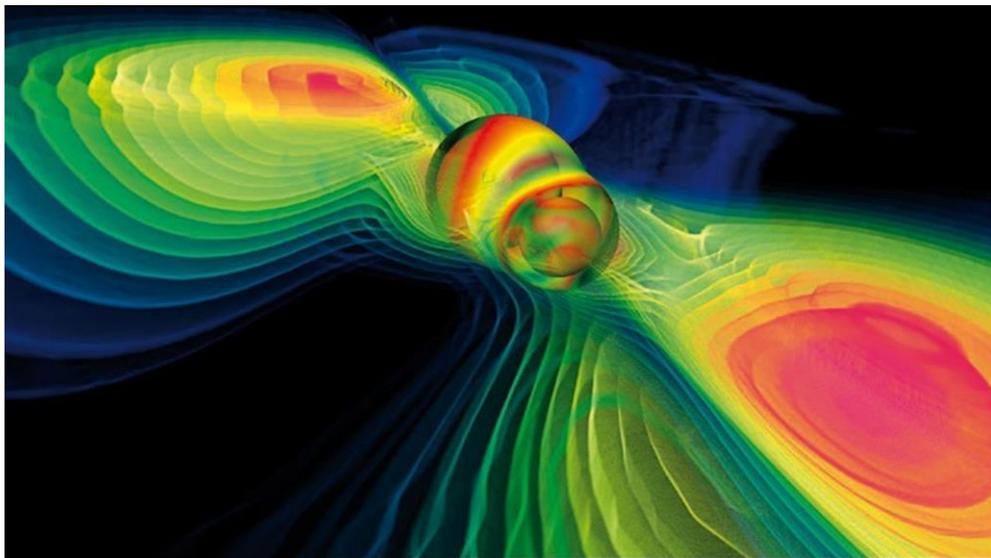
Las preguntas filosóficas acerca del movimiento, el devenir, el relacionismo, el espacio, y el tiempo, convergieron a preguntas sobre el espacio-tiempo y sus propiedades. Einstein poseía un gran interés por estas cuestiones y dedicó sus esfuerzos para resolverlas. En este sentido, nombró

Principio de Mach a la concepción de la masa e inercia de un cuerpo como consecuencias de su interacción con el resto del universo. Este principio fue fundamental para el posterior desarrollo de la Teoría de la Relatividad General pues sugiere que la geometría del espacio-tiempo está determinado por la distribución de materia del universo. En 1930, el mismo Einstein comentó: "*está justificado considerar Mach como el precursor de la Teoría de la Relatividad General*".

Sin embargo, la adhesión de Einstein al relacionismo de Mach fue atenuada por el intercambio de correspondencia con Willem de Sitter (1872 – 1934) entre los años 1916 y 1918. De Sitter mostró a Einstein que las ecuaciones de la Teoría de la Relatividad General aceptaban soluciones de espacio-tiempo sin materia, en contra de la postura relacionista. Abandonando el Principio de Mach, Einstein se encuentra en una situación similar a la de Leibniz hace tres siglos, imposibilitado a explicar las fuerzas inerciales desde el relacionismo. En 1920 recurre a una especie de eter en cuatro dimensiones a partir del cual definir el movimiento relativo, y finalmente aceptó una postura substancial y eterna respecto al espacio-tiempo, similar a los existentes de Parménides.

Actualidad y comentarios finales

Hemos visto que es posible estudiar la naturaleza del espacio y el tiempo mediante la razón y la observación. También entendimos grandes avances en este sentido. Sin embargo, actualmente el problema sigue abierto, y es un área de investigación activa. Los argumentos modernos se basan en resultados experimentales y teóricos tales como la detección de ondas gravitacionales, la expansión del universo, la termodinámica de agujeros negros, o propiedades de sistemas cuánticos.



Representación gráfica de las ondas gravitacionales generadas por la colisión de dos objetos compactos

Personalmente, mantengo que la Teoría de la Relatividad General es una teoría sobre el espacio-tiempo y su interacción con la materia. En este sentido, el espacio-tiempo debe ser concebido substancialmente, con existencia independiente, y propiedades físicas concretas. Más aún, sostengo que la Teoría de la Relatividad General no es una teoría de campos y fuerzas, y los argumentos relacionistas fallan en explicar la complejidad de fenómenos gravitatorios.

Sin embargo, es importante mantener una actitud abierta y dispuesta a nuevos cambios de paradigma. Específicamente, la postura substantivalista del espacio-tiempo podría fallar en escalas

microscópicas donde los efectos cuánticos sean considerables. La resolución de este engima constituye el desafío más grande de la física teórica actual, y sentará las bases para una correcta teoría de la Gravedad Cuántica.

Finalmente, ¿vale la pena pensar en las propiedades del espacio y el tiempo? La mejor forma de responder esta pregunta es mediante los hechos: las paradojas de Zenón dieron pie a la teoría de límites y series infinitas; las definiciones de espacio y tiempo absoluto de Newton fueron necesarias para el desarrollo de la Mecánica; el principio de Mach y la contribución de Minkowski resultaron fundamentales para la formulación de la Teoría de la Relatividad General. En síntesis, los progresos en el entendimiento del espacio y el tiempo siempre condujeron avances significativos de la ciencia.