Los Experimentos de Pensamiento de Einstein

El nombre "Gedankenexperimente" no es realmente exacto. El psicólogo Howard Gardner ha caracterizado al ingenio de Einstein como proveniente de su mente "lógico-matemática" (Gardneer, 1993). Sin embargo, el mismo Einstein escribió en sus notas autobiográficas, *"No tengo duda de que nuestro pensamiento sucede en mayor parte sin el uso de símbolos y además, en gran medida inconscientemente"* (Schilpp, 1949).

Se explayó sobre este tema en comentarios a Jacques Hadamard, afirmando: *"Las palabras del lenguaje, tal como estén escritas o habladas, no parecen desempeñar ningún papel en mi mecanismo de pensamiento. Las entidades psíquicas, las que parecen servir como elementos en el pensamiento, son ciertos signos e imágenes más o menos claras que pueden ser 'voluntariamente' reproducidas y combinadas* […]*. Los elementos mencionados más arriba son, en mi caso, de un tipo visual y algunos de tipo muscular"* (Hadamard, 1945).

Einstein fue desafiado matemáticamente y trabajó con colaboradores—todos ellos matemáticos—en un paso claramente secundario en su proceso creativo, uno que implicaba la traducción de sus intuiciones privadas en formas públicas de comunicación: *"Yo muy rara vez pienso en palabras"*, escribió a Max Wertheimer. *"Un pensamiento viene, y puedo tratar de expresarlo en palabras después"* (Wertheimer, 1959).

EJEMPLOS:

PERSIGUIENDO UN RAYO DE LUZ

Alguien observando un automóvil acelerar a la velocidad de la luz vería algo muy extraño. Parecería como si el automóvil en sí mismo se estuviese acortando, y que el tiempo para la persona en el vehículo se enlenteciese. No obstante, usted no vería estos efectos hasta que el automóvil comenzase a acercase a la velocidad de la luz. Al 90 por ciento de la velocidad de la luz, el vehículo parecería encogerse a un 44 por ciento de su longitud habitual. Este experimento de pensamiento respondió a la vieja pregunta de Einstein sobre

qué es lo que vería si viajase junto a un rayo de luz. Simplemente no podría hacer el viaje, ya que a la velocidad de la luz, la longitud se contraería hasta cero, y el tiempo se detendría.

MONTANDO UN ELEVADOR EN CAÍDA LIBRE

En uno de los famosos experimentos de pensamiento de Einstein, se dio cuenta de que la gravedad y la aceleración parecen ser el mismo fenómeno. Piense acerca de qué ocurriría si un elevador repentinamente entrara en caída libre. La persona que está dentro pesaría efectivamente nada. A continuación, imagine a esa misma persona en un cohete inmóvil tan lejos de la Tierra que la fuerza de gravedad es prácticamente cero. Al igual que en el ascensor en caída libre, él también pesaría nada. Ahora ponga el cohete en movimiento. A medida que el cohete acelera, el peso del pasajero se incrementa. Para él, se siente como si la gravedad ha plantado firmemente sus pies en el piso. Einstein se dio cuenta de que la fuerza de gravedad es solamente la aceleración que usted siente mientras se mueve a través del espacio-tiempo.

ORBITANDO EL SOL EN EL ESPACIO-TIEMPO

Si no hubiese nada en nuestro universo, el entramado del espacio-tiempo sería plano. Pero si se añade una masa, se forman hoyuelos en él. Los objetos más pequeños que se acerquen a esa gran masa seguirán la curva del espacio-tiempo a su alrededor. Nuestra estrella más cercana, el sol, ha configurado una forma así en el espacio-tiempo, y nuestro pequeño planeta Tierra sigue el camino, permaneciendo en órbita alrededor del sol.

En noviembre de 1919, a la edad de 40 años, Albert Einstein se convirtió en una celebridad de la noche a la mañana, gracias al eclipse solar. Un experimento había confirmado que los rayos de luz de estrellas distantes eran desviados por la gravedad del sol muy cercanamente al monto que él había predicho en su teoría de la gravedad, la relatividad general. La relatividad general fue la primera gran teoría de la gravedad desde la de Isaac Newton más de 250 años antes.

Un eclipse solar visto en 1919 ofreció la primera confirmación ampliamente aceptada de la teoría de la relatividad general de Einstein. Einstein se convirtió en un héroe y comenzó la construcción del mito. Titulares aparecieron en los periódicos de todo el mundo. El 8 de noviembre de 1919, por ejemplo, el London Times tenía un artículo titulado: “La Revolución en la Ciencia/Einstein Versus Newton”. Dos días después los titulares del The New York Times decían: “Luces Completamente(Todas) Torcidas en los Cielos/Hombres de Ciencia Más o Menos Agobiados por los Resultados de Las Observaciones del Eclipse/La

Teoría de Einstein Triunfa". El planeta estaba exhausto desde la Primera Guerra Mundial, ansioso por algún signo de la nobleza de la humanidad y repentinamente había un modesto genio científico, aparentemente interesado solamente en la actividades(desarrollos/búsquedas) intelectuales puras.

LA ESENCIA DE LA GRAVEDAD

¿Qué era la relatividad general? La teoría anterior del tiempo y el espacio de Einstein, relatividad especial, proponía que distancia y tiempo no eran absolutos. La frecuencia del tictac de un reloj depende del movimiento del observador de ese reloj; asimismo para la longitud de una "vara de medir"(regla**)**. Publicada en 1915, la relatividad general proponía que la gravedad, así como el movimiento, pueden afectar los intervalos del tiempo y el espacio. La idea clave de la relatividad general, llamada el **principio de equivalencia**, es que la ***gravedad que atrae en una dirección es completamente equivalente a una aceleración en la dirección opuesta.*** Un automóvil que acelera hacia adelante se siente tal como si una gravedad lateral le empujase a usted hacia atrás contra el asiento. Un ascensor acelerando hacia arriba se siente tal como si la gravedad le empujase hacia el suelo.

Si la gravedad es equivalente a la aceleración, y si el movimiento afecta a las medidas del tiempo y el espacio (como se muestra en la relatividad especial), entonces se deduce que la gravedad también lo hace. En particular, la gravedad de cualquier masa, tal como la de nuestro sol, tiene el efecto de deformar el espacio y el tiempo alrededor de ella. Por ejemplo, *los ángulos de un triángulo ya no suman 180 grados, y los relojes marcan más lentamente cuando se acercan a una masa gravitatoria como el sol.*

Muchas de las predicciones de la relatividad general, tales como la desviación de la luz estelar por la gravedad y un pequeño desplazamiento en la órbita del planeta Mercurio, han sido cuantitativamente confirmadas por experimentos. Dos de las predicciones más extrañas, imposibles de confirmar completamente, son la existencia de los agujeros negros y el efecto de la gravedad en el universo en su conjunto (cosmología).

ESTRELLAS COLAPSADAS

Un agujero negro es una región del espacio cuya fuerza de atracción gravitacional es tan intensa que ninguna materia, luz o comunicación de cualquier tipo puede escapar. Un

agujero negro, por lo tanto, parecería negro desde el exterior. (Sin embargo, el gas alrededor de un agujero negro puede ser muy brillante). Se cree que los agujeros negros se forman a partir del colapso de estrellas. Mientras ellas estén emitiendo calor y luz hacia el espacio, las estrellas son capaces de sostenerse a sí mismas contra de su propia gravedad hacia dentro(centrípeta) con la presión saliente(centrífuga) generada por el calor de reacciones nucleares en sus profundos interiores.

Cada estrella, sin embargo, debe agotar eventualmente su combustible nuclear. Cuando lo hace, su desequilibrada atracción auto-gravitatoria le ocasiona el colapso. Según la teoría, si una estrella consumida (quemada) tiene una masa superior a unas tres veces la masa de nuestro sol, ninguna cantidad de presión adicional puede evitar el colapso gravitatorio total. La estrella colapsa para formar un agujero negro. Para una estrella colapsada no rotatoria, el tamaño del agujero negro resultante es proporcional a la masa de la estrella madre; un agujero negro con una masa tres veces mayor que la de nuestro sol, tendría un diámetro de unos 16 kilómetros.

La relatividad general podría ser el mayor salto de la imaginación científica en la historia. La posibilidad de que las estrellas pudiesen colapsar para formar agujeros negros fue “descubierta” en forma teórica primero en 1939 por J. Robert Oppenheimer y Hartland Snyder, quienes estaban manipulando las ecuaciones de la relatividad general de Einstein. El primer agujero negro que se creía descubierto en el mundo físico, en contraposición al mundo matemático de lápiz y papel, fue Cygnus X-1, a unos de 7.000 años luz de la Tierra. (Un año luz, la distancia que recorre la luz en un año, es de unos nueve billones de kilómetros). Cygnus X-1 fue encontrada en 1970. Desde entonces, una docena de excelentes candidatos a ser agujeros negros han sido identificados. Muchos astrónomos y astrofísicos creen que los agujeros negros masivos, con tamaños de hasta 10 millones de veces el de nuestro sol, habitan los centros energéticos de galaxias y cuásares y son responsables de su enorme liberación de energía. Irónicamente, el mismo Einstein no creía en la existencia de los agujeros negros, aun cuando fueron pronosticados por su teoría.

EL COMIENZO DE TODO

A partir de 1917, Einstein y otros aplicaron la relatividad general a la estructura y evolución del universo en su conjunto. La principal teoría cosmológica, llamada la Teoría del Big Bang, fue formulada en 1922 por el matemático y meteorólogo ruso Alexander Friedmann. Friedmann comenzó con las ecuaciones de relatividad general de Einstein y encontró una solución a aquellas ecuaciones en las que el universo comenzó en un estado

de densidad y temperatura extremadamente altas (el llamado Big Bang) y luego se expandió en el tiempo, afinándose(adelgazándose) y enfriándose a medida que lo hacía. Uno de los logros más sorprendentes de la teoría del Big Bang es la predicción de que el universo tiene aproximadamente 10.000 millones de años de edad, resultado obtenido a partir de la velocidad(ratio) a la que las galaxias distantes se alejan unas de otras. Esta predicción concuerda con la edad del universo obtenida por métodos muy locales, tales como la datación de las rocas radioactivas en la Tierra.

Según la teoría del Big Bang, el universo puede seguir expandiéndose para siempre, si su gravedad hacia dentro(intro-dirigida/centrípeta) no es lo suficientemente fuerte para contrarrestar el movimiento hacia fuera(centrífugo) de las galaxias, o podría alcanzar un punto máximo de expansión y entonces empezar a colapsar, haciéndose cada vez más densa, alterando gradualmente galaxias, estrellas, planetas, personas e incluso eventualmente átomos. Cuál de estos dos destinos espera a nuestro universo puede determinarse midiendo la densidad de la materia versus la velocidad(tasa) de expansión. Gran parte de la cosmología moderna, incluyendo la construcción de nuevos telescopios gigantes como el reciente telescopio Keck en Hawai, ha sido un intento por medir estos dos índices con una precisión cada vez mayor. Con la actual precisión de medición, las cifras sugieren que nuestro universo continuará expandiéndose para siempre, haciéndose cada vez más frío, y cada vez más fino.

La relatividad general puede ser el mayor salto de la imaginación científica en la historia. A diferencia de muchos avances científicos anteriores, como el principio de selección natural, o el descubrimiento de la existencia física de los átomos, la relatividad general tenía poco fundamento en las teorías o experimentos de la época. Nadie, excepto Einstein, estaba pensando en la gravedad como un equivalente a la aceleración, como un fenómeno geométrico, como una curvatura(flexión) del tiempo y espacio. Aunque es imposible saberlo, muchos físicos creen que sin Einstein, podrían haber pasado algunas pocas décadas o más antes de que otro físico elaborara los conceptos y matemáticas de la relatividad general.

Einstein comenzó a pensar sobre la luz cuando tenía sólo 16 años. ¿Qué pasaría si persiguiese un rayo de luz mientras se mueve a través del espacio? Si usted pudiese de alguna forma dar alcance a la luz, razonaba Einstein, sería capaz de observar la luz congelada en el espacio. Pero la luz no puede ser congelada en el espacio, de lo contrario dejaría de ser luz. Eventualmente Einstein se dio cuenta de que la luz no puede ser frenada y siempre debe estar alejándose de él a la velocidad de la luz. Por lo tanto, algo más tenía que cambiar.

Einstein finalmente comprendió que el tiempo en sí mismo tenía que cambiar, lo que sentó las bases para su teoría especial de la relatividad.

Imagine que está de pie en un tren mientras su amigo está parado afuera del tren, viéndolo pasar. Si un rayo eléctrico golpease en ambos extremos del tren, su amigo vería ambos rayos caer al mismo tiempo. Pero en el tren, usted está más cerca al rayo hacia el que se dirige el tren. Entonces usted ve este rayo primero porque la luz tiene una distancia más corta por recorrer. Este experimento de pensamiento mostró que el tiempo se mueve de manera diferente para alguien en movimiento que para alguien que está parado inmóvil, cementando la creencia de Einstein de que tiempo y espacio son relativos y la simultaneidad no existe. Ésta es una piedra angular en la teoría especial de la relatividad de Einstein.

IMAGINE QUE TIENE UN GEMELO EN UNA NAVE COETE

Este experimento de pensamiento es una bien conocida variación del experimento de pensamiento del reloj de luz de Einstein, el que tiene que ver con el paso del tiempo. Digamos que usted tiene un gemelo, nacido casi al mismo tiempo exacto que usted. Pero en el momento en que su gemelo nace, él o ella es colocado en una nave espacial y lanzado al espacio a viajar a través del universo casi a la velocidad de la luz. Según la teoría especial de la relatividad de Einstein, usted y su gemelo envejecerían de manera diferente. Ya que el tiempo se mueve más lento cuanto más se acerca a la velocidad de la luz, su gemelo envejecería más lentamente. Para cuando la nave espacial aterrice de vuelta en la Tierra, usted podría estar tratando de resolver su retiro, mientras que su gemelo recién estaría intentando atravesar la pubertad.

Imagine que está flotando en una caja, incapaz de ver lo que está sucediendo fuera de la caja. De repente, se cae al suelo. ¿Entonces qué sucedió? ¿La caja está siendo atraída hacia abajo por la gravead? ¿O la caja está siendo acelerada por una cuerda que la tira hacia arriba? El hecho de que estos dos efectos produjesen los mismos resultados llevó a Einstein a la conclusión de que no hay diferencia entre la gravedad y la aceleración; son la misma cosa. Ahora consideremos la afirmación previa de Einstein de que el tiempo y el espacio no son absolutos. Si el movimiento puede afectar el tiempo y el espacio, y la gravedad y aceleración son la misma cosa, eso significa que la gravedad en realidad puede afectar al tiempo y al espacio. La capacidad de la gravedad de deformar el espacio-tiempo es gran parte de la teoría de la relatividad general de Einstein.

Einstein no fue el mayor animador(porrista/alentador?) de la teoría cuántica. De hecho, siempre estaba haciendo experimentos de pensamiento para refutarla. Pero fueron estos experimentos de pensamiento los que desafiaron a los pioneros de la teoría cuántica para perfeccionarla hasta sus más finos detalles. Uno de los experimentos de pensamiento de Einstein tenía que ver con el entrelazamiento cuántico, el que a Einstein le gustaba llamar "acción espeluznante a distancia". Imagine que tiene una moneda de dos lados que puede ser fácilmente partida por la mitad.

Usted lanza la moneda y, sin mirar, le da una mitad a su amigo y se queda con la otra mitad para usted. Entonces su amigo se sube en una nave cohete y baja a través del universo. Luego usted mira su moneda. Ve que en su mano está sosteniendo el lado de la cara de la moneda e instantáneamente sabe que su amigo, que está a miles de millones de años luz de usted en este punto, está sosteniendo el lado del sello. Si piensa que los lados de estas monedas son indeterminados, cambiando de un lado a otro entre cara y sello hasta el momento en que mira una, entonces las monedas pueden eludir la velocidad de la luz, afectándose instantáneamente entre sí, independientemente de cuántos años luz las separen.