

## A CIEN AÑOS DE LA RELATIVIDAD

José Iraides Belandria

Este año, 2005, el mundo de la ciencia celebra los cien años de la publicación de la teoría de la relatividad, una de las más notables conceptualizaciones físico-matemáticas del hombre, la cual ha influenciado casi todas las corrientes del pensamiento humano. Esencialmente, la teoría publicada por Albert Einstein en 1905, propone que el espacio, el tiempo, la masa y la energía son relativos y dependen de la velocidad del observador. Es decir, de la subjetividad del hombre.

Según la relatividad, a medida que la velocidad de un ser o un observador aumenta, el espacio se contrae, el tiempo se hace más lento, la masa incrementa y la energía crece. Si un observador pudiera adquirir la velocidad de la luz, la máxima velocidad alcanzable en el universo, el espacio se reduciría a cero, el tiempo se paralizaría, y la masa y la energía tenderían a infinito.

Estas ideas subyacentes en un mundo relativista tienden a sugerir que todo movimiento es relativo y que no existe un tiempo universal y absoluto para todos, sino que las sensaciones temporales, espaciales y energéticas dependen de la experiencia del ser. Así, el comportamiento del universo parece depender de la experiencia de los hombres, alejándose de absolutos, dioses, demonios o intervenciones divinas.

Adicionalmente, Einstein plantea que el espacio y el tiempo están íntimamente ligados, formando una estructura físico-matemática de cuatro dimensiones, en la cual tres dimensiones corresponden al espacio y una corresponde al tiempo. También postula que la máxima velocidad en el universo es la velocidad de la luz, la cual es constante e independiente de la velocidad de la fuente emisora. Como la velocidad de la luz es la misma para dos observadores moviéndose a diferentes velocidades, eso significa que la percepción del espacio y el tiempo es diferente para cada observador. En otras palabras,

el tiempo y el espacio varían de manera tal, que aseguran que la velocidad de la luz se mantenga constante en cualquier circunstancia. La velocidad de la luz es un valor límite, inalcanzable por cualquier observador del universo.

Tales planteamientos, postulados en su artículo “Sobre la Electrodinámica de los Cuerpos en Movimiento”, publicado en la revista “Annalen der Physik”, cuestionaban radicalmente las concepciones absolutistas de Aristóteles y Newton quienes expresaban que el espacio y el tiempo eran entidades separadas y absolutas, existiendo el reposo y el movimiento absoluto sin referencia a objetos externos. El espacio absoluto, ilimitado, fijo, tridimensional, euclidiano, inamovible, inmutable, surgía de la omnipresencia de Dios. El tiempo absoluto fluyendo uniforme e invariablemente era una manifestación de la eternidad. Utilizando una imagen conocida, el tiempo absoluto era como un río llevando a los fenómenos como la corriente arrastra los botes, fluyendo invariable de la misma manera, hubiera fenómenos o no. El espacio absoluto, similarmente, era como las playas del río, indiferente a los botes que pasan. Según la física clásica, un intervalo de tiempo entre dos eventos cualesquiera, era igual para cualquier observador bajo cualquier circunstancia. Igualmente ocurría con un intervalo de espacio, era igual para cualquier observador en reposo o movimiento. Contrariamente, según la relatividad los intervalos de tiempo y espacio son relativos y dependientes de la posición y velocidad de los observadores. Por ejemplo, el intervalo de tiempo en segundos que tarda el sol en moverse de un extremo a otro de la vía láctea es diferente para un observador en la tierra y un observador en algún punto de la galaxia Andrómeda. Similarmente, la distancia en metros de la tierra a neptuno no es la misma para un observador ubicado en el sol o en Antares.

Detallando un poco más el artículo “Sobre la Electrodinámica de los Cuerpos en Movimiento”, observamos como éste presenta dos partes, una dirigida a los aspectos

relativistas de la teoría cinemática y otra dedicada a varias aplicaciones de la electrodinámica. En la parte cinemática analiza el concepto de simultaneidad, la relatividad de la longitud y el tiempo, la transformación de coordenadas y tiempos de un sistema estacionario relativo a otro sistema en movimiento uniforme, el significado físico de las ecuaciones en el caso de cuerpos rígidos y relojes en movimiento, y la composición de velocidades. La segunda parte considera las aplicaciones relativistas en el campo de la electrodinámica como la transformación de las ecuaciones de Maxwell en un campo magnético en movimiento, la teoría del principio Doppler, la transformación de la energía de los rayos luminosos, la presión de radiación ejercida por reflectores perfectos, la transformación de las ecuaciones de Maxwell en presencia de corrientes convectivas, y la dinámica relativista de un electrón acelerado lentamente.

Inmediatamente, las proposiciones relativistas de Einstein llamaron la atención de los científicos, entre ellos, Planck, y otros pensadores, filósofos, pintores, poetas, novelistas, historiadores, psicólogos, quienes detectaron una nueva visión de la naturaleza, que transcendía el mundo de la física, ofreciendo alternativas inusitadas, y profundas implicaciones sobre las concepciones del universo. La ficción extendió el panorama a metáforas cósmicas describiendo viajes a través del tiempo, al pasado, al futuro, cruzando agujeros negros, ventanas multidimensionales o cuerdas tejidas con eslabones superconductores o sistemas antigravitatorios, y visionó, entre otras posibilidades, seres moviéndose a velocidades mayores que la luz, invisibles como fantasmas, en reinos matemáticos imaginarios o en universos cuánticos de antimateria.

La visión planteada en el artículo de 1905 se conoce como la génesis de la relatividad o la teoría especial de la relatividad, la cual analiza la comparación de eventos hechos por observadores que están en sistemas de referencia dotados con movimientos relativos no acelerados donde la acción de la gravedad puede ser

despreciada, y es imposible detectar el tiempo y el reposo absoluto, y el éter, cuya existencia es innecesaria para explicar el movimiento relativo. En esta primera parte de la teoría de la relatividad, la intuición física de Einstein apoyada con herramientas matemáticas relativamente sencillas, penetra la esencia del espacio y el tiempo y concibe la geometría cuatridimensional del universo en el cual vivimos. Solamente dos postulados bastaron para moldear el monumento de la relatividad. El primer postulado argumentaba que las leyes de la física eran las mismas en cualquier sistema de referencia inercial, es decir en movimiento rectilíneo uniforme, y el segundo postulado expresaba la constancia de la velocidad de la luz en el vacío.

El estudio de observadores con movimientos relativos más complejos en regiones donde la gravedad es importante fue tratado por Einstein en un artículo más extenso publicado en 1915, en el cual plantea la llamada teoría general de la relatividad. Allí abordó la gravitación, conceptuándola como una propiedad de la geometría del universo, es decir una consecuencia de la curvatura del espacio-tiempo en la vecindad de cuerpos masivos. Tal interpretación es diferente a la concepción de Newton, quien consideraba a la gravedad como una fuerza resultante de la atracción entre dos cuerpos. Las predicciones de la teoría general de la relatividad, completadas hacia 1916, sugieren la forma curva del universo, la existencia de agujeros negros y ondas gravitatorias, la curvatura de la luz por la gravedad, la predicción de orbitas estelares, y sino se restringe con la constante cosmológica, insinúa la expansión del cosmos. El basamento matemático de la teoría general de la relatividad esta soportado por la geometría no euclidiana de Riemman, ajustada a un universo cuatridimensional como lo concebía Minkowsky.

Volviendo de nuevo al año 1905, cuyo centenario estamos celebrando, vale la pena recordar como ese año, en alarde de imaginación e intuición incomparable,

Einstein, a la sazón un técnico de la oficina de patentes de Suiza, escribió en sus tiempos libres, además de la teoría de la relatividad otros trabajos de considerable importancia en el campo de la física.

Recorriendo su historia, en marzo de 1905 publica en “Annalen der Physik” el artículo “Sobre un Punto de Vista Heurístico Concerniente a la Producción y Transformación de la Luz”, en el cual descubre el efecto fotoeléctrico utilizando conceptos de la mecánica cuántica. Allí, explica la transformación de la luz en electricidad. Por este trabajo recibe el premio Nóbel de física en 1921. Luego, en mayo de 1905 somete a consideración del jurado su tesis doctoral “Sobre la Determinación de las Dimensiones Moleculares”, en la cual, aplicando teorías de hidrodinámica clásica y procesos de difusión deriva un modelo estadístico para predecir el movimiento browniano. Después, en junio de 1905, publica en “Annalen der Physik” el trabajo “Sobre la Electrodinámica de los Cuerpos en Movimiento” que contenía la fuente de la teoría de la relatividad. Y, finalmente, en septiembre de 1905, aparece en “Annalen der Physik” el artículo “¿Depende la Inercia del Contenido de Energía?”, en el cual describe la conversión de masa en energía, presentando la ecuación más famosa de la física:  $E = mc^2$  a la masa por la velocidad de la luz al cuadrado.

José Iraides Belandria. Profesor titular de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes. Investigador y docente en las áreas de termodinámica, catalizadores, reactores químicos, petróleos pesados, fisicoquímica, química orgánica, química industrial y metodología de la investigación. Es autor de patentes, libros y artículos vinculados con la ciencia y otros temas de interés general. Entre otros reconocimientos,

ha sido postulado al premio nacional de ciencias por la Facultad de Ingeniería de la ULA y ha recibido el Premio Francisco de Venanzi mención tecnología.