

VELOCIDAD DE LA LUZ VARIABLE EN UN ESPACIO CUADRIDIMENSIONAL ANISÓTROPO

J. C. Pérez Ramos (e-mail: jcperezramos@yahoo.com)

RESUMEN: Se muestra cómo la relatividad einsteiniana contradice, por un lado, la isotropía de la expansión del universo y, por otro, las evidencias empíricas acumuladas en las últimas décadas a favor de la existencia de un sistema de referencia preferente. Se postula un nuevo principio heurístico, la invariancia del radio del universo, del que se derivan nuevas ecuaciones de transformación. A continuación se desarrolla el escenario geométrico y se prueba que el universo en el espacio cuadrimensional de Minkowski equivale a una hiperesfera que no verifica las propiedades de homogeneidad ni isotropía del espacio. El nuevo paradigma asimila con total naturalidad la expansión del universo, soluciona el problema cosmológico del horizonte, explica el efecto de dilatación temporal asimétrica (por ejemplo, en la paradoja de los gemelos) y describe el Big Bang de un modo original mediante una hiperesfera de radio nulo. La velocidad de la luz adquiere un significado geométrico inédito que justifica una teoría VSL (variable speed of light) y esclarece importantes cuestiones de la física de nuestro tiempo como la anomalía de las Pioneer, problemas cosmológicos, materia oscura, energía oscura, paradoja de Loschmidt e incluso el principio de indeterminación de Heisenberg.

1. INTRODUCCIÓN

“El resultado más importante de nuestras reflexiones es el siguiente: *que precisamente los principios mecánicos de apariencia más simple son de un carácter sumamente complicado; que estos principios se fundan en experiencias incompletas, incluso en experiencias que nunca llegarán a completarse; que, de hecho, tales principios son suficientemente sólidos –en vista de la estabilidad de nuestro entorno– para servir de base a deducciones matemáticas, no obstante lo cual dichos principios no pueden concebirse como verdades matemáticas establecidas, sino únicamente como principios que admiten y requieren una verificación constante por parte de la experiencia*”. Ernst Mach [1]

1.1. La transformación de Lorentz frente a la expansión cosmológica

En la *configuración estándar* se tienen dos sistemas de coordenadas S y S' en movimiento relativo con velocidad V a lo largo de la dirección común $X_1X'_1$ que obtienen respectivamente las medidas espacio-temporales (x_1, x_2, x_3, x_4) y (x'_1, x'_2, x'_3, x'_4) , donde $x_4 = ct$ y $x'_4 = ct'$. Si en el instante $t = t' = 0$ coinciden los orígenes O y O' de ambos sistemas y se emite desde el origen un pulso de luz, el principio de invariancia de la velocidad de la luz requiere que cada observador vea el frente de ondas como una *esfera* con centro en el correspondiente origen y radio c veces el tiempo. Las coordenadas de dicho pulso en S y S' estarán relacionadas mediante las ecuaciones de transformación de Lorentz (TL):

$$x_1 = \gamma(x'_1 + \beta ct') \quad x_2 = x'_2 \quad x_3 = x'_3 \quad x_4 = \gamma(x'_4 + \beta x'_1) \quad (1)$$

donde $\beta = V/c$, $\gamma = 1/(1 - \beta^2)^{1/2}$ y c es la velocidad de la luz.

La TL plantea una situación extraordinaria: un observador O se ve a sí mismo en todo momento en el centro de un pulso de luz mientras otro observador O' se ve también en todo momento en el centro del mismo pulso de luz. ¿Cómo puede el *mismo* pulso de luz tener dos centros distintos? La explicación por supuesto se encuentra en la contracción espacial y en la dilatación temporal, que invalidan la métrica euclídea.

En geometría euclídea, la propiedad según la cuál una esfera tiene un solo centro puede ser enunciada como: *si dos puntos A y B están situados en el centro de una misma esfera, entonces A y B son idénticos*. Se trata de una versión de la ley de identidad de los indiscernibles (*si dos objetos A y B comparten todas sus propiedades, entonces A y B son idénticos*) que ya fue enunciada por Euclides en la noción común 1 del Libro I de los “Elementos” [2] (*cosas iguales a una tercera son iguales entre sí*). Los múltiples centros de la esfera de luz relativista cuestionan la validez general de la ley de identidad de los indiscernibles, un principio crucial que ya fue tratado en el histórico debate epistolar entre Leibniz y Clarke (como portavoz de Newton) [3].

La TL no se aplica sólo a las medidas espacio-temporales como en (1), sino también a las velocidades:

$$U_1 = \gamma(U'_1 + \beta U'_4) \quad U_2 = U'_2 \quad U_3 = U'_3 \quad U_4 = \gamma(U'_4 + \beta U'_1) \quad (2)$$

Las coordenadas 3D de la velocidad (v_1, v_2, v_3) se relacionan con las 4D (U_1, U_2, U_3, U_4) mediante:

$$U_1 = \frac{v_1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \quad U_2 = \frac{v_2}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \quad U_3 = \frac{v_3}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \quad U_4 = \frac{ic}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \quad (3)$$

donde $\beta = v/c$, $\gamma = 1/(1 - v^2/c^2)^{1/2}$, $V = (v_1^2 + v_2^2 + v_3^2)^{1/2}$ e i es la unidad imaginaria.

¿Qué ocurre cuando dos sistemas S y S' en *configuración estándar* miden la velocidad de alejamiento de las galaxias? Si en el instante $t = t' = 0$ coinciden los orígenes O y O' de ambos sistemas y se mide desde el origen la distancia y velocidad de alejamiento de una galaxia en la dirección común $X_1X'_1$, las coordenadas de dicha galaxia en S y S' verificarán:

$$x_1 = \gamma(x'_1 + \beta ct') \quad (4)$$

$$U_1 = \gamma(U'_1 + \beta U'_4) \quad (5)$$

y entonces

$$U_1/x_1 = (U'_1 + \beta U'_4)/(x'_1 + \beta ct') \quad (6)$$

De acuerdo a (6), el valor de v_1/x_1 medido en S será en general distinto al valor de v'_1/x'_1 medido en S' . Así, el ritmo de expansión del universo difiere para distintos observadores inerciales en la dirección de alejamiento relativo, mientras que coincide en la dirección perpendicular al movimiento. Si un observador inercial en S ve una expansión isotrópica (idéntico ritmo de expansión del universo en todas las direcciones del espacio), un observador inercial en S' necesariamente ve una expansión anisótropa (distinta “constante” de Hubble en distintas direcciones). En contra de la creencia establecida, las ecuaciones de TL no son compatibles con la isotropía del espacio porque de entre todos los sistemas de referencia inerciales existe uno y sólo uno en el que la expansión cosmológica es isotrópica. Para el resto de observadores inerciales en movimiento con respecto a él, la expansión es necesariamente anisótropa.

Es fácil comprobar el carácter anisótropo de la TL incluso imaginando un universo estático. En este caso, si un observador en S ve una esfera de radio R con una densidad de galaxias constante por unidad de volumen, un observador en S' en movimiento con respecto a él verá que en la dirección del movimiento aumenta la densidad de galaxias. Respecto a S' , el universo será anisótropo y no todos los observadores inerciales serán equivalentes para la descripción de la naturaleza.

Las ecuaciones de TL tienen una naturaleza anisótropa porque la contracción espacial afecta a la dirección del movimiento de distinta manera que a la dirección perpendicular (*una transformación que afecta de modo distinto a distintas direcciones del espacio constituye la definición misma de la anisotropía*).

La consideración simultánea de la TL y la ley de expansión de Hubble determina un sistema de referencia inercial (y sólo un sistema de referencia inercial en un punto dado) respecto al cuál la expansión del universo es isotrópica. Como explicó el propio Einstein [4], a tal sistema de referencia se le puede calificar, y con razón (por sus ventajas para la descripción de la naturaleza), de sistema privilegiado: “*Si el principio de relatividad (en sentido restringido) no es válido, entonces los sistemas de coordenadas de Galileo K, K', K'' , etc., que se mueven uniformemente unos respecto a los otros, no serán equivalentes para la descripción de los fenómenos físicos. En este caso no tendríamos más remedio que pensar que las leyes de la naturaleza sólo pueden formularse con especial sencillez y naturalidad si de entre todos los sistemas de Galileo eligiésemos como cuerpo de referencia uno (K_0) que tuviera un estado de movimiento determinado. A éste lo calificaríamos, y con razón (por sus ventajas para la descripción de la naturaleza), de “absolutamente en reposo”, mientras que de los demás sistemas galileanos K diríamos que son “móviles” [...]. En estas leyes generales de la naturaleza formuladas respecto a K tendrían que desempeñar un papel el módulo y la dirección de la velocidad del vagón*”.

1.2. La isotropía del espacio frente a las evidencias empíricas

Entre los motivos esgrimidos por Einstein para postular su teoría de relatividad especial (RE) estaba la incapacidad de observar anisotropía alguna en el espacio [4]: “*Pese al esmero que se ha puesto en detectar una tal anisotropía del espacio físico terrestre, es decir, una no equivalencia de las distintas direcciones, jamás ha podido ser observada. Lo cuál es un argumento de peso a favor de la relatividad*”. Mucho ha cambiado nuestra capacidad tecnológica desde entonces. Actualmente, de acuerdo a autores como Wilhelm [5], Wesley [6] o Levy [7], la anisotropía del espacio se manifiesta indirectamente en la velocidad absoluta del sistema solar medida en numerosas pruebas experimentales: Vaucouleurs & Peters [8], Rubin [9], Conklin [10], Henry [11], Smoot et al [12], Gorenstein & Smoot [13], Partridge [14], Monstein & Wesley [15], Marinov [16-17], Torr and Kolen [18], DeWitte [19] o Cahill & Kitto [20-21].

Si el gran descubrimiento del experimento de Michelson-Morley (EMM) fue el hecho de que no se evidenciaban efectos significativos del movimiento absoluto de la Tierra, no se ha sabido conceder la suficiente importancia al detalle de que los efectos sólo son insignificantes si el interferómetro opera en el *espacio vacío*. Múnera [22] planteó que un interferómetro operando en un dieléctrico evidenciaría efectos pequeños pero significativos. Cahill & Kitto aplicaron las correspondientes correcciones a interferómetros de gas y midieron efectos equivalentes a una velocidad absoluta de 369 ± 123 km/s, recalculada después a 420 ± 30 km/s, en buena consonancia con los resultados de los experimentos citados en el párrafo anterior [8-21] y con la estimación de 365 ± 18 km/s del satélite COBE [23]. Una confirmación aún más precisa de las conclusiones de Cahill & Kitto podría obtenerse empleando medios como el agua o el vidrio, con mayor índice de refracción que los medios gaseosos.

La anisotropía asociada a la velocidad absoluta de la Tierra ronda la milésima parte de la velocidad de la luz, tan ligera que bien puede calificarse de cuasi-isotropía. Un valor tan pequeño la hace compatible con los experimentos clásicos: Michelson & Morley (1887), Miller (1925/26), Illingworth (1927), Joos (1930), Jaseja et al (1964), etc.

Las ideas del éter de Lorentz & Fitzgerald [24-25], Poincaré [26], Larmor [27], Dirac [28] o incluso Dingle [29], planteadas de un modo más actual por Bell [30-31], están siendo reivindicadas ahora por investigadores como Demjanov [32-34], Dmitriyev [35], Niayesh [36-37], Jacobson [38] o Cahill & Kitto [20-21], que a su vez han recogido el testigo de un respetable número de predecesores [39-47]. Incluso en mecánica cuántica surge la posibilidad de una referencia absoluta, como apuntaron Dirac [28], Bohm [48], Bell [31] y, más recientemente, Hardy [49] y Percival [50]. Bien entendido que la teoría contemporánea del “éter” engloba en realidad a una diversidad de ideas que tienen en común la existencia de un sistema de referencia preferente.

Ni el EMM ni ningún otro semejante son incompatibles con la idea de un sistema de referencia absoluto: para Lorentz, la contracción espacial es una contracción *respecto al éter*; para Einstein es *relativa al observador*. En ambos casos se emplea idéntica ecuación, porque una cosa es el formalismo matemático y otra la interpretación que hagamos de él. Según Bell [30], resulta extremadamente difícil distinguir empíricamente entre las dos interpretaciones.

Las evidencias empíricas a favor de la anisotropía del espacio son, si no definitivas, ciertamente sólidas. Tanto la vía experimental como la vía del análisis formal cuestionan la teoría de la relatividad especial.

2. PARTE GEOMÉTRICA

“El concepto de “verdadero” no se aplica a las proposiciones de la Geometría pura, porque con la palabra “verdadero” solemos designar siempre, en última instancia, la coincidencia con un objeto “real”; la Geometría, sin embargo, no se ocupa de la relación de sus conceptos con los objetos de la experiencia, sino sólo de la relación lógica que guardan estos conceptos entre sí”. Albert Einstein [4]

2.1. La invariancia del radio del universo

De requerirse una ruptura con los principios einsteinianos, no conviene que sea excesivamente brusca desde el punto de vista matemático. En primer lugar, la relatividad es una teoría muy exitosa aunque haya motivos para considerarla imperfecta. En segundo lugar, las evidencias empíricas apuntan a la cuasi-isotropía del espacio, es decir que las transformaciones relativistas (1) y (2) deben ser una buena aproximación a la realidad en un gran número de situaciones.

Si se compara la transformación de posiciones (1) con la transformación de velocidades (2), se presentan tanto semejanzas como diferencias. Mientras que (2) tiene una plena homogeneidad dimensional al estar constituida íntegramente por velocidades, (1) se caracteriza por contener variables de una mayor heterogeneidad dimensional, porque aparecen tanto velocidades como distancias; y mientras que (2) distingue perfectamente las coordenadas 3D clásicas (v_1, v_2, v_3) de las correspondientes coordenadas 4D (U_1, U_2, U_3, U_4), en (1) las componentes 3D clásicas (x_1, x_2, x_3) se identifican totalmente con las respectivas componentes reales de la posición 4D (x_1, x_2, x_3, ict).

A la vista de las relaciones (1) y (2), se puede definir una nueva transformación, inédita y no-relativista, que surge al aplicar el formalismo (2) a las distancias en lugar de a las velocidades. Se pretende con ello que los observadores inerciales que se muevan de acuerdo a la ley de Hubble vean la expansión cosmológica de modo isótropo y midan idéntica constante de Hubble en todas las direcciones (ver apartado 2.2). Sean dos observadores separados por una distancia r en la dirección común $\chi_1\chi'_1$. Para un evento en un punto P, las coordenadas 4D obtenidas en S y S' son respectivamente $(\chi_1, \chi_2, \chi_3, \chi_4)$ y $(\chi'_1, \chi'_2, \chi'_3, \chi'_4)$, y están relacionadas mediante las ecuaciones de transformación correspondientes a un giro hiperbólico:

$$\chi_1 = \gamma_r(\chi'_1 + \beta_r \chi'_4) \quad \chi_2 = \chi'_2 \quad \chi_3 = \chi'_3 \quad \chi_4 = \gamma_r(\chi'_4 + \beta_r \chi'_1) \quad (7)$$

donde $\beta_r = r/R$, $\gamma_r = 1/(1 - r^2/R^2)^{1/2}$, $r = (x_1^2 + x_2^2 + x_3^2)^{1/2}$.

Las coordenadas 3D (x_1, x_2, x_3) se relacionan con las 4D ($\chi_1, \chi_2, \chi_3, \chi_4$) mediante:

$$\chi_1 = \frac{x_1}{\sqrt{1 - \frac{r^2}{R^2}}} \quad \chi_2 = \frac{x_2}{\sqrt{1 - \frac{r^2}{R^2}}} \quad \chi_3 = \frac{x_3}{\sqrt{1 - \frac{r^2}{R^2}}} \quad \chi_4 = \frac{iR}{\sqrt{1 - \frac{r^2}{R^2}}} \quad (8)$$

En la nueva transformación, las coordenadas espaciales clásicas (x_1, x_2, x_3) no se identifican totalmente con las respectivas componentes reales de las coordenadas 4D ($\chi_1, \chi_2, \chi_3, \chi_4$). Se introduce una distancia R por motivos de homogeneidad dimensional, al igual que se expresan los coeficientes de transformación β_r y γ_r en función exclusivamente de distancias, logrando así que todos los parámetros involucrados en la transformación (7) sean del mismo tipo. ¿Cuál es el significado de R ? La suma de los cuadrados de las componentes del vector de posición 4D queda:

$$\chi_1^2 + \chi_2^2 + \chi_3^2 + \chi_4^2 = -R^2 \quad (9)$$

que corresponde a una esfera 4D o hiperesfera de radio R . En rigor, no se trata de una hiperesfera, dado el carácter complejo de la cuarta componente, pero sí es, desde el punto de vista formal, lo más parecido a una hiperesfera que se puede definir en el espacio de Minkowski.

Un observador no mide directamente las posiciones 4D ($\chi_1, \chi_2, \chi_3, \chi_4$), sino posiciones 3D (x_1, x_2, x_3). Tomando las componentes de la posición 4D dadas en (8) y sustituyendo en (9) se obtiene

$$x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 \leq R^2 \quad (10)$$

que corresponde a una esfera 3D de radio R . Si la transformación (7) es válida, entonces las posiciones 4D asociadas a un observador están situadas *sobre* la hipersuperficie de una esfera 4D como expresa (9), mientras que las medidas de las posiciones 3D clásicas están *dentro* de una esfera de radio R como expresa (10). Ahora se hace evidente el significado de R : el radio del universo.

¿Es posible que la teoría de la relatividad especial sea un caso particular del movimiento sobre una hiperesfera en el espacio 4D de Minkowski? Se comprobará que la respuesta es afirmativa (ver apartado 2.2).

La hipersfera constituye un escenario idóneo sobre el que construir un modelo anisótropo del universo, porque establece un sistema de referencia preferente muy fácil de identificar: el centro de la hipersfera. No sólo se trata de que tal sistema de referencia nos resulte más *natural*, se trata de que las leyes de la física expresadas respecto a él sean más *sencillas* que respecto a otros sistemas. En la hipersfera, las leyes de la naturaleza se formulan con especial sencillez y naturalidad si de entre todos los sistemas se elige como referencia su centro C. A éste se le calificará, y con razón (por sus ventajas para la descripción de la naturaleza), de “absolutamente en reposo”, mientras que de los demás sistemas de referencia se dirá que son “móviles”. En estas leyes generales de la naturaleza formuladas respecto a C desempeñan un papel los vectores posición y velocidad de las partículas.

En relatividad especial, el teorema de adición de velocidades relativistas se expresa como:

$$v_1 = \frac{v'_1 + V}{1 + \frac{Vv'_1}{c^2}} \quad v_2 = \frac{v'_2}{\gamma \left(1 + \frac{Vv'_1}{c^2}\right)} \quad v_3 = \frac{v'_3}{\gamma \left(1 + \frac{Vv'_1}{c^2}\right)} \quad (11)$$

Si $V/c \ll 1$, es decir si la velocidad de alejamiento entre los observadores es mucho más pequeña que la velocidad de la luz, se obtiene aproximadamente la simple adición de componentes galileana: $v_1 \approx v'_1 + V$, $v_2 \approx v'_2$ y $v_3 \approx v'_3$. El teorema de adición de velocidades tiene la extraordinaria propiedad de que la suma de dos velocidades nunca puede exceder el valor c . Supóngase, en un caso extremo, que tanto V como v'_1 son iguales a c . De la simple adición de componentes galileana se obtiene que $v_1 = v'_1 + V = c + c = 2c$, mientras que del teorema de adición de velocidades relativistas resulta que $v_1 = (c + c)/[1 + (c^2/c^2)] = c$.

En la hipersfera, a partir de (7) se deduce el teorema de adición de distancias:

$$x_1 = \frac{x'_1 + r}{1 + \frac{r \cdot x'_1}{R^2}} \quad x_2 = \frac{x'_2}{\gamma_r \left(1 + \frac{r \cdot x'_1}{R^2}\right)} \quad x_3 = \frac{x'_3}{\gamma_r \left(1 + \frac{r \cdot x'_1}{R^2}\right)} \quad (12)$$

Si $r/R \ll 1$, es decir si la distancia entre los observadores en S y S' es mucho más pequeña que el radio del universo, se obtiene aproximadamente la simple adición de componentes euclídea: $x_1 \approx x'_1 + r$, $x_2 \approx x'_2$ y $x_3 \approx x'_3$. Entonces, la geometría euclídea surge como una primera aproximación a la geometría de la hipersfera cuando las distancias son mucho más pequeñas que el radio R . El teorema de adición de distancias tiene la extraordinaria propiedad de que la suma de dos distancias nunca puede exceder el valor R . Supóngase, en un caso extremo, que tanto r como x'_1 son iguales a R . De la simple adición de componentes euclídea se obtiene que $x_1 = x'_1 + r = R + R = 2R$, mientras que del teorema de adición de distancias resulta que $x_1 = (R + R)/[1 + (R^2/R^2)] = R$.

La analogía entre el carácter límite de c y el carácter límite de R es total. ¿Qué ocurre si en teoría relativista se supera la velocidad de la luz? Nada, porque nada puede viajar más rápido que la luz. ¿Qué hay en la hipersfera más allá del radio del universo? Nada, porque nada puede desplazarse más allá de R .

La hipersfera está asociada a un principio de invariancia del tamaño del universo (*el tamaño del universo es el mismo para todos los observadores y el valor de su radio, R , no depende de la posición del observador*) que bien puede ser enunciado como un principio restrictivo para las leyes naturales (*nada puede situarse a una distancia mayor que R de un observador*), semejante a los principios restrictivos subyacentes en la segunda ley de la termodinámica (*ningún sistema cerrado puede reducir su entropía*) y en la propia física relativista (*nada puede viajar más rápido que la luz*).

Si la Figura 1 representa el universo visto desde O con las distancias $OO' = r$ y $OL = OL' = R$, ¿cuáles son las distancias $O'L$ y $O'L'$ medidas desde O'?

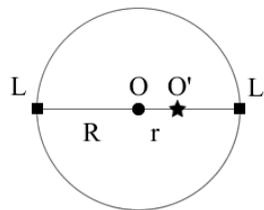


Figura 1. El universo desde O es una esfera de radio R . Los puntos límite L y L' del horizonte de sucesos están situados a una distancia R de O, en tanto que el observador O' está situado a una distancia r .

Las distancias desde O' a los límites del universo L y L' deben verificar el teorema de adición de distancias (12), entonces:

$$O'L = (O'O + OL)/(1 + O'O \cdot OL/R^2) = (r + R)/(1 + r \cdot R/R^2) = R \quad (13)$$

$$O'L' = (OO' + O'L')/(1 + OO' \cdot O'L'/R^2) \quad (14)$$

de donde

$$R = (r + O'L')/(1 + r \cdot O'L'/R^2) \quad (15)$$

El único valor de $O'L'$ que hace cierta esta ecuación para todo $r \leq R$ es $O'L' = R$. Entonces, $O'L = O'L' = R$ y resulta que O' se ve a sí mismo en el centro de los límites del universo L y L' , como representa la Figura 2 derecha.

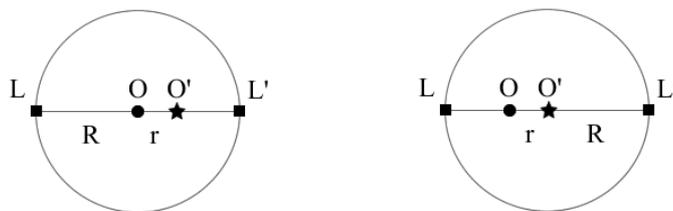


Figura 2. Universo desde O (izquierda) y desde O' (derecha). Tomando como origen O' , el universo es una esfera de radio R . Los puntos límite L y L' del horizonte de sucesos están situados a una distancia R de O' , en tanto que el observador O está situado a una distancia r .

No sólo O y O' , sino también cualquier otro observador se ve a sí mismo en el centro de la esfera límite. Esta idea se comprenderá mejor al representar gráficamente el espacio de Minkowski. Puesto que no es posible representar un universo 4D, se suprimirán dos de las dimensiones espaciales para reducir la ecuación de la hipersfera a

$$\chi_1^2 + \chi_4^2 = -R^2 \quad (16)$$

El cuadrado de χ_4 es negativo, luego en realidad (16) es la ecuación de una hipérbola en un espacio bidimensional de Minkowski (Figura 3 izquierda). Desde el punto de vista de un observador O , el universo en el espacio bidimensional de Minkowski es una hipérbola de longitud infinita definida por el centro de coordenadas C , el vértice O , donde se encuentra el observador, y los puntos del infinito L y L' . Claro que, en realidad, el observador O no mide directamente la coordenada χ_1 (no tiene experiencia directa del espacio de Minkowski) sino la coordenada real x_1 . Y de acuerdo a (8), lo que en el espacio bidimensional de Minkowski es una hipérbola de longitud infinita y distancia $OC = R$ (Figura 3 izquierda), en el espacio real es un segmento de longitud $2R$ con O como punto central (Figura 3 centro-superior).

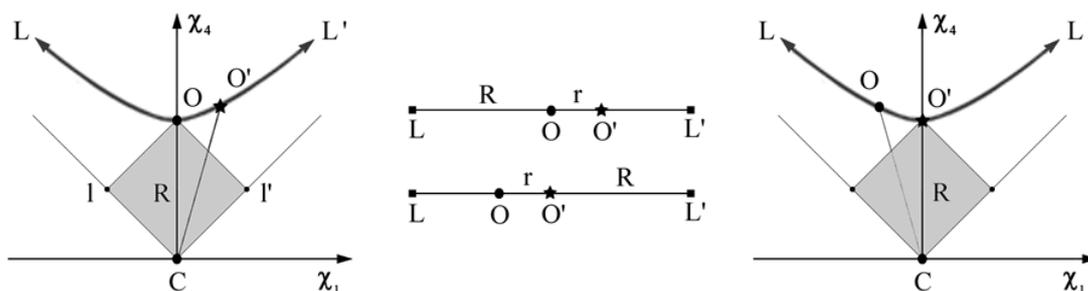


Figura 3. Espacio de Minkowski visto desde O (izquierda) y desde O' (derecha). Espacio real desde O (centro-superior) y desde O' (centro-inferior).

Los sentidos del observador O le dicen que el punto L está a una distancia R , y así es en verdad. Pero esos sentidos engañan a O cuando se imagina que L es un punto al que puede acercarse, porque en realidad es un punto del infinito en el espacio de Minkowski, espacio del cuál el observador no tiene experiencia directa.

En la Figura 3 centro-superior, si el observador O' intenta acercarse al punto límite L recorriendo una distancia r , comprobará que la distancia desde la nueva posición sigue siendo igual a R . A pesar de recorrer una distancia r en dirección a L , el observador O' no reduce en absoluto la distancia que le separa de L ; y a pesar de recorrer una distancia r en dirección opuesta a L , no aumenta la distancia que le separa de L' . En consecuencia, un observador se encuentra situado en el centro de los límites del universo 3D desde su propio punto de vista y, si se desplaza a otro punto, el nuevo punto pasará a desempeñar el papel de centro de su universo 3D. La nueva geometría resulta sorprendente, pero no más que el teorema de adición de velocidades de la relatividad especial. De acuerdo a la invariancia de c , un observador, no importa a qué velocidad se mueva, siempre medirá el mismo valor de la velocidad de la luz. De acuerdo a la invariancia de R , un observador, no importa a qué posición se desplace, siempre medirá el mismo valor de la distancia a los límites del universo.

Los puntos L y L' (para ser más precisos, todos los puntos de la esfera de radio R) poseen un carácter límite que los hace inalcanzables. La invariancia del tamaño del universo y el teorema de adición de distancias son las expresiones más precisas de una nueva geometría: la geometría hipersférica.

La Figura 3 muestra por qué *el universo puede tener más de un centro*, de hecho *infinitos centros*. Un observador, cualquiera que sea su ubicación en la hipérbola, tiene infinitos puntos a su derecha e infinitos puntos a su izquierda. Desde su propio punto de vista, el observador está en el centro de la hipérbola, aunque no lo esté desde el punto de vista de los demás observadores.

2.2. La relatividad einsteiniana como caso particular del movimiento en la hiperesfera

Para comprender las propiedades fundamentales de la hiperesfera resultó útil suponer el radio R constante, pero evidencias empíricas (ley de Hubble) obligan a suponer que el radio $R(t)$ aumenta con el tiempo. Entonces la hiperesfera se está expandiendo y su ecuación queda:

$$\chi_1^2 + \chi_2^2 + \chi_3^2 + \chi_4^2 = -R^2(t) \quad (17)$$

Cuando el movimiento de un observador es radial (como O y O' en la Figura 4), el vector posición 4D es paralelo a la velocidad 4D y en consecuencia ambos cuadvectores definen ángulos constantes e idénticos respecto a los ejes χ_1 y χ_4 .

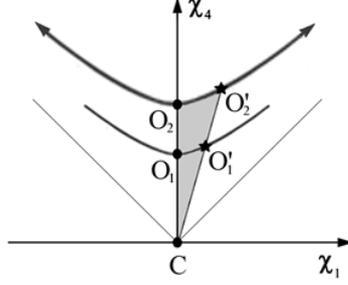


Figura 4. Expansión del universo. En un corte bidimensional del espacio de Minkowski, la hipérbola inferior contiene los observadores O_1 y O'_1 . La hipérbola superior contiene los mismos observadores una vez que se han desplazado a lo largo de una trayectoria radial hasta ocupar los puntos O_2 y O'_2 respectivamente. Los ángulos que forman el vector posición y el vector velocidad de O respecto a los ejes χ_1 y χ_4 son iguales entre sí y constantes a lo largo del tiempo. Lo mismo puede afirmarse de la posición y la velocidad de O' .

Para los dos observadores O y O' en movimiento radial, los parámetros de transformación de las posiciones (β_r y γ_r) y de las velocidades (β y γ) son constantes a lo largo del tiempo y, además, coinciden respectivamente entre sí:

$$\beta_r = r/R = v/c = \beta \quad (18)$$

$$\gamma_r = 1/(1 - \beta_r^2)^{1/2} = 1/(1 - \beta^2)^{1/2} = \gamma \quad (19)$$

Las ecuaciones de transformación de la hiperesfera en función de β_r y γ_r dadas en (7) adquieren una expresión más elegante en forma matricial como en (20). Por la equivalencia de los parámetros de transformación (18) y (19) en el caso de movimiento radial, se puede expresar (20) también en función de β y γ como en (21).

$$\begin{bmatrix} \chi'_1 \\ \chi'_2 \\ \chi'_3 \\ i\chi'_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_r & 0 & 0 & i\gamma_r\beta_r \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -i\gamma_r\beta_r & 0 & 0 & \gamma_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \chi_1 \\ \chi_2 \\ \chi_3 \\ i\chi_4 \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$\begin{bmatrix} \chi'_1 \\ \chi'_2 \\ \chi'_3 \\ i\chi'_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma & 0 & 0 & i\gamma\beta \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -i\gamma\beta & 0 & 0 & \gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \chi_1 \\ \chi_2 \\ \chi_3 \\ i\chi_4 \end{bmatrix} \quad (21)$$

A pequeña escala, cuando las distancias entre los observadores O y O' son mucho más pequeñas que el radio del universo ($r \ll R$), las componentes 4D de la posición son aproximadamente iguales a las correspondientes componentes 3D ($\chi_1 \approx x_1$, $\chi_2 \approx x_2$, $\chi_3 \approx x_3$) y la transformación de la hiperesfera (21) coincide con la TL. Así como las leyes newtonianas se obtienen como el límite de la relatividad einsteiniana a bajas velocidades, las leyes relativistas se obtienen como el límite de las leyes de la hiperesfera para observadores en movimiento radial a pequeñas distancias.

Ahora es fácil comprobar que todos los observadores en movimiento radial ven una expansión isotrópica y la describen mediante la ley de Hubble. Si el movimiento a gran escala de los observadores es radial, los parámetros de transformación β y β_r son iguales:

$$v/c = r/R \quad (22)$$

es decir

$$v = (c/R) r = H r \quad (23)$$

En una hipersfera en la que las galaxias se mueven a gran escala en trayectorias aproximadamente radiales, (23) demuestra que la velocidad v de alejamiento entre dos galaxias cualesquiera es proporcional a la distancia r que las separa. La ley de Hubble es entonces una necesidad geométrica en la hipersfera en expansión y la constante de Hubble viene dada por la relación:

$$H = c/R \quad (24)$$

El valor de la constante de Hubble fue estimado por la NASA en 2007 en $H = 70,8 \text{ (km/s)/Mpc} = 2,18 \cdot 10^{-18} \text{ s}^{-1}$ con un error del 5% o menos. Entonces el radio del universo será:

$$R = c/H = 1,37 \cdot 10^{26} \text{ m} \approx 14,5 \text{ millones de años luz} \quad (25)$$

No debe sorprender que la estimación de R deducida del modelo de la hipersfera en expansión difiera de las estimaciones comúnmente aceptadas en la actualidad, basadas en los supuestos de que tanto la teoría de la relatividad como el modelo del Big Bang estándar son ciertos. La hipersfera se basa en sus propios supuestos (invariancia de R), verifica sus propias leyes geométricas y en consecuencia plantea sus propias estimaciones.

Una diferencia crucial entre la hipersfera y la relatividad einsteiniana es que, en la primera, la transformación de posiciones depende de las distancias, mientras que, en la segunda, depende de las velocidades. Cuando el movimiento de los observadores es radial, resulta indiferente expresar los parámetros de la matriz de transformación de la hipersfera en función de las velocidades o en función de las distancias, en cuyo caso la TL mantiene su validez. Pero, cuando se aplica la TL a sistemas en movimiento no radial, se pueden obtener resultados inexactos e incluso incongruentes, como las paradojas espacio-temporales.

La hipersfera comparte los planteamientos de quienes consideraron inconsistentes los postulados de la relatividad einsteiniana (Bergson [51], Lovejoy [52], Ives [53] o Essen [54], entre otros muchos) o denunciaron, como Dingle [29], que el carácter asimétrico de la dilatación temporal en el espacio de Minkowski (por ejemplo, en la paradoja de los gemelos) sólo tendría sentido en un espacio-tiempo absoluto.

Las expresiones (20) y (21) equivalen a sendos giros (hiperbólicos) y demuestran más allá de toda duda el carácter anisótropo de la TL que la física relativista no supo admitir. Todo giro tiene un centro, un punto de referencia preferible a los demás, lo que atenta contra la homogeneidad del espacio y contra el principio de relatividad mismo.

2.3. Ecuaciones de transformación para movimiento no radial

La expresión matricial (20) se denotará como $\chi' = [\theta]\chi$. Derivando con respecto al tiempo se obtienen las expresiones de velocidades \mathbf{U} y aceleraciones $\boldsymbol{\alpha}$ en una hipersfera 4D. Claro que no se puede derivar con respecto al tiempo local t o t' (medidos respectivamente en las referencias S y S'), sino con respecto a un intervalo temporal T , el tiempo propio, invariante a cambios de referencia. Como cabría esperar, en la hipersfera el tiempo propio T ya no es función de las velocidades sino de las posiciones:

$$dT = dt (1 - r^2/R^2)^{1/2} = dt' (1 - r'^2/R^2)^{1/2} \quad (26)$$

Las ecs. de transformación quedan:

$$\begin{aligned} \chi' &= [\theta] \chi \\ \mathbf{U}' &= [\theta] \mathbf{U} + [\Omega] \chi \\ \boldsymbol{\alpha}' &= [\theta] \boldsymbol{\alpha} + 2[\dot{\Omega}] \mathbf{U} + [\ddot{\Omega}] \chi \end{aligned} \quad (27)$$

donde $[\Omega]$ es el tensor velocidad angular (la derivada de $[\theta]$ con respecto al tiempo propio) y $[\dot{\Omega}]$ es el tensor aceleración angular (la derivada de $[\Omega]$ con respecto al tiempo propio).

Nótese que en el caso de movimiento radial ($r/R = v/c$) el diferencial del tiempo propio (26) tal y como se define en la hipersfera coincide con el diferencial del tiempo propio relativista $dT = dt (1 - v^2/c^2)^{1/2}$. Además, tanto $[\Omega]$ como $[\dot{\Omega}]$ son nulas para trayectorias radiales, reduciéndose entonces las ecuaciones de transformación de la hipersfera a la TL. El tiempo propio en la hipersfera no es otro que la edad del universo y tiene un carácter absoluto.

En física clásica, están perfectamente estudiadas las relaciones entre las derivadas temporales de los vectores velocidad y aceleración en sendas referencias S y S' en movimiento relativo entre sí. La relación entre velocidades se expresa en la forma:

$$\mathbf{V}' = \mathbf{V} + \mathbf{V}_{\text{arrastre}} \quad (28)$$

Y las aceleraciones verifican:

$$\mathbf{a}' = \mathbf{a} + \mathbf{a}_{\text{coriolis}} + \mathbf{a}_{\text{arrastre}} \quad (29)$$

Los términos de arrastre y Coriolis sólo aparecen cuando se mueven entre sí los orígenes y/o los ejes de ambos sistemas. El movimiento de los orígenes se describe mediante la correspondiente velocidad y/o aceleración; el movimiento de los ejes se describe mediante la velocidad y/o aceleración angular.

En la hipersfera, las expresiones (27) para velocidades y posiciones son semejantes respectivamente a las (28) y (29), ya que el proceso de derivación de vectores respecto al tiempo es análogo al de la física clásica, con la diferencia de que se debe emplear el tiempo propio en lugar del tiempo local. Además, la hipersfera ofrece la ventaja de que todos los sistemas de referencia poseen un origen común, el centro de la hipersfera C, que elimina los efectos del movimiento relativo entre orígenes. Resulta lógico, por analogía con (28) y (29), considerar al término $[\Omega]\chi$ de (27) como una aceleración de arrastre y a $2[\Omega]U$ como una aceleración de Coriolis en el espacio 4D.

Las únicas referencias en las que siempre se anulan los términos de arrastre y Coriolis son los observadores en movimiento radial, que constituyen así verdaderos sistemas de referencia privilegiados. En ellos la radiación de fondo de microondas o CMBR (cosmic microwave background radiation) presenta una temperatura uniforme de 2,725 K en todas las direcciones del espacio, lo que justifica el calificativo de referencia privilegiada que le han otorgado autores como Marinov [17], Weisskopf [55], Wesley [6], Wilhelm [5] o Levy [7]. Todos ellos percibieron la mayor naturalidad de las velocidades medidas respecto al CMBR, aunque no identificaron el sistema de referencia privilegiado con la hipersfera en expansión.

Así como en teoría relativista surgen efectos dinámicos a causa del movimiento entre observadores, en la hipersfera la gama de efectos dinámicos es más amplia. En relatividad dos observadores en reposo relativo medirán idénticas velocidades y aceleraciones, mientras que en la hipersfera dos observadores situados en puntos distintos medirán en general velocidades y aceleraciones distintas, incluso si se encuentran en reposo relativo.

2.4. Big Bang hipersférico

En una hipersfera en expansión, el Big Bang corresponde a un radio $R(t)$ nulo:

$$\chi_1^2 + \chi_2^2 + \chi_3^2 + \chi_4^2 = 0 \quad (30)$$

Resulta ser un hipercono formado por infinitos puntos del espacio 4D de Minkowski. Eliminando una de las dimensiones espaciales para facilitar la representación de la hipersfera, el Big Bang se reduce a un cono 3D (Figura 5 izquierda).

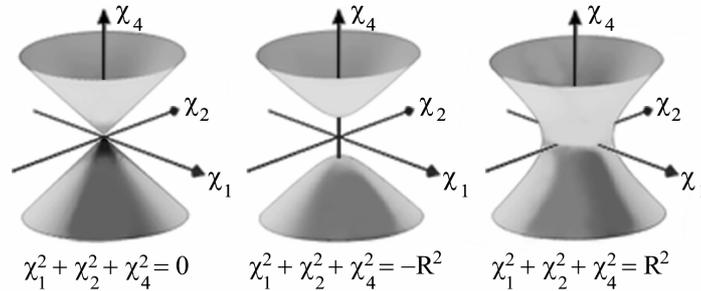


Figura 5. Big Bang como cono de luz (izquierda). Expansión del Universo como hiperboloide de dos hojas (centro) y de una hoja (derecha).

La expansión de la hipersfera comienza con la ruptura del vértice del cono (Figura 5 izquierda) y su separación en dos mitades para formar un hiperboloide de dos hojas (Figura 5 centro). Ambas hojas, simétricas y desconectadas causalmente, se alejan más y más conforme pasa el tiempo. Un aspecto especulativo pero interesante de la hipersfera es si en el Big Bang también pudo formarse un hiperboloide de una hoja (Figura 5 derecha). Quién sabe si la materia y la antimateria del Big Bang tomaron rumbos diferentes en las distintas hojas del hiperboloide, de forma que en la actualidad en cada hoja sólo predomina un tipo de materia.

Cada punto del hipercono queda caracterizado por sus coordenadas 4D $(\chi_1, \chi_2, \chi_3, \chi_4)$, que le individualizan y distinguen de los demás puntos. Haciendo $R = 0$ en (10):

$$x_1 = x_2 = x_3 = 0 \quad (31)$$

La ecuación (31) es válida para todos los puntos del Big Bang, tanto en el modelo de la hipersfera como en el modelo estándar. Pero su significado difiere notablemente en ambos casos debido al distinto papel que juega la identidad de los indiscernibles en los dos modelos.

- En el modelo estándar, se verifica la identidad de los indiscernibles, de acuerdo a la cual, si las distancias son nulas, los puntos del Big Bang son necesariamente el mismo punto. La ecuación (31) significa que el Big Bang estándar desafía a las leyes físicas al postular un estado de infinita densidad y temperatura. Otra característica importante del modelo estándar es que el espacio-tiempo no puede ser descrito antes ni durante el Big Bang, sólo existe *después* del Big Bang.

- En la hiperesfera, no se verifica la identidad de los indiscernibles. Si las distancias 3D son nulas, los puntos del Big Bang *no* son necesariamente el mismo punto. La ecuación (31) implica que las coordenadas 3D ($x_1 = x_2 = x_3 = 0$) constituyen una descripción del Big Bang incompleta y que la verdadera descripción es el hipercono en el espacio 4D de Minkowski tal que $\chi_1^2 + \chi_2^2 + \chi_3^2 + \chi_4^2 = 0$, como en la Figura 5 izquierda.

Sólo partículas de masa en reposo nula, como los fotones, pueden desplazarse a lo largo de un cono de luz. Podría entonces afirmarse que en el Big Bang de la hiperesfera *todo es luz*. Una idea estéticamente conmovedora.

La Figura 6 ilustra cómo el Big Bang hipercónico resuelve el problema del horizonte. Las regiones causalmente desconectadas en el modelo del Big Bang estándar (como las regiones A y B de la Figura 6 izquierda) no existen en el Big Bang hipercónico (Figura 6 derecha), porque el Big Bang determina un cono primordial de luz (línea que forma un ángulo de 45° con el eje horizontal) que define el límite del universo observable.

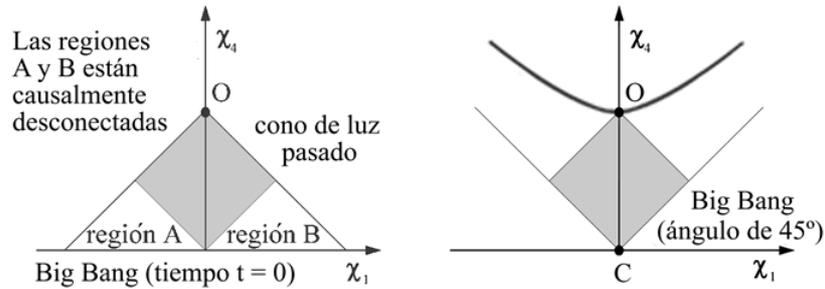


Figura 6. Problema del horizonte. En el Big Bang estándar, diferentes regiones del universo permanecen causalmente desconectadas (figura izquierda); en la hiperesfera, todas las regiones permanecen conectadas causalmente (figura derecha) porque se encuentran en todo momento dentro del cono de luz primordial (ángulo de 45°).

Nótese que, en la Figura 3 izquierda (página 6), la hipérbola L-O-L' contiene todos los sucesos del universo que son simultáneos entre sí en un instante dado (simultaneidad absoluta respecto al centro de la hiperesfera), mientras que el cono de luz pasado l-o-l' contiene los sucesos observables desde O, es decir aquellos sucesos desde los que un haz de luz ha tenido tiempo de ser emitido y recorrer la distancia que le separa de O (simultaneidad relativa respecto a O).

3. PARTE FÍSICA

“No preguntarme nada. He visto que las cosas, cuando buscan su curso, encuentran su vacío”. F. G. Lorca

3.1. Velocidad de la luz variable

Para valores de R suficientemente grandes se verifica que $dR \approx c dt$, luego la velocidad de expansión de la hiperesfera V_{hip} es aproximadamente igual a la velocidad de la luz, que adquiere un significado geométrico inédito:

$$V_{hip}(t) = \frac{d}{dt}R(t) = c(t) \quad (32)$$

La velocidad de expansión de la hiperesfera y la velocidad de la luz c son dependientes. Si se postula que el radio $R(t)$ aumenta a velocidad V_{hip} variable, se obtiene un modelo del universo en el que la velocidad de la luz no es una constante universal sino una variable dependiente del tiempo.

La cuestión de si la luz puede variar su velocidad fue abordada en el pasado por autores como Mitchell [56], Thompson (Lord Kelvin) & Tait [57], el propio Einstein [58] o Dirac [59]. Pero sólo a partir de la década de los 90 surge un profundo interés por las teorías VSL, que inducen la variación de la velocidad de la luz mediante seis mecanismos principales:

- Ruptura de la invariancia Lorentz: La línea de investigación iniciada por Moffat [60-61] y ampliada por Albrecht & Magueijo [62] se postula como posible alternativa a la teoría inflacionaria. No verifica la covariancia ni la invariancia Lorentz, tampoco la conservación de la energía, pero a cambio ofrece soluciones originales a importantes problemas del Big Bang estándar (horizonte, planitud, constante cosmológica, homogeneidad, isotropía, entropía, etc.). Las ecuaciones del campo de Einstein en el contexto VSL se solucionan bajo el supuesto de que la variación de c no afecta al tensor de curvatura, de acuerdo a Barrow [63-64].
- Modificación del tensor de curvatura: Harko & Mak [65], Avelino & Martins [66] o Shojaie & Farhoudi [67] plantean una variación de c compatible con la invariancia Lorentz, lo cual se logra modificando adecuadamente tanto los valores de c y G como el tensor de curvatura.
- Adición de dimensiones extras (Strings/M-theory): Kiritsis [68] y Alexander [69] obtienen las variaciones de c gracias a dimensiones extras.
- Adición de métricas extras: Las teorías bimétricas propuestas por Moffat & Clayton [70-72] y por Drummond [73] introducen dos métricas distintas, una para la materia y otra para la gravitación, con dos velocidades distintas para fotones y gravitones.
- Deformación de la relatividad especial: Las teorías DSR (deformed special relativity) de Amelino-Camelia [74-75] y Ellis [76-77] introducen una representación no lineal del grupo de Lorentz y postulan una dependencia de la velocidad de la luz respecto de la energía.
- Deducción a partir de teorías de campos: Drummond & Hathrell [78] predicen variaciones de c a partir de la teoría cuántica de campos.

Una revisión más exhaustiva de las teorías VSL se encuentra en [79].

Sólo medidas empíricas podrían confirmar cuál es la expresión exacta de la ley de expansión de la hiperesfera. No obstante, desde el punto de vista teórico, existe una hipótesis preferible a las demás: que el producto del radio del universo por la velocidad de la luz sea una constante universal K .

$$R(t) c(t) = K \quad (33)$$

La conveniencia de (33) tiene que ver con la teoría electromagnética: permite que, en la hiperesfera, una partícula cargada verifique la condición de Lorenz, como se demostrará en (3.7). Bajo dicha hipótesis, un fotón se desplaza con una velocidad

$$c(t) = K/R(t) \quad (34)$$

y sufre una aceleración $a_\gamma(t)$ dada por

$$a_\gamma(t) = \frac{d}{dt}c(t) = -\frac{c^2(t)}{R(t)} \quad (35)$$

El signo menos indica que los fotones se frenan con el paso del tiempo. Las ecuaciones (34) y (35) despojan a la velocidad de la luz de su carácter constante, pero también a todas las magnitudes que dependen implícitamente de c , como por ejemplo la constante de Hubble. De acuerdo a (24), $H = c/R$, siendo c y R funciones del tiempo que verifican (33), luego:

$$H(t) = c(t)/R(t) = K/R^2(t) \quad (36)$$

De (35) y (36) se deduce que la aceleración a_γ equivale al producto de la velocidad de la luz c por la constante de Hubble H . Sean c_0 y H_0 sus valores actuales, entonces el valor actual de la aceleración a_{γ_0} de un fotón libre y la constante K serán:

$$a_{\gamma 0} = -H_0 c_0 = -6,54 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}^2 \quad (37)$$

$$K = R(t) c(t) = R_0 c_0 = 4,11 \cdot 10^{34} \text{ m}^2/\text{s} \quad (38)$$

De acuerdo a (37), la velocidad de la luz se está reduciendo a un ritmo de apenas un centímetro por segundo cada año. Las medidas más precisas no son aún capaces de confirmar ni de desmentir una variación tan pequeña, pero de hecho numerosos resultados empíricos sugieren un valor variable de la velocidad de la luz, como señala Sanejouand [80]: tiempo que tarda la luz en ir a la Luna y regresar a la Tierra [81], anomalía de las Pioneer [82], dilatación temporal de sucesos remotos [83-84], desplazamiento al rojo de supernovas Ia [85-86] y mediciones de la constante de estructura fina [87].

Integrando (33) con respecto al tiempo y tomando como origen de tiempos el Big Bang ($R = 0$ en $t = 0$) se obtiene

$$t = R^2(t)/2K = 1/[2H(t)] \quad (39)$$

Y la edad del universo resulta ser

$$T_0 = R_0^2/2K = 2,29 \cdot 10^{17} \text{ s} \approx 7.250 \cdot 10^6 \text{ años} \quad (40)$$

La cifra es aproximadamente la mitad de la edad del universo estimada en el modelo estándar. Debe tenerse en cuenta que en la hiperesfera en expansión el tiempo no es uniforme. No posee el mismo significado el primer año de vida del universo que el último: en el primero, la velocidad de la luz era muy superior a la actual, las partículas materiales poseían mucha más energía e interaccionaban mediante portadores de fuerza que tenían un alcance mucho mayor porque viajaban a mayores velocidades. Y todo ello en un universo mucho más pequeño que el actual. Los fenómenos que tuvieron lugar en el primer año de vida del universo fueron incomparablemente más intensos que sus equivalentes actuales y más intensos que sus equivalentes en la teoría del Big Bang estándar. El carácter no uniforme del tiempo en la hiperesfera permite que en 7.250 millones de años tengan lugar muchos más acontecimientos que en el mismo intervalo de tiempo del modelo estándar.

En teoría relativista, el valor de c se erige como una de las constantes fundamentales de la física. Por qué c posee el valor aproximado $3 \cdot 10^8$ m/s, y no cualquier otro, es una cuestión para la que la física relativista no posee respuesta. En el modelo de la hiperesfera, el valor de c es virtualmente infinito en el Big Bang y disminuye con el tiempo. El valor particular $c_0 = 3 \cdot 10^8$ m/s no necesita ser explicado ni tiene ningún significado especial, sólo es un valor más de los muchos que la velocidad de la luz adquiere con el paso del tiempo.

Es difícil decir si el valor infinito de la velocidad de la luz en el Big Bang de la hiperesfera debe ser interpretado literalmente o si tan solo indica que c tuvo un valor extremadamente grande en el origen del universo. En todo caso, el Big Bang de la hiperesfera resulta más inteligible que la imposible singularidad del Big Bang estándar.

3.2. Ley de inercia

Si la velocidad de la luz disminuye, un fotón libre no describe un movimiento rectilíneo y uniforme, sino un movimiento desacelerado: en rigor, la ley de inercia no se verifica en el seno de una hiperesfera en expansión. Actualmente, debido al minúsculo valor de la aceleración $a_{\gamma 0}$ dada en (37), la desviación del comportamiento de un fotón respecto a la ley de inercia es minúscula. Los fotones se comportan de un modo cuasi-inercial cuando su movimiento involucra distancias pequeñas respecto al radio del universo e intervalos de tiempo pequeños respecto a la edad del universo.

Una partícula material, libre de interacciones con otras partículas, tampoco describe un movimiento rectilíneo y uniforme al moverse en el seno de la hiperesfera. Toda partícula libre que se mueve a velocidad v sufre una aceleración $a(t)$ dada por

$$a(t) = \frac{d}{dt} v(t) \approx -\beta a_{\gamma 0}(t) \quad (41)$$

Al igual que los fotones, las partículas materiales libres describen un movimiento desacelerado, pero éstas se ajustan incluso mejor que aquéllos a la ley de inercia porque $a(t)$ es siempre más pequeña que $a_{\gamma 0}(t)$.

La abolición de la ley de inercia en la hiperesfera implica que no existen, en rigor, sistemas de referencia inerciales o galileanos. El concepto clásico de sistema inercial debe ser sustituido en la hiperesfera por el de sistema libre de interacciones exteriores. Y la equivalencia de todos los sistemas inerciales debe dejar paso a la existencia de sistemas libres privilegiados (en movimiento radial).

Conceptualmente, el movimiento en el seno de la hiperesfera se asemeja menos al paradigma newtoniano (cuerpos cuyo estado natural es el movimiento rectilíneo y uniforme) que a la visión aristotélica (cuerpos cuyo estado natural es el reposo y tienden a frenarse). Como se verá a continuación, el movimiento de un cuerpo en el espacio o en el tiempo exige el pago de un precio en forma de energía.

3.3. El vuelo no relativista del fotón

Un fotón en movimiento libre en una hiperesfera en expansión no verifica plenamente las leyes de la relatividad ni la ley de inercia. Si el vuelo del fotón no es relativista, variará su velocidad con el tiempo, además de otras propiedades como la frecuencia y la longitud de onda.

La energía del fotón puede ser expresada tanto en función de su masa como en función de su frecuencia:

$$E = m_\gamma c^2 = h\nu \quad (42)$$

Si la constante de Planck h y la masa m_γ no varían con el tiempo (o varían muy lentamente), la derivada temporal de (42) queda:

$$\frac{dE}{dt} = 2m_\gamma c \frac{dc}{dt} = h \frac{d\nu}{dt} \quad (43)$$

Y entonces,

$$\frac{d\nu}{dt} = \frac{2m_\gamma c}{h} \frac{dc}{dt} = \frac{2\nu}{c} a_\gamma \quad (44)$$

Precisamente se obtiene la expresión que describe la aceleración anómala de las Pioneer, cuya estimación de acuerdo a [82] es $a_p = -(8,74 \pm 1,33) \cdot 10^{-10} \text{ m/s}^2$ y cuyo orden de magnitud coincide con el valor obtenido en (37) para la aceleración del fotón $a_{\gamma 0} = -6,54 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}^2$.

Las propiedades del fotón (velocidad de la luz, longitud de onda y período) son análogas a las propiedades de la hiperesfera misma (velocidad de expansión, radio y edad del universo): así como es constante en la hiperesfera el producto del radio por la velocidad de expansión, también es constante para un fotón libre el producto de la longitud de onda por la velocidad de la luz. Además, la longitud de onda y el período de un fotón libre son directamente proporcionales al radio y a la edad del universo respectivamente.

3.4. Cosmología

Si se aplica (33) al Big Bang, cuando el radio de la hiperesfera es nulo, se obtiene para la velocidad de la luz un valor *virtualmente* infinito que resuelve los principales problemas del Big Bang estándar:

- Por qué estaba el universo primitivo tan caliente.
- Por qué su temperatura era la misma en todas las regiones.
- Por qué el universo actual es tan uniforme a gran escala.

La velocidad virtualmente infinita de la luz en el Big Bang explica de un modo evidente las elevadas temperaturas del universo primitivo. Al permitir que, en el primer instante de expansión cosmológica, la información viaje entre dos puntos a velocidades virtualmente infinitas, conecta causalmente distintas regiones del Universo y explica la homogeneidad tanto en densidad como en temperatura.

Para explicar la no linealidad de la ley de Hubble (Riess [85], Perlmutter [86]) se hace necesario considerar el desplazamiento hacia el rojo de galaxias y supernovas debido al efecto Doppler relativista:

$$\frac{v}{c} = \frac{(z+1)^2 - 1}{(z+1)^2 + 1} \quad (45)$$

En trayectorias radiales ($v/c = r/R$):

$$\frac{r}{R} = \frac{(z+1)^2 - 1}{(z+1)^2 + 1} \quad (46)$$

es decir

$$z = 1 - \sqrt{1 - \frac{2r/R}{1 - r/R}} = 1 - \sqrt{1 - \frac{2ra_\gamma/c^2}{1 - ra_\gamma/c^2}} \quad (47)$$

Se obtiene de este modo un resultado similar al de Sanejouand [80], pero generalizado al caso en el que tanto la velocidad de la luz como la aceleración de los fotones libres varían con el tiempo.

En rigor, antes de deducir (47) habría que preguntarse si la frecuencia natural de emisión de los átomos es constante o variable. De hecho, lo más coherente en el marco de la hiperesfera en expansión es que las frecuencias naturales de emisión varíen con el inverso de la edad del universo T , tal y como sucede con la frecuencia de los fotones libres. En tal caso, la constante de Rydberg del átomo de hidrogeno sería inversamente proporcional al radio del universo, el único efecto neto a considerar en el desplazamiento hacia el rojo de las galaxias sería el efecto Doppler y (47) mantendría su validez.

Las variables que definen la dinámica de la hiperesfera (radio R, velocidad c y aceleración a_γ) desempeñan un papel crucial en las leyes físicas, particularmente en la formulación de los principios de invariancia de c y R. ¿Es posible también una invariancia de a_γ ? Tal hipótesis puede ser correcta al menos en determinadas situaciones. Considérese la invariancia de a_γ en modo análogo a la invariancia de c y R, entonces la aceleración 4D ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$) será:

$$\alpha_1 = \frac{a_1}{\sqrt{1 - \frac{a^2}{a_\gamma^2}}} \quad \alpha_2 = \frac{a_2}{\sqrt{1 - \frac{a^2}{a_\gamma^2}}} \quad \alpha_3 = \frac{a_3}{\sqrt{1 - \frac{a^2}{a_\gamma^2}}} \quad \alpha_4 = \frac{ia_\gamma}{\sqrt{1 - \frac{a^2}{a_\gamma^2}}} \quad (48)$$

Las relaciones (48) carecen de carácter universal porque sólo están definidas si la aceleración clásica $a = (a_1^2 + a_2^2 + a_3^2)^{1/2}$ es menor que a_γ . En tal caso, las componentes de la aceleración 4D ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$) deben desempeñar en las leyes clásicas el papel de las componentes de la aceleración 3D (a_1, a_2, a_3). Por ejemplo, la ecuación del potencial gravitatorio clásico (49) daría lugar a (50):

$$a = -\nabla\phi \quad (49)$$

$$\alpha = \frac{a}{\sqrt{1 - \frac{a^2}{a_\gamma^2}}} = -\nabla\phi \quad (50)$$

Si $a \ll a_\gamma \ll \nabla\phi$, queda

$$a = \sqrt{\nabla\phi} a_\gamma \quad (51)$$

La ecuación (51) coincide con la ley de gravitación en la forma particular del paradigma MOND de Milgrom [88] que, a su vez, resuelve el problema de la rotación galáctica sin necesidad de materia oscura.

Los problemas de la materia y la energía oscura encuentran explicaciones satisfactorias en el marco de la hiperesfera en expansión mediante las ecuaciones (47) y (51) respectivamente. Se volvería así innecesario el 96% de la energía del universo atribuida a estos dos hipotéticos constituyentes (73% de energía oscura y 23% de materia oscura), que en el universo hiperesférico quedarían reducidos a meras ideas *ad hoc*.

3.5. Segunda ley de la termodinámica

La disminución de la velocidad de la luz a lo largo del tiempo tiene importantes implicaciones en la ecuación de la energía relativista $E = mc^2$. Conforme disminuye c, debe producirse la correspondiente disminución de E. Para una partícula de masa m_0 :

$$\frac{dE}{dt} = 2m_0c(t) \cdot a_\gamma(t) \quad (52)$$

$$\frac{dE}{E} = 2 \frac{a_\gamma(t)}{c(t)} dt \quad (53)$$

En la hiperesfera, la mítica ecuación de la energía einsteiniana $E = mc^2$ debe complementarse con la ecuación que determina la variación de E con el tiempo, expresada más elegantemente usando la constante de Hubble:

$$\frac{dE}{dt} = 2H \cdot mc^2 \quad (54)$$

La consecuencia de (54) es que toda partícula emite una fracción de su energía con el paso del tiempo. Desde el punto de vista práctico, dicha emisión de energía es tan pequeña en la actualidad como para pasar desapercibida en las medidas experimentales. Desde el punto de vista teórico, la emisión puede ser justificada con el auxilio de los principios de la termodinámica.

La segunda ley de la termodinámica exige que un gas se expanda de forma espontánea, o que el calor fluya espontáneamente desde un foco caliente a otro frío. En palabras de Ernst Mach [1]: "*En todos los procesos de la naturaleza desempeñan un papel decisivo las diferencias de ciertas magnitudes u. Diferencias de temperatura, de la función potencial, etc., son las que inducen los procesos naturales, y estos no consisten en otra cosa que en la igualación de dichas diferencias*". Considérese una partícula cuya energía relativista ($E = mc^2$) es mayor que la del espacio vacío circundante. Si se lleva la segunda ley hasta sus últimas consecuencias, la diferencia de energía entre la partícula y su entorno debe igualarse mediante la emisión de energía desde la partícula hacia el espacio vacío que la rodea. Una partícula libre en movimiento radial dispone de dos procesos que le permiten reducir la energía: o bien disminuye su masa en reposo, o bien disminuye el valor de la velocidad de la luz. Es precisamente en esta segunda alternativa donde tienen su nexo de unión las leyes de la termodinámica y el modelo de la hiperesfera en expansión.

Entre los grandes problemas de la física se encuentra la paradoja de Loschmidt: la contradicción planteada entre la naturaleza reversible de las leyes clásicas, que no distinguen el pasado del futuro, y la naturaleza irreversible de la segunda ley de la termodinámica, que sí los distingue. La ecuación (33) es una ley de carácter irreversible que obliga a toda partícula libre a emitir una fracción de su energía conforme pasa el tiempo. Por primera vez, una ley de la mecánica introduce una asimetría temporal en los fenómenos físicos, dando pleno sentido al segundo principio de la termodinámica.

La termodinámica auxilia a la hiperesfera a la hora de justificar la causa de la disminución de c . A su vez, la hiperesfera auxilia a la termodinámica al postular por vez primera una ley de la mecánica de carácter irreversible.

La dinámica de la hiperesfera reivindica el papel del cambio al más puro estilo de Heráclito: “*Todo fluye, nada permanece*”. El cambio se constituye en elemento fundamental de la naturaleza, lo inmutable no existe. Todo fluye como las leyes físicas mismas. Resulta ya imposible imaginar a un fotón desplazándose en el universo con una energía y una velocidad constantes, ajeno a la expansión del universo, al paso del tiempo y a la influencia del resto de partículas existentes.

3.6. Teorías de la relatividad especial y general

La teoría de la hiperesfera en expansión está situada a medio camino entre la mecánica clásica y la mecánica relativista. Comparte con la primera la existencia de un sistema de referencia en “reposo absoluto” (el centro de la hiperesfera) que Newton buscó y no encontró [89]: “*Es posible que en las remotas regiones de las estrellas fijas, o quizás incluso más allá, exista algún cuerpo en reposo absoluto*”. Comparte con la segunda el carácter 4D del universo, el carácter relativo de la simultaneidad y el fuerte protagonismo de la velocidad de la luz.

Los conceptos de “sistema de referencia” y “observador” no son sinónimos. El centro C de la hiperesfera es el origen de un sistema de referencia, pero no es un observador, porque ninguna señal emitida desde la superficie de la hiperesfera puede viajar hasta C . Cabe afirmar entonces que “existe un sistema de referencia en reposo absoluto”, pero no que “existe un observador en reposo absoluto”. Todos los observadores situados en la hiperesfera comparten su movimiento de expansión. Cabe afirmar entonces que “todos los observadores se alejan de C ”, que “todos los observadores están en movimiento” o que “no existen observadores en reposo absoluto”. La verificación simultánea de las afirmaciones “existe un sistema de referencia en reposo absoluto” y “no existen observadores en reposo absoluto” demuestra el grado de sutileza de las leyes físicas derivadas del principio de invariancia de R .

La relatividad general, que equivale a una teoría gravitatoria, se ve afectada de dos formas por la disminución de la velocidad de la luz. Primero, c es una variable dependiente del tiempo en las ecuaciones del campo de Einstein y, segundo, surge la cuestión de si la propia constante de gravitación universal G es realmente constante o si también está variando (Paul Dirac ya propuso la posibilidad de que G fuese inversamente proporcional al tiempo, que en la hiperesfera equivaldría a que G fuese inversamente proporcional a la edad del Universo). En rigor, las ecuaciones del campo de Einstein son compatibles con valores variables de c y G , siempre que éstos verifiquen ciertas restricciones. Pero es difícil imaginar que la hiperesfera suponga la abolición del principio de relatividad especial sin la correspondiente abolición de las ecuaciones del campo de la relatividad general.

3.7. Teoría electromagnética

Siendo μ_0 la permeabilidad magnética del vacío, r la distancia y \mathbf{U} la velocidad 4D, el cuadrivector potencial electromagnético \mathbf{A} de una carga q es:

$$\mathbf{A} = \frac{\mu_0 q}{4\pi r} \mathbf{U} \quad (55)$$

En una hiperesfera existe un sistema de referencia privilegiado respecto al cuál las leyes de la física son enunciadas de la forma más simple posible. ¿Cómo es el cuadrivector potencial \mathbf{A}_C respecto al centro de la hiperesfera? La distancia r se convierte en el radio R .

$$\mathbf{A}_C = \frac{\mu_0 q}{4\pi R} \mathbf{U} \quad (56)$$

Una partícula en movimiento radial respecto al centro de la hiperesfera verifica que $\mathbf{U} = K\boldsymbol{\chi}/\chi^2$. Suponiendo además que tanto la carga del electrón como la permeabilidad magnética del vacío no varían a lo largo del tiempo, se cumple la condición de Lorenz $\square \mathbf{A}_C = 0$, dado que la divergencia del vector de posición dividido entre su módulo al cubo es nula. Éste fue el motivo por el que se eligió (33) como ecuación de la dinámica de la hiperesfera.

3.8. Especulaciones cuánticas

La invariancia de R limita la distancia máxima posible entre dos puntos al diámetro del universo $2R$, estableciendo de forma natural un valor máximo para la longitud de onda λ_{\max} de una partícula, que a su vez determina una energía mínima E_{\min} y una masa mínima m_{\min} :

$$E_{\min} = \frac{hc}{\lambda_{\max}} = \frac{hc}{2R} = 7,52 \cdot 10^{-52} \text{ J} \quad (57)$$

$$m_{\min} = E_{\min}/c^2 = 8 \cdot 10^{-69} \text{ Kg} \quad (58)$$

Los valores mínimos E_{\min} y m_{\min} permiten cuantizar la energía y establecer un nexo de unión entre la hiperesfera y los fenómenos cuánticos. Suponiendo que el cuanto de energía E_{\min} sea una partícula de masa en reposo nula, se verificará la siguiente interesante propiedad: el momento angular respecto al centro de la hiperesfera coincide con el espín del electrón.

$$L_{\min} = R p_{\min} = R E_{\min}/c = h/2 \quad (59)$$

En el enunciado clásico del principio de indeterminación de Heisenberg

$$m\Delta v \Delta r \geq \hbar/2 \quad (60)$$

los términos Δv y Δr corresponden a la desviación estándar de la velocidad y la posición respectivamente. En la hiperesfera, es posible plantear una interpretación más atrevida y *realista*: ya que el movimiento en el seno de la hiperesfera exige el cambio de la velocidad y la posición de una partícula incluso si no actúan sobre ella fuerzas exteriores, los términos Δv y Δr pueden ser interpretados como los incrementos exigidos en la hiperesfera para que el movimiento de la partícula sea compatible con la dinámica de expansión. En el caso de un fotón, Δv sería la variación de la velocidad de la luz Δc ; y Δr coincidiría con la variación del radio del universo ΔR , ya que los fotones se mueven en conos de luz [$(\Delta r)^2 - (\Delta R)^2 = 0$]. Entonces, el enunciado (60) aplicado a un fotón que se mueve en el seno de una hiperesfera quedaría:

$$m\Delta c \Delta R \geq \hbar/2 \quad (61)$$

Por otra parte, la ley de expansión de la hiperesfera $Rc = K$ implica que

$$c\Delta R + R\Delta c = 0 \quad (62)$$

es decir

$$\Delta R/R = -\Delta c/c \quad (63)$$

De (61) y (63) se obtiene

$$\frac{\Delta R}{R} \geq \sqrt{\frac{\hbar}{(4\pi)Km}} = \sqrt{\frac{m_{\min}}{4\pi m}} \quad \frac{\Delta c}{c} \geq \sqrt{\frac{\hbar}{(4\pi)Km}} = \sqrt{\frac{m_{\min}}{4\pi m}} \quad (64)$$

Y a partir del principio de indeterminación en función de la energía y el tiempo:

$$\frac{\Delta T}{T} \geq \sqrt{\frac{m_{\min}}{4\pi m}} \quad \frac{\Delta E}{E} \geq \sqrt{\frac{m_{\min}}{4\pi m}} \quad (65)$$

La verificación del principio de indeterminación en la hiperesfera estaría sugiriendo, de acuerdo a (64) y (65), que la variación en la posición, velocidad, energía y tiempo de una partícula de masa m no puede ser más pequeña que una fracción $\sqrt{m_{\min}/4\pi m}$ del radio del universo R , velocidad de la luz c , edad del universo T y energía de la partícula E respectivamente.

El modelo de la hiperesfera en expansión, con su sistema de referencia preferente, dota a las variables físicas de valores absolutos e incluso el principio cuántico de indeterminación adquiere un nuevo y más comprensible significado, más próximo a los planteamientos realistas de la mecánica bohmiana que a la interpretación de Copenhague.

Las propiedades del universo a gran escala (como la invariancia de R o la ley de la dinámica de la hiperesfera) tienen un reflejo directo en las propiedades a pequeña escala (fenómenos cuánticos). Lo más grande está relacionado con lo más pequeño, de acuerdo a la concepción epistemológica y ontológica del monismo holístico (todo está relacionado con todo lo demás), expresada en forma más literaria en el Fausto de Goethe: “*¡Cómo todo se entreteteje en el todo y lo uno obra y vive en lo otro!*”.

4. CONCLUSIONES

“Para ser buen orador hay que ser buena persona”.

M. F. Quintiliano

I. Uno de los lugares comunes de la relatividad es su éxito experimental. Casi sin excepción, toda obra de física relativista que se precie cita las innumerables pruebas empíricas que demuestran las predicciones einsteinianas. Sin embargo, olvidan señalar el hecho crucial de que casi todos los experimentos ponen a prueba un mismo aspecto: la dilatación temporal, es decir que las medidas de tiempo dependen del observador. Se trata, sin duda, del elemento más revolucionario e imperecedero del legado einsteiniano, pero no es suficiente para demostrar todo el corpus relativista. En particular, no existe ni una sola prueba experimental directa del segundo elemento básico de las predicciones de la relatividad: la contracción espacial. Si se añaden a ello las evidencias de anisotropía espacial [7], se llega a la conclusión de que las pruebas experimentales no avalan las teorías einsteinianas en la medida pretendida desde ámbitos académicos.

En contra de la creencia establecida, hay pocas ideas fundamentales de la doctrina einsteiniana sobre las que no se ciernan sombras de duda. Los experimentos favorables a la isotropía del espacio son cuestionados por autores como Builder [91], Prokhovnik [39], Múnera [22], Anderson et al [90] o Cahill & Kitto [20-21] entre otros, mientras las evidencias empíricas apuntan con claridad, si no de forma definitiva, a la ligera anisotropía espacial (Levi[7]). De considerar la invariancia de la velocidad de la luz un principio prácticamente incuestionable, se ha pasado a postular teorías VSL (variable speed of light) que ofrecen soluciones originales a variados problemas cosmológicos (Magueijo [79]). Las ecuaciones de TL se pusieron en duda desde muy temprano, bien señalando las supuestas contradicciones lógicas de las paradojas espacio-temporales (paradoja de los gemelos, de la pértiga en el granero, de Bell, etc.) o bien negando la interpretación relativista de la TL para reivindicar en su lugar un sistema de referencia absoluto (Larmor [27], Lorentz [24], Bell [30-31], etc.). La ruptura de la simetría Lorentz se ha convertido en un recurso muy fructífero tanto en las teorías que inducen una VSL (Moffat [60-61], Albrecht & Magueijo [62]) como en la mecánica cuántica (Horava [92]). Los teoremas de la singularidad de Hawking & Penrose [93] colocan a las ecuaciones del campo gravitatorio de Einstein en un callejón de difícil salida, a lo que se añade el fracaso hasta la fecha de la ansiada cuantización del campo gravitatorio. La constante cosmológica plantea tres serias dificultades que Niayesh [36-37] denomina problema antiguo, problema moderno y problema de la coincidencia. Tampoco hay un buen acuerdo entre las observaciones cosmológicas y los modelos derivados de la relatividad general, que requieren el dominio de la materia oscura a unas escalas y de la energía oscura a otras, por señalar tan solo uno de sus defectos. Se excusa decir que la mecánica einsteiniana es incompatible con el indeterminismo cuántico (principio de indeterminación de Heisenberg) y con la irreversibilidad de los procesos físicos (segunda ley de la termodinámica).

Cuando una teoría conjuga éxitos y dificultades, con frecuencia pesan más los primeros que las segundas, algo comprensible dado el carácter provisional de toda teoría científica. Uno de los casos más evidentes fue la mecánica newtoniana, cuyos impresionantes éxitos impidieron a la mayoría de los científicos apreciar las sutiles inconsistencias que Match [1], por ejemplo, sí acertó a señalar. Raramente surgen grandes paradigmas sin lagunas, de hecho en ocasiones la clave de una teoría radica en dejar “huecos” que la investigación futura complete, como el lugar vacío del elemento 21 (escandio) de la tabla periódica de Mendeleiev. Pero la teoría de la relatividad no se enfrenta sólo a lagunas sino a su autorrefutación, como se ha demostrado en el apartado (1.1): la isotropía del espacio, una de las condiciones sine qua non para que se verifique el principio de relatividad, es incompatible con la TL, es decir con la invariancia de la velocidad de la luz tal y como la plantea Einstein. Los dos principios básicos del corpus relativista se contradicen entre sí.

Sin duda, muchas de las injustificadas críticas tempranas a las teorías einsteinianas, basadas tanto en concepciones erróneas como en inaceptables prejuicios antisemitas o antigermanos, han contribuido a deslegitimar de paso un enorme corpus de críticas objetivas y justificadas. Mueller [94] recopila 3789 publicaciones críticas con el legado einsteiniano y destaca 14 títulos [29,53-54,95-105] que, junto con otros muchos, merecen un reconocimiento que la ciencia académica se niega a conceder.

II. La búsqueda de nuevas ecuaciones de transformación que tengan validez universal (e incluyan a la TL como caso particular) lleva al enunciado de un principio heurístico, la invariancia del tamaño del universo, que sirve como base para razonamientos inductivos y como criterio para su comprobación experimental.

La invariancia del radio del universo implica la construcción de un nuevo paradigma, un modelo cosmológico basado en la hipersfera en expansión, asociado a nuevas leyes físicas y geométricas. Su aplicación permite:

- resolver el carácter asimétrico de la dilatación temporal en el espacio de Minkowski (por ejemplo, en la paradoja de los gemelos) al introducir un espacio-tiempo absoluto,
- asimilar con total naturalidad la expansión del universo,
- solucionar el problema cosmológico del horizonte y
- describir el Big Bang de un modo original, no exento de interrogantes pero mucho más inteligible que la imposible descripción de la singularidad del modelo estándar.

III. Incluso más fructífera que la invariancia del radio del universo resulta ser la expansión de la hiperesfera a velocidad variable (es decir, a velocidad de la luz variable). Los fenómenos susceptibles de ser explicados abarcan una amplísima gama:

- anomalía de las Pioneer,
- problemas cosmológicos (por qué estaba el universo primitivo tan caliente, por qué su temperatura era la misma en todas las regiones y por qué el universo actual es tan uniforme a gran escala),
- materia oscura,
- energía oscura,
- irreversibilidad de los fenómenos físicos e
- indeterminismo cuántico.

Por el contrario, principios fundamentales de la física como la ley de inercia, el principio de relatividad o la invariancia de la velocidad de la luz sólo son válidos en la hiperesfera como casos particulares sin validez universal.

IV. Numerosas consecuencias de la física hiperesférica son compatibles con evidencias empíricas indirectas (aceleración anómala de las Pioneer, dilatación temporal de sucesos remotos, desplazamiento al rojo de supernovas Ia, etc.) pero la tecnología actual aún no ha alcanzado la precisión requerida en pruebas empíricas directas. En particular, la magnitud de la aceleración (37) se encuentra en el umbral de la capacidad tecnológica de nuestro tiempo.

V. La hiperesfera en expansión es compatible con el indeterminismo de la física cuántica y con la irreversibilidad de las leyes de la termodinámica.

REFERENCIAS

- [1] E. Mach, "Die Mechanik in Ihrer Entwicklung Historisch-Kritisch Dargestellt". Brockhaus, Leipzig, 1883. First published in English in 1893 as "The Science of Mechanics": A Critical and Historical Account of its Development (Open Court, La Salle, IL, 1960), 6th ed., pp. 388–390.
- [2] Euclid, "The Thirteen Books of the Elements", volumes I–III. Dover Publications, New York, second edition, 1956. Translated with introduction and commentary by Sir Thomas L. Heath, from the text of Heiberg. The Heath translation has also been issued as Euclid's Elements: All Thirteen Books Complete in One Volume, Green Lion Press, Santa Fe, 2002.
- [3] H. G. Alexander (ed) [1956]: "The Leibniz Clarke-Correspondence", 1717, Manchester University Press. Manchester.
- [4] A. Einstein, "Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie", Braunschweig, 1921.
- [5] H. E. Wilhelm, Phys. Essays, 6 (1993) 420.
- [6] J. P. Wesley, "Selected topics in advanced fundamental physics", Ed Benjamin Wesley, Blumberg, 7712, Germany (1991).
- [7] J. Levy, "Basic Concepts for a Fundamental Aether Theory", 2006, arXiv:physics/0604207 [physics.gen-ph].
- [8] G. de Vaucouleurs and W.L Peters, Nature, 220 (1968) 868.
- [9] V. C. Rubin et al, Astron J, 81 (1976) 687-719.
- [10] E. K. Conklin, Nature, 222 (1969) 971.
- [11] P. S. Henry, Nature, 231 (1971) 516.
- [12] G. F. Smoot et al, Phys. Rev. Lett. 39 (1977) 898.
- [13] M. V. Gorenstein and G. F. Smoot, Astrophys. J, 244 (1981) 361.
- [14] R. B. Partridge, Rep prog phys, 51 (1988) 647.
- [15] C. Monstein and J. P. Wesley, Apeiron, 3 (1996) 33.
- [16] S. Marinov, Spec. Sci. Tech 3 (1980a) 57, "The Thorny way of truth", East West, Graz Austria (1984) Gen. Rel. Grav. 12 (1980) 57.
- [17] S. Marinov, 1981. "Eppur Si Muove", East West Publishers, Graz, Austria.
- [18] D. G. Torr and P. Kolen, "Precision Measurements and Fundamental Constants", B. N. Taylor and W. D. Phillips, eds. Natl. Bur. Stand. (U.S.), Spec. Pub., 617, 675, 1984.
- [19] R. De Witte, <http://www.teslapysics.com/DeWitte/principi.htm>
<http://www.teslapysics.com/DeWitte/belgacom.htm>
- [20] R. T. Cahill and K. Kitto, "Re-Analysis of Michelson-Morley Experiments Reveals Agreement with COBE Cosmic Background Radiation Preferred Frame so Impacting on Interpretation of General Relativity", 2002, preprint (arXiv:physics/0205065v1).
- [21] R. T. Cahill and K. Kitto, "Michelson-Morley Experiments Revisited and the Cosmic Background Radiation Preferred Frame", 2003, Apeiron, Vol. 10, pp.104-117, preprint (arXiv:physics/0205070v1).
- [22] H. A. Múnera, "Michelson-Morley Experiments Revisited: Systematic Errors, Consistency Among Different Experiments, and Compatibility with Absolute Space", Apeiron 5, No.1-2, 37-54 (1998).
- [23] G. F. Smoot et al, "Preliminary Results from the COBE Differential Microwave Radiometers - Large Angular Scale Isotropy of the Cosmic Microwave Background", Astro. J., Part 2 – Letters 371, April 10, L1-L5 (1991).
- [24] H. A. Lorentz, "Electric phenomena in a system moving with any velocity less than that of light", The principle of relativity (Collection of original papers on relativity), Dover, New-York, 1952.
- [25] G. F. FitzGerald, "The Ether and the Earth's Atmosphere", Science 13;390, 1889.
- [26] H. Poincaré (1908/13), "The New Mechanics", The foundations of science (Science and Method), New York: Science Press, pp. 486–522.
- [27] J. Larmor, Phil. Trans Roy Soc London, 190-205 (1897), "Aether and matter", Univ. press, Cambridge (1900).
- [28] P. A. M. Dirac, "Is there an Aether?", Nature, 168 (1951) 906.
- [29] H. Dingle, "Science at the cross-roads". 1972.
- [30] J. S. Bell, "Speakable and Unsayable in Quantum Mechanics", (Cambridge University Press) 1987.
- [31] J. S. Bell, "Quantum mechanics for cosmologists in Quantum Gravity 2", edited by C. J. Isham, R. Penrose and D. W. Sciama, (Clarendon Press, Oxford) 1981 pp. 611–637.
- [32] V. V. Demjanov (2010a), "Physical interpretation of the fringe shift measured on Michelson interferometer in optical media", Phys. Lett. 374, pp.1110-1112, preprint (arXiv:0910.5658v3).
- [33] V. V. Demjanov (2010b), "What and how does a Michelson interferometer measure?", preprint (arXiv:1003.2899v2).
- [34] V. V. Demjanov (2010c), "Michelson interferometer operating at effects of first order with respect to v/c ", preprint (arXiv:quant-ph/0103103v3).
- [35] V. P. Dmitriyev (2010), "Absolute motion determined from Michelson-type experiments in optical media", preprint (arXiv:1002.1619v4).
- [36] A. Niayesh (2010), "Reviving Gravity's Aether in Einstein's Universe", to appear in Physics in Canada, preprint (arXiv:1004.2901v1).
- [37] A. Niayesh (2012), "Where will Einstein fail? Lessons for gravity and cosmology", (arXiv:1203.3827 [astro-ph.CO]).
- [38] T. Jacobson, "Einstein-aether gravity: a status report", (arXiv:0801.1547v2 [gr-qc]).

- [39] S. J. Prokhorov. "The logic of special relativity", Cambridge University press (1967). "Light in Einstein's Universe", Reidel, Dordrecht, (1985) (References to the articles of G. Builder).
- [40] H. B. Ives, J. opt. soc. Am. 27 (1937) 263.
- [41] F. Selleri, Phys. essays, 8 (1995) 342.
- [42] F. R. Tangherlini, Suppl Nuovo Cimento 20 (1961) 1.
- [43] R. Mansouri, and R. U. Sexl, "General relativity and Gravitation", Vol. 8 (1977) 497.
- [44] G. Cavalleri and C. Bernasconi, Nuovo cimento, 104 (1989) 545.
- [45] R. Dishington, in "Advances in fundamental physics" p 187, M. Barone and F. Selleri editors Hadronic press, Palm Harbor FL 34694, USA, (1995).
- [46] J. P. Vigièr, Apeiron 4 (1997) 71.
- [47] H. E. Wilhelm, in "Advances in fundamental physics" p 283, M. Barone and F. Selleri editors, Hadronic Press, Palm Harbor FL 34694, USA (1995).
- [48] D. Bohm, Phys. Rev., 85 (1952) 166.
- [49] L. Hardy, "Quantum mechanics, local realistic theories and Lorentz-invariant realistic theories", Phys. Rev. Lett., 68, 2981(1992).
- [50] I. C. Percival, "Quantum Measurement Breaks Lorentz Symmetry", quant-ph/9906005.
- [51] H. Bergson, 1965, "Duration and simultaneity: with reference to Einstein's theory", transl.: L. Jacobson; introd.: H. Dingle. - Indianapolis: Bobbs-Merrill 1965. 190 p. - (The Library of liberal arts. 199).
- [52] A. O. Lovejoy, 1930, "The revolt against dualism: an inquiry concerning the existence of ideas", New York: Norton (Open Court Co.) 1930. 325 p. Reprinted 1960 and 1996.
- [53] R. Hazelett and D. Turner, "The Einstein myth and the Ives papers: a counter-revolution in physics", Old Greenwich, Conn.: Devin-Adair 1979. Review by M. Ruderfer in: Speculations in science and technology. 3. 1980, pp. 439-449.
- [54] L. Essen, "The Special Theory of Relativity: a critical analysis", 1971.
- [55] V. F. Weisskopf, 1983. Am. Sci. 71, No. 5: 473.
- [56] J. Michell, 1784, Phil. Trans. Roy. Soc. 74, 35.
- [57] W. Thomson and P. G. Tait, Natural Philosophy, 1, 403 (1874).
- [58] A. Einstein, Ann. d. Phys. 35 (1911).
- [59] P. A. M. Dirac, Proc. R. Soc. London A165, 199 (1938).
- [60] J. W. Moffat, Int. J. Mod. Phys. D2, 351 (1993), gr-qc/9211020.
- [61] J. W. Moffat, Found. of Phys. 23, 411 (1993), gr-qc/9209001.
- [62] A. Albrecht and J. Magueijo. Phys. Rev. D59, 043516 (1999).
- [63] J. D. Barrow. Phys. Rev. D59, 043515 (1999).
- [64] J. D. Barrow. gr-qc/0211074v2.
- [65] T. Harko and M. K. Mak. Class. Quantum Grav. 16, R31 (1999).
- [66] P. P. Avelino and C. J. A. P. Martins. Phys.Lett. B459, 2741-2752, (1999).
- [67] H. Shojaie and M. Farhoudi. "A varying-c cosmology". gr-qc/0406027.
- [68] E. Kiritsis, JHEP 9910 (1999) 010, hep-th/9906206.
- [69] S. Alexander, JHEP 0011 (2000) 017, hep-th/9912037.
- [70] M. A. Clayton and J. W. Moffat, Phys. Lett. B460 (1999) 263-270, astro-ph/9812481.
- [71] M. A. Clayton and J. W. Moffat, Phys. Lett. B477, 269 (2000), gr-qc/9910112.
- [72] M. A. Clayton and J. W. Moffat, Phys. Lett. B506, 177 (2001), gr-qc/0101126.
- [73] I. Drummond, gr-qc/9908058.
- [74] G. Amelino-Camelia et al, Int.J.Mod.Phys. A12, 607-624, 1997.
- [75] G. Amelino-Camelia et al, Nature 393:763-765, 1998.
- [76] J. Ellis et al, Astrophys.J.535, 139-151, 2000.
- [77] J. Ellis, N. E. Mavromatos and D. Nanopoulos, Phys. Rev. D63, 124025, 2001; ibidem astro-ph/0108295.
- [78] I. Drummond and S. Hathrell, Phys. Rev. D22, 343, 1980.
- [79] J. Magueijo, "New varying speed of light theories", Rept. Prog. Phys. 66 (2003). astro-ph/0305457v3.
- [80] Y. H. Sanejouand, "Empirical evidences in favor of a varying-speed-of-light", EPL 88, 59002 (2009); arXiv:0908.0249v4 [physics.gen-ph].
- [81] J. O. Dickey, P. L. Bender, J. E. Faller, X. X. Newhall, R. L. Ricklefs, J. G. Riesi, P. J. Shelus, C. Veillet, A. L. Whipple, J. R. Wiant, J. G. Williams and C. F. Yoder (1994). "Lunar laser ranging - A continuous legacy of the apollo program", Science, 265(5171):482-490.
- [82] J. D. Anderson et al., Phys. Rev. Lett. 81, 2858 (1998), gr-qc/9808081.
- [83] M. Hamuy, M. M. Phillips, N. B. Suntzeff, R. A. Schommer, J. Maza, R. C. Smith, P. Lira and R. Aviles (1996). "The Morphology of Type IA Supernovae Light Curves". Astron. J., 112(6):2438-2447.
- [84] B. Leibundgut, R. Schommer, M. Phillips, A. Riess, B. Schmidt, J. Spyromilio, J. Walsh, N. Suntzeff, M. Hamuy, L. Maza, R. P. Kirshner, P. Challis, P. Garnavich, R. C. Smith, A. Dressler and R. Ciardullo (1996). "Time dilation in the light curve of the distant type Ia supernova SN 1995K". Ap. J., 466(1):L21-L24.
- [85] A. G. Riess, A. V. Filippenko, P. Challis, A. Clocchiatti, A. Diercks, P.M. Garnavich, R. L. Gilliland, C. J. Hogan, S. Jha, R. P. Kirshner, B. Leibundgut, M. M. Phillips, D. Reiss, B. P. Schmidt, R. A. Schommer, R. C. Smith, J. Spyromilio, C. Stubbs, N. B. Suntzeff, and J. Tonry (1998). "Observational evidence from supernovae for an accelerating universe and a cosmological constant". Astron. J., 116(3):1009-1038.
- [86] S. Perlmutter, G. Aldering, G. Goldhaber, R. A. Knop, P. Nugent, P. G. Castro, S. Deustua, S. Fabbro, A. Goobar, D. E. Groom, I. M. Hook, A. G. Kim, M. Y. Kim, J. C. Lee, N. J. Nunes, R. Pain, C. R. Pennypacker,

- R. Quimby, C. Lidman, R. S. Ellis, M. Irwin, R. G. McMahon, P. Ruiz-Lapuente, N. Walton, B. Schaefer, B. J. Boyle, A. V. Filippenko, T. Matheson, A. S. Fruchter, N. Panagia, H. J. M. Newberg, W. J. Couch, and The Supernova Cosmology Project, *ApJ* 517, 565–586 (1999).
- [87] J. K. Webb, V. V. Flambaum, C. W. Churchill, M. J. Drinkwater, J. D. Barrow, *Phys.Rev.Lett.*, 82, 884, (1999)
- [88] M. Milgrom, "MOND: time for a change of mind?", arXiv:0908.3842 [astro-ph.CO].
- [89] I. Newton, "Mathematical Principles of Natural Philosophy", A new translation by I. B. Cohen and A. Whitmann, with a guide to Newton's *Principia* by I. B. Cohen (University of California Press, Berkeley 1999).
- [90] R. Anderson, I. Vetharaniam, G.E Stedman, *Physics Reports* 295, 93-180 (1998) p 108.
- [91] G. Builder, *Aust J Phys* II (1958a) 279 and 11 (1958b) 457 and *Philosophy sci* 26 (1959) 135.
- [92] P. Horava, 2009, "Quantum gravity at a Lifshitz point". *Phys. Rev. D* 79, 084008. (doi:10.1103/PhysRevD.79.084008).
- [93] S. W. Hawking, R. Penrose, 1970, *RSPSA*, 314, 529.
- [94] G. O. Mueller and K. Kneckebrödt, "95 Years of Criticism of the Special Theory of Relativity (1908-2003)", [GOM-Project Relativity], 2006.
- [95] Galilean electrodynamics. 1990 ff. - Journal.
- [96] Alternates to Special Relativity [No. 1] In: *Speculations in science and technology*. 2. 1979, No. 3: Special Einstein Centennial Issue. (= pp. 217-359). Alternates to Special Relativity [No. 2]. 1980.
- [97] N. Rudakov, "Fiction stranger than truth: in the metaphysical labyrinth of relativity", 1981.
- [98] L. Parish, "The logical flaws of Einstein's relativity", 1977.
- [99] H. Nordenson, "Relativity, time, and reality: a critical investigation of the Einstein Theory of Relativity from a logical point of view", 1969.
- [100] C. A. F. Benedicks, "Space and time: an experimental physicist's conception of these ideas and of their alteration", 1924.
- [101] Apeiron: studies in infinite nature. 1987 ff. - Journal.
- [102] F. Barone, F. Selleri, "Frontiers of fundamental physics: [Proceedings of an International Conference on Frontiers of Fundamental Physics, held September 27-30, in Olympia, Greece]", 1994.
- [103] D. C. Miller, "The ether-drift experiment and the determination of the absolute motion of the earth", *Reviews of modern physics*. (USA). 5. 1933, Nr. 3, pp. 203-242.
- [104] H. M. Collins, T. Pinch, "The Golem: what everyone should know about science", 1993. 2.ed. 1998.
- [105] F. Selleri, "Open questions in relativistic physics: [Proceedings of an International Conference on Relativistic Physics and Some of its Applications, 1997, June 25-28, Athens]", 1998.