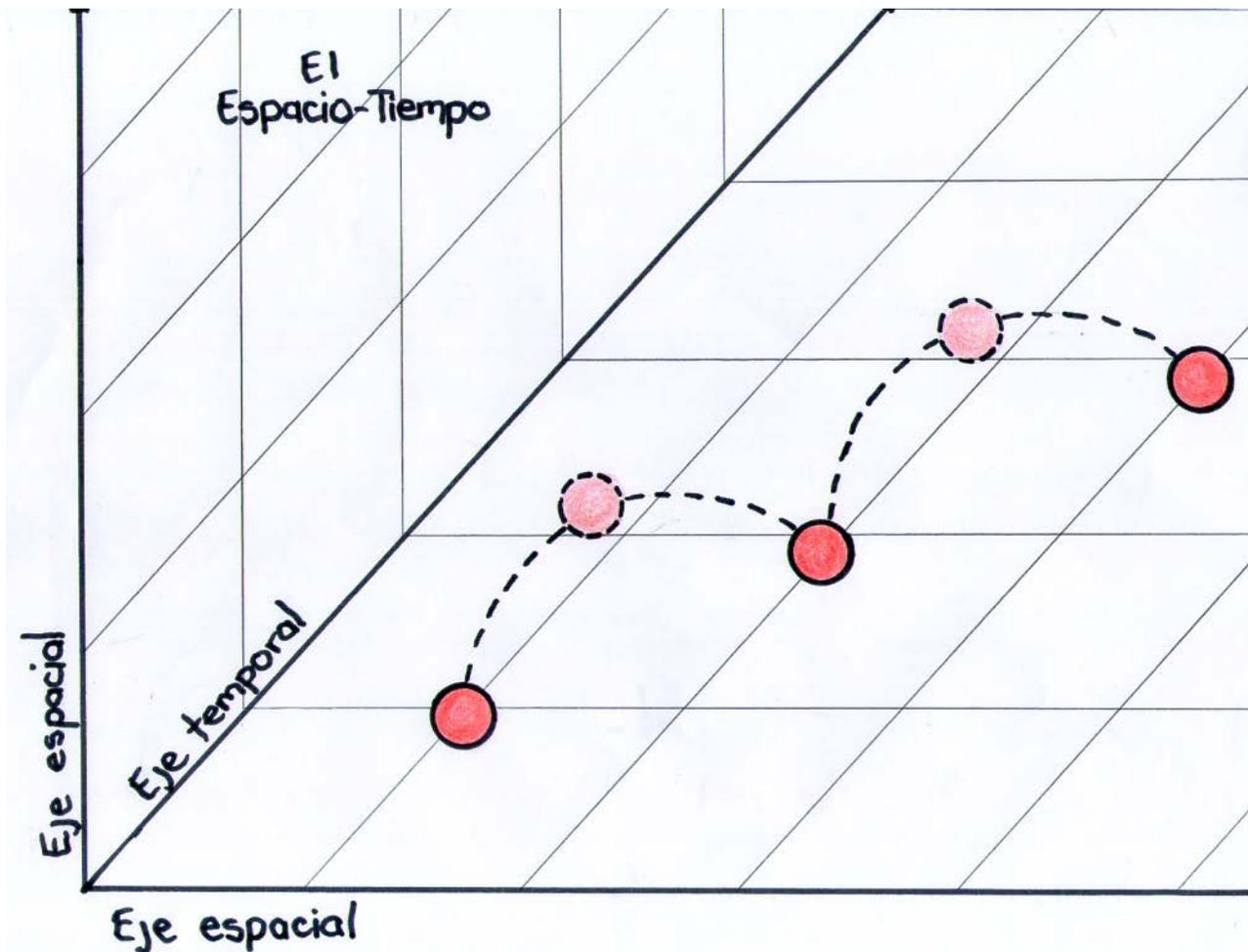


Pre·Impresos **17**

Estudiantes

Facultad de Ciencia y Tecnología. Departamento de Física - 2020-I • ISSN-E: 2323-0193 - ISSN 2539-0945



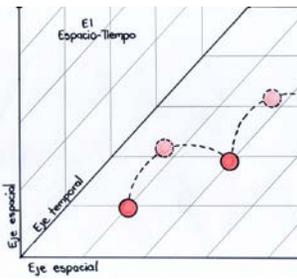
Geometría del espacio-tiempo: los diagramas de Minkowski

Juan Manuel Peña Díaz
Licenciatura en Física



**UNIVERSIDAD PEDAGOGICA
NACIONAL**

Educadora de educadores



Pre·Impresos **17** Estudiantes

Leonardo Fabio Martínez Pérez
Rector

John Harold Córdoba
Vicerrector Académico

Maria Isabel González Terreros
Vicerrectora de Gestión Universitaria

Fernando Méndez Díaz
Vicerrector Administrativo y Financiero

Helberth Augusto Choachi González
Secretario General

Facultad de Ciencia y Tecnología
Departamento de Física

Steiner Valencia Vargas
Director Departamento

Sandra Milena Forero Díaz
Coordinadora Licenciatura

Víctor Andrés Heredia Heredia
Supervisión de Contenido

Juan Carlos Bustos Gómez
Director Revista

Juan Manuel Peña Díaz
Cubierta e imágenes

© Universidad Pedagógica Nacional
© Autor: Juan Manuel Peña Díaz

ISSN-E: 2323-0193
ISSN: 2539-0945

Diseño y preparación editorial
Universidad Pedagógica Nacional
Grupo Interno de Trabajo Editorial 2020

Alba Lucía Bernal Cerquera
**Coordinadora Grupo Interno
de Trabajo Editorial**

Viviana Vásquez
Laura Campo
Editoras de revistas

Bogotá, Colombia

Geometría del espacio-tiempo: los diagramas de Minkowski

Editorial	3
Geometría del espacio-tiempo: los diagramas de Minkowski	4
Resumen	4
Introducción	5
Teoría especial de la relatividad	6
El espacio-tiempo	8
Dibujos espaciotemporales	14
Reflexiones	19
Referencias	20
Primeras letras	21

Presentación

La serie Pre·Impresos Estudiantes es una iniciativa editorial del Proyecto Comunicación y Publicaciones de la Facultad de Ciencia y Tecnología (FCT), cuya idea central es trabajar por la cualificación de la escritura, para dar visibilidad a la producción intelectual de los maestros en formación y en ejercicio. Con esta publicación se busca tender puentes entre los saberes especializados y la cultura en general, además de contribuir al fortalecimiento de la docencia y la investigación en educación.

Asimismo, constituye una estrategia de comunicación que posibilita la circulación adecuada de información y promueve la reflexión sobre temas y actividades inherentes a las ciencias, la matemática, la tecnología y su enseñanza. Con ella también se espera favorecer la integración de los equipos de trabajo y la construcción de relaciones de cooperación entre los diferentes miembros de la comunidad académica de la Facultad.

Estos aspectos, relacionados con los fines misionales de la Universidad Pedagógica Nacional, resultan pertinentes y significativos en la formación de nuevas generaciones de maestros e investigadores en pedagogía, que en su futura práctica profesional afrontarán diversos retos y circunstancias que el entorno social del país le plantea a la educación.

Información:

pre_impresos@pedagogica.edu.co
Facultad de Ciencia y Tecnología
Teléfonos: (57) (1) 3471190 / 5941894 Ext. 242

Editorial

La ciencia pasa por el lenguaje

Pre-Impresos Estudiantes es un proyecto de la Facultad de Ciencia y Tecnología (FCT) de la Universidad Pedagógica Nacional que gestiona una publicación estudiantil, cuya finalidad es visibilizar la producción intelectual de los maestros en formación y egresados de la FCT. Asimismo, y fundamentalmente, es un programa para la formación y cualificación en escritura académica.

Como programa de escritura, Pre-Impresos constituye un espacio de formación extracurricular que impulsa e incentiva la escritura desde un enfoque comunicativo. En tanto forma de comunicación privilegiada en la academia, la escritura constituye un aspecto esencial para la cognición. De modo que asumir el reto de la comunicación en la escritura académica supone preguntarnos por el sentido de esta práctica; es decir, no solo qué escribir, sino para qué y para quién escribimos.

Ahora bien, esta iniciativa es relevante por el apoyo transversal a los programas curriculares para la cualificación de procesos escriturales y la producción de textos con fines de publicación, ya que la escritura facilita compartir experiencias y promover el diálogo entre pares, socializar las innovaciones pedagógicas y estimular el intercambio académico. Hay que señalar que la escritura constituye una parte importante de la formación disciplinar misma, por la relación de base que existe entre pensamiento y lenguaje, que convierte al aprendizaje escritural en un campo específico de formación, que demanda la misma dedicación y disciplina que cualquier otra especialidad.

En efecto, la escritura se funda en una delicada relación entre forma y contenido que va más allá de la mera transmisión de información y toma tiempo en dominar, en tanto, su aprendizaje implica desarrollar la habilidad para

poder separar el sentido de la forma lingüística, es decir, diferenciar el estilo del significado. Dado que la escritura aparece de forma simultánea sobre la página, aprender a comunicar el conocimiento a través del lenguaje escrito requiere de un arduo trabajo previo para encontrar la organización adecuada que relacione las ideas de manera coherente.

Así, escribir exige la determinación de tomar distancia para visualizar, aclarar y concretar las ideas en un esquema que les dé estructura y las haga inteligibles. En esta medida, escribir textos académicos es un proceso de aprendizaje del uso del lenguaje sobre el mismo lenguaje como medio para la socialización de las ideas; por lo cual, jamás se conseguirá la profundidad y originalidad como fruto de la mera redacción.

En este marco, nos parece importante privilegiar todas las formas de escritura, para estimular el gusto por la comunicación escrita e iniciar la huella de la escritura. Por ello, alentamos a los estudiantes a dar sus primeros pasos como autores y los acompañamos en ese proceso; aspecto importante por cuanto no solo marca el inicio de su producción académica, sino quizás la primera de muchas más publicaciones.

En relación con lo anterior, en este número, además del artículo central, publicamos una muestra de la producción escritural de estudiantes de primeros semestres, que a todas luces descuellan por su pericia para moldear las ideas mediante un uso flexible del lenguaje y gran economía narrativa. A todos ellos les auguramos un futuro muy promisorio como maestros y comunicadores de las ciencias.

Finalmente, invitamos a todos los estudiantes y egresados de la Facultad a que se vinculen al programa de escritura Pre-Impresos, a través del correo: pre_impresos@pedagogica.edu.co

Juan Carlos Bustos Gómez
Director Pre-Impresos Estudiantes

Geometría del espacio-tiempo: los diagramas de Minkowski

Geometry of Space-time: Minkowski's Diagrams

Geometria do espaço-tempo: os diagramas de Minkowski

Juan Manuel Peña Díaz

juanmanuelpenadiaz11@gmail.com

Resumen

La Teoría Especial de la Relatividad (TER) es quizás una de las teorías más populares de la física, sin embargo, puede ser difícil de explicar solo con el uso de las palabras. Los diagramas de Minkowski son la herramienta geométrica de la TER que permiten mostrar conceptos como espacio-tiempo, marco de referencia o incluso la idea de una velocidad límite (la velocidad de la luz) para el conocimiento de los sucesos que ocurren en el universo. También, permiten representar las implicaciones de esta teoría, como la dilatación temporal y la contracción espacial de los objetos, para un observador ubicado en un marco de referencia en movimiento. Todo esto se puede condensar en un solo gráfico, lo que facilita analizar la causalidad, la necesidad de la existencia del espacio-tiempo y evidenciar la imposibilidad de conocer sucesos que se encuentren demasiado alejados; asimismo, hace evidente que las mediciones que realice cualquier observador del espacio y el tiempo cambian dependiendo de la velocidad que lleve.

Palabras clave:

análisis causal; medición; relatividad;
observación; causa y efecto

Abstract

The Special Theory of Relativity (STR) is perhaps one of the most popular theories of Physics, however, it can be difficult to explain just with words. Minkowski's diagrams are the geometrical tool of the SRT, which allows displaying concepts such as Space-Time, reference frame, or even the idea of a limit speed (the speed of light) to know the facts that take place in the universe. It also eases representing the implications of this theory for an observer located in a moving reference frame, such as the temporal dilation and the spatial contraction of objects. Based on this, everything can be condensed into one single graph, which makes easier to analyze the causality and necessity of the existence of Space-Time and highlights the impossibility to perceive events that are too far away. Besides, it makes clear that the measurements of space and time vary according to the speed of the observer.

Keywords:

causal analysis; measurement; relativity;
observation; cause and effect

Resumo

A Teoria Especial da Relatividade (TER) é talvez uma das teorias mais populares da física, mas, pode ser difícil de explicar só com o uso das palavras. Os diagramas de Minkowski são a ferramenta geométrica da TER que permitem mostrar conceitos como espaço-tempo, marco de referência ou inclusive a idéia de uma velocidade limite (a velocidade da luz) para o conhecimento dos acontecimentos que ocorrem no universo. Também permite representar as implicações desta teoria, como a dilatação temporal e a contração espacial dos objetos, para um observador localizado num marco de referência em movimento. Tudo isto pode-se condensar num só gráfico, o que facilita analisar a causalidade, a necessidade da existência do espaço-tempo e evidenciar a impossibilidade de conhecer acontecimentos que se encontre demasiado distantes; Também torna evidente que as medições feitas por qualquer observador do espaço e do tempo mudam dependendo da velocidade que levam.

Palavras-Chave:

análise causal; medição; relatividade; observação; causa e efeito

Introducción

La motivación para escribir el presente trabajo surge de la participación en el *IX congreso de la enseñanza de la Física y la Astronomía* (2018), en el que intervine con una ponencia sobre los diagramas de Minkowski como una herramienta bastante útil para abordar la Teoría Especial de la Relatividad (TER) y los conceptos que allí se utilizan. A partir de ahí, decido comenzar a escribir un documento que permita entender los conceptos de la teoría sin estar familiarizado con la física.

Ahora bien, la TER cambia el sentido natural de la simultaneidad haciendo ver que esta solo tiene significado cuando se evidencia desde un marco de referencia específico, dichos marcos son aquellos desde los cuales un observador da cuenta de los sucesos que ocurren a su alrededor. Ahora, el cambio en la idea de simultaneidad se debe a que existe una velocidad límite para el conocimiento de los sucesos, lo cual implica que cada observador juzgue de diferente manera la simultaneidad, haciéndola subjetiva. Así, esta trae como consecuencia que los marcos, las mediciones del tiempo y el espacio no concuerden, haciéndose el tiempo más largo y las distancias más cortas (entre mayor sea la velocidad del marco), eso sí, con la condición

de que ningún observador pueda alcanzar la luz si quiere mantener la posibilidad de ubicar sucesos en el espacio-tiempo.

Los diagramas de Minkowski son una herramienta geométrica que permite representar conceptos como espacio-tiempo, marco de referencia, sucesos y simultaneidad; en ese sentido, se imagina a un observador situado en un marco midiendo los tiempos y ubicaciones de los sucesos que ocurren a su alrededor, permitiendo establecer relaciones causales entre ellos. Por ejemplo: al empujar un vaso por la cornisa de un balcón cae al piso y se rompe, para cualquier observador la causa de la caída del vaso y su posterior ruptura fue un empuje, esta relación es causal, ya que, si la primera acción no hubiera tenido lugar, el vaso aún estaría entero. Sin embargo, ¿es posible que para otro observador las ubicaciones que dé al vaso cambien? La respuesta es sí, otro observador ubicado en el suelo, al verlo caer admitirá que el vaso está cerca de él, mientras que el observador desde la cornisa dirá que está lejos de él. ¡Las ubicaciones de los objetos dependen del marco de referencia desde el cual las mide el observador!

Según la TER, las ubicaciones temporales de los sucesos también pueden cambiar dependiendo de la velocidad que lleve el marco. Los

diagramas de Minkowski brindan la posibilidad de mostrar y analizar aspectos relevantes de la TER; por esto, en este trabajo se presenta al lector lo expuesto en la teoría para luego mostrarle las interpretaciones de sus conceptos con ayuda de analogías o cuentos, a fin de hacer más clara su significación y, finalmente, condensarlo todo en un solo gráfico.

Los diagramas de Minkowski dotan de sentido geométrico a una teoría física como la TER, asunto de gran importancia debido a que las teorías físicas en su mayoría tienen una representación geométrica que permite dar una idea más clara de ellas.

En otro orden de ideas, quiero expresar mis sinceros agradecimientos al profesor Juan Carlos Castillo, quién con sus preguntas y aclaraciones me permitió escribir un documento más claro y conciso. Igualmente, agradezco a Daniela Tauta, estudiante de la Licenciatura en Español e Inglés, de la UPN, por la lectura acuciosa del documento que me hizo consciente de mis saltos argumentales o de los vacíos en la escritura cuando carecía de un hilo conductor claro. Al igual que a todas las personas que leyeron el documento y me aportaron sus comentarios y sugerencias y, por último, a mi madre Gloria Díaz por su apoyo incondicional y por sus preciados aportes en la elaboración de la portada.

Teoría especial de la relatividad

En 1905, Albert Einstein publicó un artículo titulado “De la electrodinámica de los cuerpos en movimiento”, en el que mediante la revisión los conceptos de espacio, tiempo y simultaneidad, demostró que no todos los observadores ubican de la misma manera los sucesos ocurridos en el Universo. En otras palabras, las mediciones del espacio y el tiempo varían dependiendo del estado de movimiento del observador.

Para ilustrar lo anterior presentamos la siguiente historia, basada en una que propuso Bertrand Russell (1985), en el cual un hombre condenado a muerte será ejecutado de forma pública en un vagón en movimiento, para que pueda ser visto por un gran número de personas. El condenado está en el centro del vagón y en cada extremo hay un pistolero, cada uno con un reloj sincronizado, a los cuales se les dio la orden de disparar diez segundos después de que el vagón comience su recorrido.

Diez segundos después de que el vagón inicia su recorrido, los pistoleros disparan y el condenado cae al suelo, pero el juez nota al revisarlo que aún está vivo y condolido decide perdonarle la vida. Al informarle a la esposa del excondenado su decisión, ella pregunta por qué uno de los pistoleros disparó primero. Consternado, el juez pregunta a los verdugos si dispararon según los tiempos acordados, a lo cual responden afirmativamente.

Esto plantea la posibilidad de que el tiempo no sea simultáneo para todos, sino que sea medido subjetivamente, es decir que no exista un tiempo absoluto. Esto implica que las mediciones del tiempo son relativas a los estados de movimiento de los observadores, lo que lleva a la conclusión de que solo es posible constatar la existencia de los sucesos. En el caso de los disparos, se admite que los relojes de los pistoleros marcaron diez segundos para cada uno por separado, ya que su simultaneidad depende del observador que la juzgue.

Junto con esta subjetividad en las mediciones, Einstein plantea que la velocidad de la luz (3×10^8 m/s) no tiene esa característica, es decir, que su valor es el mismo para cualquier observador, sin importar su estado de movimiento. Consideremos el caso de un observador que se desplaza en un auto y se cruza con otro, al cabo de un segundo, la distancia que los separa sería igual a la suma de sus velocidades; sin embargo, si el carro con el que se cruza se moviera a la

velocidad de la luz, la distancia que los separaría al cabo de un segundo sería de 3×10^8 metros (Russell, 1983).

Otro ejemplo para ilustrar esta idea es imaginar una mosca en un estanque que produce ondas circulares alrededor de ella, si estas ondas se movieran a la velocidad de la luz, la mosca siempre estaría en el centro de la circunferencia, sin importar la velocidad con la que se mueva. En cambio, si la velocidad con la que se mueven las ondas fuera menor se observaría como la mosca se acerca al borde de la circunferencia (Russell, 1985).

Las ideas expuestas en el artículo de Einstein fueron la base para la formulación de la Teoría Especial de la Relatividad (TER), en la que se plantea que al aceptar la simultaneidad como algo subjetivo y asumir la velocidad de la luz como una invariante, las mediciones que se realicen del espacio y el tiempo se verán afectadas por la velocidad del observador.

De otro lado, realizar medidas del espacio conlleva la creación de un sistema de coordenadas, que permite a un observador determinado ubicar puntos en el espacio para medir la distancia entre ellos al unirlos con una línea recta. A estos sistemas se les da el nombre de marcos de referencia y se imagina que todo observador se encuentra dentro de un marco de referencia. Para dar cuenta del tiempo a cada marco se le asocia un reloj que mide su propio tiempo, puesto que el tiempo puede diferir entre los marcos de referencia posibles.

Los cambios en las mediciones de tiempo y la concepción de una velocidad de la luz constante para cualquier observador conllevan a aceptar que las mediciones del espacio también difieran entre observadores dependiendo de su velocidad, estos cambios respecto a un observador inmóvil se ven representados en las llamadas transformaciones de la TER:

$$x' = \gamma(x - vt)$$

$$t' = \gamma \left(t + \frac{v}{c} x \right)$$

La primera transformación, llamada ecuación de Lorentz, establece que las mediciones del espacio se ven afectadas por el movimiento de los marcos de referencia, por lo que un observador ubicado en un marco de referencia cualquiera percibirá una contracción del tamaño de los objetos entre más rápido se mueva por el espacio. La segunda ecuación, conocida como de dilatación temporal de Einstein, plantea que entre más rápido sea el movimiento del marco, el tiempo se hará más largo; así, estas dos transformaciones muestran la imposibilidad de viajar a la velocidad de la luz, ya que la longitud de los objetos se haría cero y el tiempo que marcarían los relojes se detendría.

Ahora, si las mediciones del tiempo y el espacio varían dependiendo del estado de movimiento, cabe preguntar si es posible llegar a un consenso sobre las distancias recorridas, independientemente de cada observador. De modo que, plantear una relación de este tipo implica concebir el movimiento no solo desde una dimensión espacial, sino también desde una dimensión temporal.

La siguiente situación quizás ayude a entender mejor esta idea: imaginemos un observador que viaja en tren desde Chía hasta Zipaquirá junto a una amiga, juzgaría el movimiento de su compañera de viaje desde una dimensión temporal debido a que no percibe la dimensión espacial del movimiento respecto a sí mismo, lo único que transcurre es el tiempo. Por el contrario, un observador ubicado fuera del tren juzgaría el movimiento tanto espacial como temporalmente, porque desde su punto de vista (marco

de referencia) observa a la mujer recorrer cierta distancia en un tiempo determinado. Aunque los dos observadores juzgan el movimiento de diferente manera, ninguno está equivocado, pues cada uno tiene sus propias justificaciones según asumen la naturaleza de cada movimiento respecto a su lugar de observación.

Según la TER el tiempo es una dimensión real por la que es posible moverse. Esta concepción hace posible determinar las distancias reales en el universo y da origen a la relación espacio-tiempo que permite establecer las distancias entre observadores sin importar su estado de movimiento; a esta relación se le denomina *intervalo espacio-tiempo*.

El espacio-tiempo

La geometría es una herramienta muy útil para explicar y comprender la relación espaciotemporal y otros conceptos propios de la TER. Por ejemplo, pensar el universo como una gran hoja es un artificio que permite a un observador representar los sucesos como puntos en un plano y determinar la distancia que los separa, al unirlos mediante una línea. Tal es el caso del *intervalo espacio-tiempo*, que permite ubicar un suceso y establecer la distancia a la que se halla en relación con la posición de un observador determinado, teniendo en cuenta la velocidad y lejanía de este último. En suma, el *intervalo espacio-tiempo* se refiere a la distancia entre sucesos y es independiente del estado de movimiento de los observadores.

La siguiente adaptación del cuento de Kip Thorne (1995), titulado *El Dilema de los topógrafos*, quizás nos ayude comprender de mejor manera el espacio y el tiempo como una sola entidad.

En un antiguo y remoto reino existían dos clanes de topógrafos: los Solenos que trabajan de día y los Luneros que lo hacían de noche. Ambos clanes trabajaban para el rey y convivían en el mismo territorio, un lugar delimitado por un cuadrado.

Un día, el rey llamó a los líderes de los dos clanes, porque quería conocer la distancia entre su castillo y el territorio de los topógrafos. Así que les ordenó medir esa distancia, comparar medidas y traerle el resultado. Ese mismo día los Solenos hicieron sus medidas y los Luneros lo hicieron al anochecer, pero cuando compararon las mediciones, la distancia no coincidía, surgió entonces una discusión en torno a quién tenía la razón. Una vez se le informó al rey de esta discrepancia, ofreció una recompensa a quien lograra resolverla.

Un joven topógrafo se propuso hallar la solución, para ello estudió las medidas de ambos clanes y analizó la forma de medir de cada uno. Ambos clanes primero medían la distancia desde el clan hasta el Norte del castillo y luego comenzaban a recorrer esta dirección hasta llegar al castillo, sumaban la distancia recorrida en ambas direcciones y obtenían su resultado.

El joven topógrafo también encontró que los Solenos ubicaban su norte usando una brújula mientras que los Luneros se valían de una estrella a la que llamaban la estrella del norte y, además, que ambos clanes medían la distancia hacia norte en millas y las distancias en otras direcciones en metros, debido a una antigua tradición que compartían.

Al revisar los mapas en los que los dos clanes habían plasmado sus mediciones, el joven topógrafo observó que la discrepancia en las medidas era ocasionada por la diferencia en las maneras de medir, pues las unidades de medida variaban dependiendo del camino usado. Como sabía que no podía sumar metros con millas usó un factor de conversión para conocer el equivalente de las millas en metros y así poder sumar las distancias, además, descubrió que, si trazaba una línea recta desde el castillo hasta el territorio topógrafo, la longitud era la misma en ambos mapas. Ahora, solo debía corroborar su descubrimiento sin hacer mediciones en el terreno, debido a que los clanes lo harían escoger un bando, y él quería evitar tomar partido, entonces debía bastarle con las medidas tomadas por cada uno de los clanes.

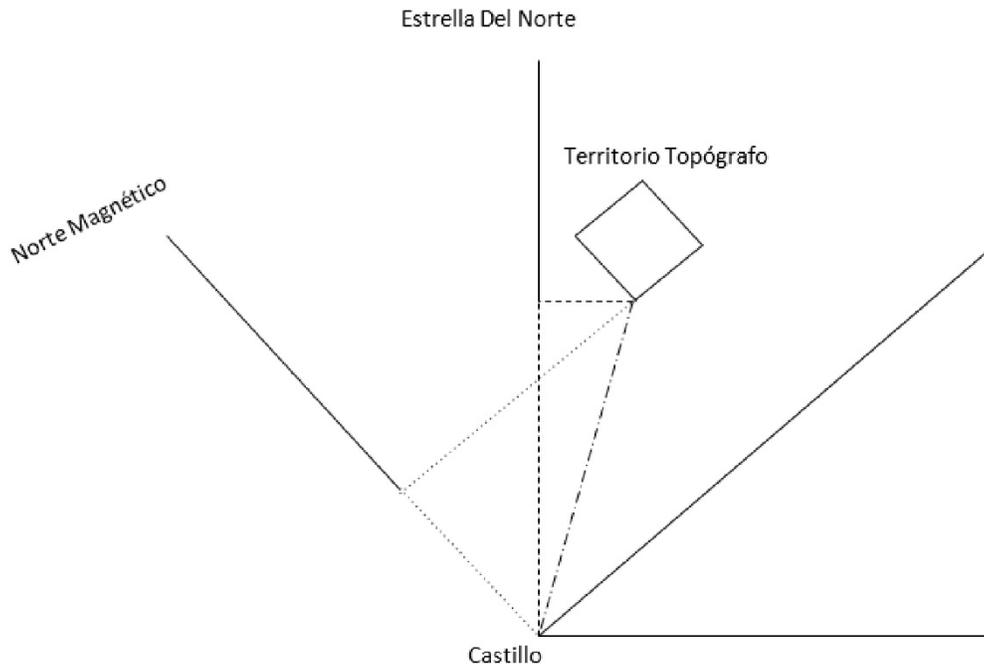


Figura 1. Distancias de topógrafos. Ilustración de las medidas de los solenos (línea cortada) y los luneros (línea punteada)

El joven recordó una relación matemática que existe entre los lados de un triángulo rectángulo, el teorema de Pitágoras, que permite conocer la magnitud de un lado de un triángulo rectángulo si se conocen los dos restantes. Mediante el uso de esta herramienta matemática logró comprobar que la distancia entre el castillo y el territorio topógrafo (línea a trazos y puntos en la imagen 1) era la misma para ambos clanes, con lo cual hizo evidente que el problema radicaba en la forma como efectuaban sus mediciones.

El joven mostró sus resultados al rey, obtuvo la recompensa y así demostró que la manera de hacer mediciones afecta el resultado de una distancia.

Para nuestro caso, el terreno sobre el que se realizan las medidas es el espacio-tiempo, los topógrafos son equivalentes a los observadores,

la conversión que hace el joven —para encontrar una concordancia de unidades y hallar una relación para la distancia de la aldea al castillo— es semejante a la realizada con el tiempo para encontrar el *intervalo* espacio-tiempo.

Minkowski fue el “topógrafo” (en realidad geómetra) que usó el *Intervalo* espacio-tiempo como herramienta que garantizara que la medición de una distancia fuera independiente del observador que realiza la medición. Con el fin de hallar una paridad en la unidad de medida de tiempo y espacio, convirtió el tiempo en una dimensión más, al utilizar la velocidad de la luz como factor de conversión para transformar el tiempo (medido en segundos) en espacio (medido en metros), debido a que la velocidad de la luz, según la TER, conserva su valor sin importar la velocidad a la que se muevan los observadores.

Introducir esta constante hace que exista un límite para conocer cualquier suceso en el Universo, ya que gracias a la luz es posible observarlos. Esto quiere decir que, si una estrella se encontrara a 14 años luz de distancia de la tierra y explotara, nuestros astrónomos solo verían esa explosión 14 años después de ocurrido el evento, puesto que, ese es el tiempo que tardaría en llegar la luz de esa estrella a la tierra.

Basado en esto, es posible afirmar que en el espacio-tiempo ocurren miles de sucesos imposibles de conocer inmediatamente debido a que existe un límite para ello, eso no significa que no ocurran; por lo que el espacio-tiempo es entonces la colección de sucesos que ocurren en el Universo (Geroch, 1985).

Este espacio-tiempo debe estar presente en las ecuaciones de transformación de la TER para garantizar que no exista una discrepancia entre unidades y avanzar hacia una relación que permita encontrar las distancias entre los sucesos, independientemente del estado de movimiento del observador. Las ecuaciones que describen esta situación quedan formuladas de la siguiente manera:

$$ct' = \gamma(ct - \beta x)$$

$$x' = \gamma(x + \beta ct)$$

Siendo Beta $\frac{v}{c}$

Se aprecia cómo el tiempo está siendo multiplicado por la velocidad de la luz en las transformaciones, logrando la introducción del tiempo como una cuarta dimensión en las ecuaciones de la transformación de la TER, cuya unidad de medida ahora es el metro. Esta idea del espacio-tiempo se puede representar como una malla, generalmente llamada tejido espacio-tiempo, en la cual se pueden representar los sucesos acaecidos en el Universo.

$c \cdot \text{Tiempo} = [m]$ Espacio = $[m]$ (Figura 2)

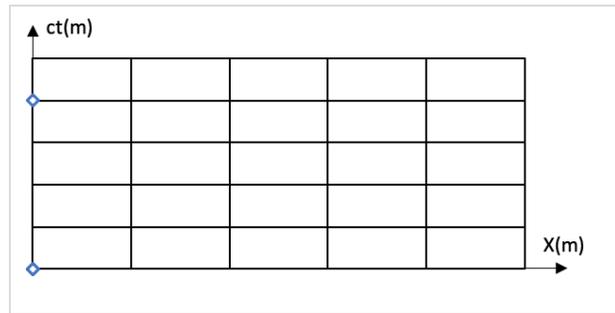


Figura 2. Gráfico de metros segundo contra metros. Las unidades son metros tanto en eje temporal y el eje espacial

El espacio-tiempo se simboliza como una malla, pues según la teoría general de la relatividad, este se puede curvar en la presencia de masa, pero para el caso de la relatividad especial permite ubicar sucesos, redefiniendo el eje y ya no para ubicar objetos espacialmente, sino para ubicar sucesos temporalmente, el eje x también ubicará sucesos en vez de objetos, pero este sí lo hará espacialmente.

Esta representación del espacio-tiempo resulta útil para encontrar la forma que tiene el *Intervalo* espacio-tiempo con ayuda de un razonamiento presentado por Acín y Acín (2016), pensemos en una distancia que sea posible conocer usando una relación como la dada por el teorema de Pitágoras, ya que es la distancia que existe entre dos puntos en el espacio:

$$ds^2 = c^2 dt^2 + dx^2$$

Entonces, la distancia entre sucesos ds — identificada con el color rojo— en la Figura 3 se puede representar como aparece en la siguiente gráfica.

A partir del origen del plano cartesiano, se asume que la parte positiva del eje temporal representa el futuro y su parte negativa el pasado. A es un evento dado y B su respectiva consecuencia, por ejemplo, A es el momento cuando explota una estrella y B es el momento en que un observador ve la explosión. (Figura 4)

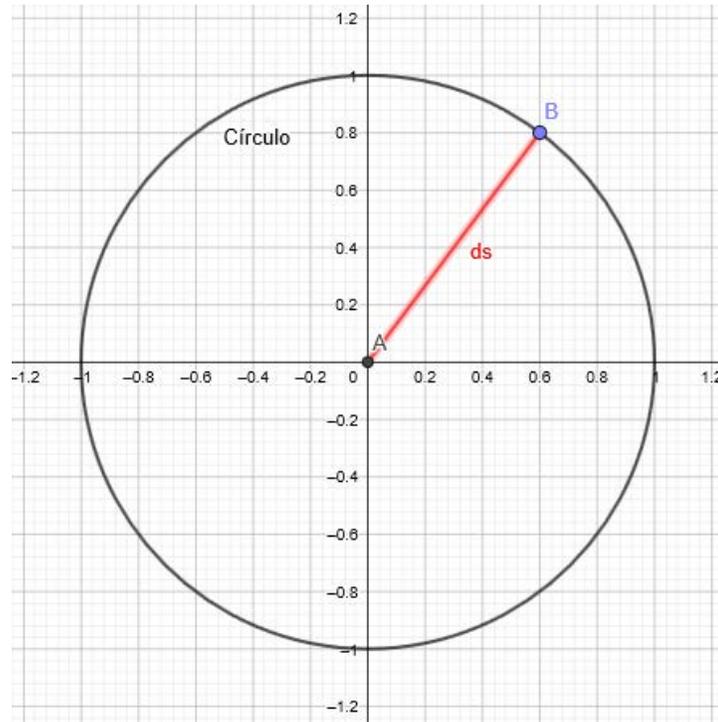


Figura 3. Círculo de consecuencia, derivado de la distancia entre dos puntos deducida por Pitágoras

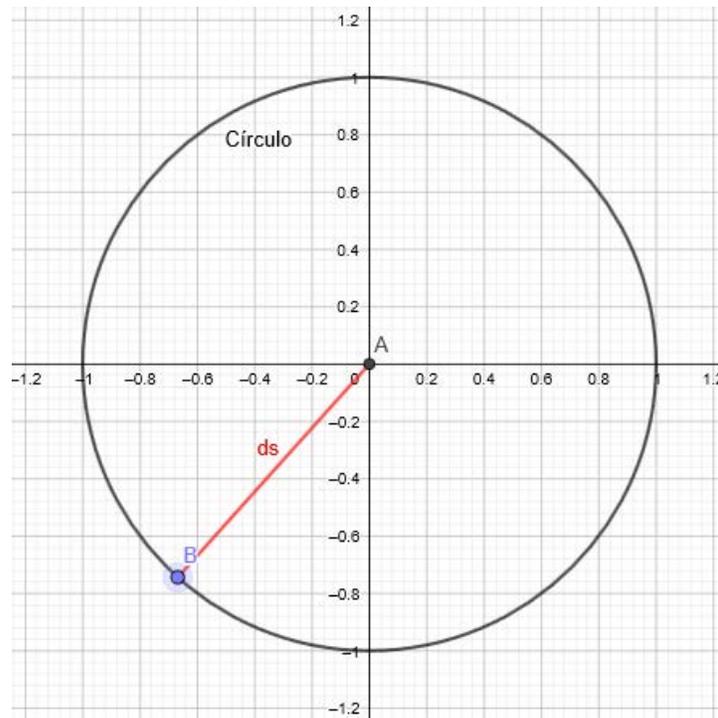


Figura 4. Círculo de consecuencia 2

Si se realiza una transformación sobre la circunferencia, es posible lograr que B ocurra antes de A, pero esto no puede suceder, ya que no es posible observar la explosión de la estrella antes de que tenga lugar. En consecuencia, no es posible usar esta relación para encontrar distancias entre eventos, puesto que para cualquier transformación sobre la curva no se debe afectar la relación de causalidad.

Sin embargo, es posible cambiar la relación de Pitágoras con ayuda de la velocidad de la luz para resolver el problema causado al realizar una transformación sobre la curva. La velocidad de la luz se puede describir como los recorridos de luz en las diferentes dimensiones espaciales en determinado periodo de tiempo:

$$\frac{dx^2}{dt^2} + \frac{dy^2}{dt^2} + \frac{dz^2}{dt^2} = c^2$$

Si factorizamos el dt^2 y multiplicamos ambos lados de la igualdad por dt^2 restando los diferenciales espaciales:

$$c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 = 0$$

El resultado que se obtiene es una relación parecida a la de Pitágoras, en la que se presume que la distancia que recorre la luz en el espacio-tiempo es cero. No obstante, para un observador que viaje a cierta velocidad, la distancia recorrida debe ser diferente de cero, ya que ningún observador puede alcanzar la luz.

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dx^2$$

La curva que representa esta relación respeta la causalidad; ahora bien, el suceso B bajo ninguna transformación sobre la curva podrá ocurrir antes de A, guardando un orden causal. Esta relación es el ya nombrado *Intervalo* espacio-tiempo. *Figura 5*

La velocidad de la luz es la responsable de que los observadores puedan observar los sucesos en el Universo y, por ende, debe ser posible representarla, pero si se presume que las distancias que esta recorre en el espacio-tiempo son iguales a cero, entonces surge una pregunta: ¿Es posible graficar la luz?

Para resolverla, se debe hacer otro tipo de razonamiento, lo importante es tener claro que la luz debe recorrer la misma distancia tanto en la dimensión temporal como en la dimensión espacial para conservar la idea de velocidad constante en el Universo, por ende, la luz se puede representar como una línea recta en el plano. *Figura 6*

La luz permite ver los sucesos en el Universo, debido a esto los observadores tienen un límite para su conocimiento: la velocidad de la luz. Ese límite hace que exista una región observable para cada observador, esta se delimita geoméricamente con la figura de un cono. Los sucesos que ocurren dentro del cono pueden ser percibidos por un observador ubicado en esta región, pero no sucede lo mismo con los sucesos ocurridos por fuera de ella, porque la luz no los alcanza.

Los conos de luz también determinan el área en que los sucesos u observadores pueden afectar a otros. Por ejemplo, es imposible que la causa de que un perro ladre en Chía sea que un astronauta aterrice en Marte, ya que no existe una relación que los vincule causalmente, a pesar de que el tiempo permite hallar una relación cronológicamente razonable, espacialmente no es posible; pues se debería aceptar algo como que una roca fue expulsada desde Marte en dirección a la Tierra debido al aterrizaje de la nave y que golpeó al perro, pero debido a su lejanía es poco creíble, por lo que solo es posible aceptar una cronología de los sucesos, pero no una relación causal entre ellos.

Estas relaciones causales en el espacio-tiempo solo pueden proyectarse hacia el futuro (Acín y Acín, 2016), es decir, una relación causal entre

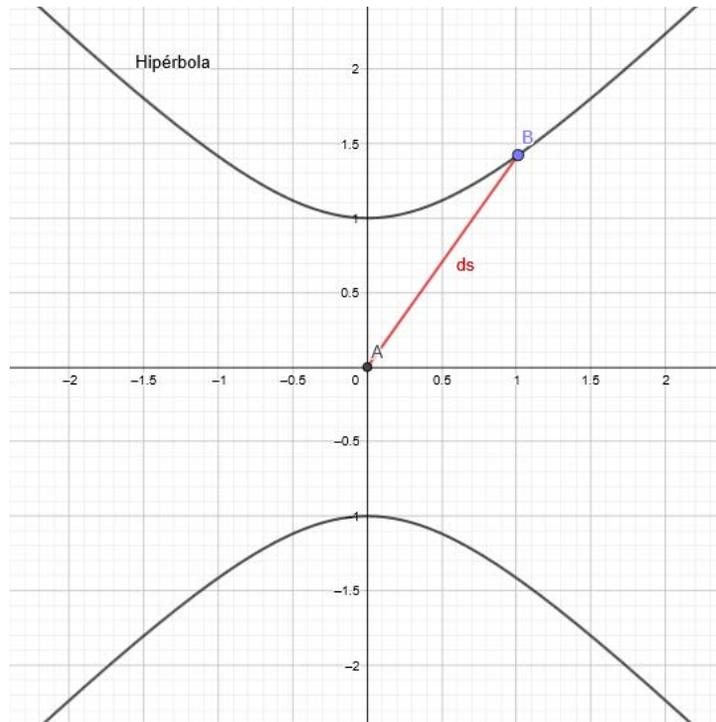


Figura 5. Hipérbolas relativistas. La causalidad de la clave de esta nueva geometría

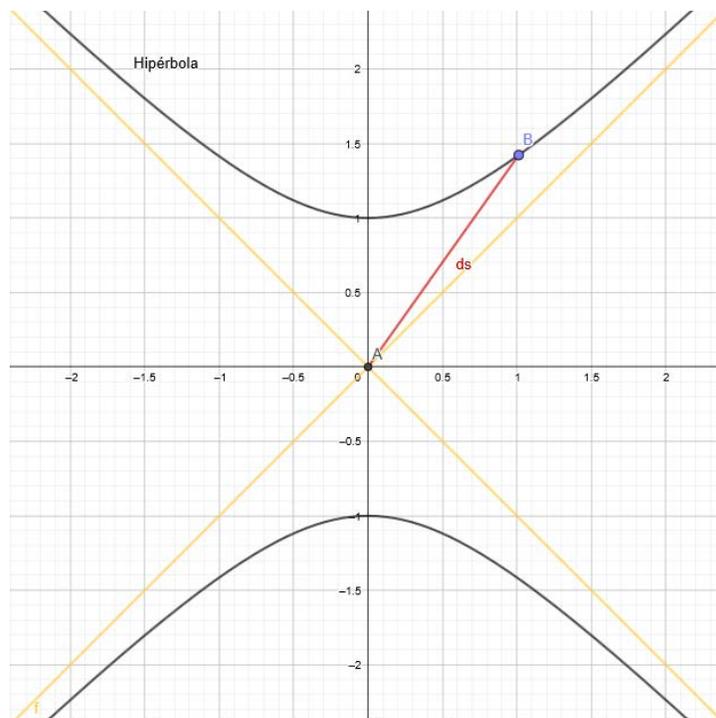


Figura 6. Hipérbolas relativistas y la luz. Imagen de las hipérbolas relativistas, pero con la línea trazada por la velocidad de la luz

sucesos se puede mostrar siempre que exista un suceso que ocurre en el presente y afecte a otro en el futuro. Esta relación causal se representa con dos tipos de cono de luz; uno que delimita la región en la que un suceso en el presente puede afectar a otro en el futuro, y otro que delimita los que han ocurrido en el pasado, que pudieron provocar el suceso que se percibe en el presente.

Hasta aquí, se ha mostrado cómo se representa el espacio-tiempo, el *intervalo* espacio-tiempo y la *luz*, pero también es posible representar un marco de referencia en el cual se sitúa un observador, para dar cuenta de los sucesos que ocurren a su alrededor. Para ello, imaginemos dos observadores, uno inmóvil y otro en movimiento en el espacio-tiempo; a cada uno se le puede representar ocupando cierta posición en determinado tiempo como un suceso, sabiendo que uno ocurre detrás de otro.

El primer observador (o_i) al estar inmóvil solo debería moverse en la dimensión temporal, no en la dimensión espacial, así que debería verse una línea recta, paralela al eje temporal que parte desde algún punto del eje x , representando donde se encuentra en el espacio. El segundo observador (o_m), recorre medio metro en un segundo espaciotemporal y parte desde el origen. La línea que representa este movimiento estaría rotada respecto a ambos ejes. Figura 7.

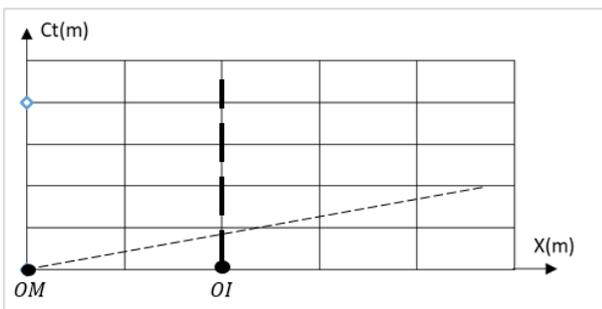


Figura 7. Observadores espaciotemporales.
Sea o_i el observador inmóvil y o_m el observador en movimiento

El movimiento de un marco de referencia a través del espacio-tiempo puede ser representado por una línea recta en un plano cartesiano, con una pendiente que puede aumentar dependiendo de la velocidad del movimiento representado.

Dibujos espaciotemporales

Las rotaciones tienen un papel relevante para la representación de observadores en movimiento dentro del espacio-tiempo, esto es posible de apreciar con ayuda de líneas que representan las posiciones de los observadores en lapsos determinados como sucesos, a estas líneas se les da el nombre de líneas de mundo.

Sin embargo, estas rotaciones de las líneas de mundo no permiten pensar cómo es posible representar los cambios en las medidas del espacio y de tiempo que realizan los observadores dependiendo de su velocidad. Estos cambios se expresan en las transformaciones de la TER, las cuales tienen cierto parecido con las transformaciones que existen para hacer rotar los ejes de un plano coordenado (Figura 8).

$$x' = x \sin \theta - y \cos \theta$$

$$y' = x \cos \theta + y \sin \theta$$

Esto se hace más evidente si se ubican dos sucesos relacionados causalmente en el espacio-tiempo, si están conectados, la distancia entre ellos debe conservarse. Con ayuda de la rotación de ejes es posible hacer evidente cómo las mediciones que realicen los observadores para conocer la distancia temporal y espacial que separa los sucesos cambian dependiendo de la velocidad (Figura 9).

Ahora bien, rotar el marco afecta las mediciones de distancia y tiempo entre los sucesos, entonces, si se quiere que la distancia entre ellos se conserve, la distancia entre dos puntos

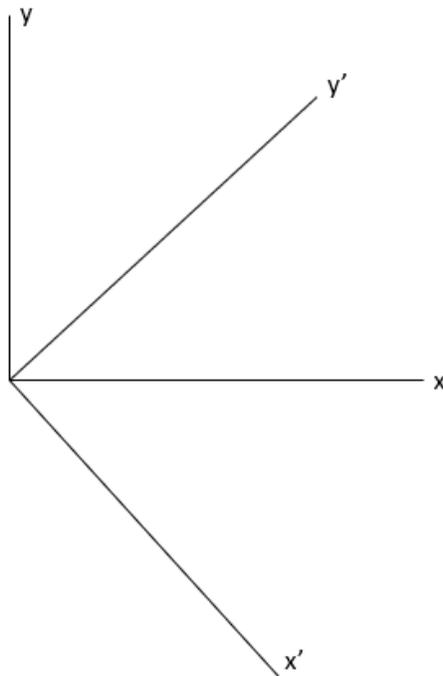


Figura 8. Rotación de ejes. Minkowski notó un parecido entre las ecuaciones de transformación y las usadas para hacer rotar los ejes en un plano coordenado

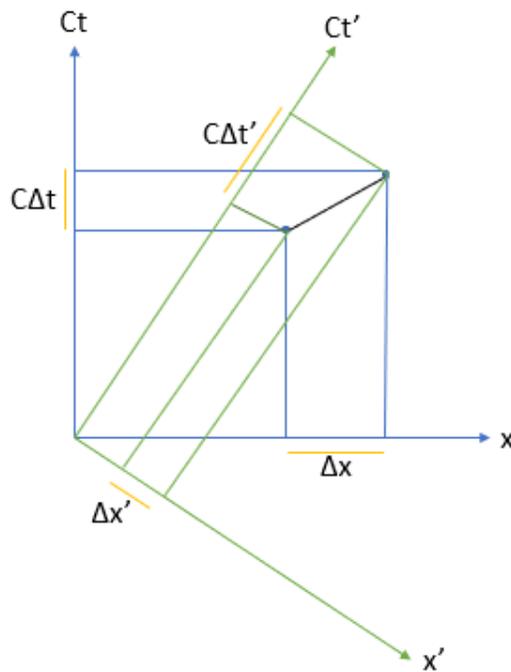


Figura 9. Rotación de ejes. Minkowski notó un parecido entre las ecuaciones de transformación y las usadas para hacer rotar los ejes en un plano coordenado

debe ser la misma para cualquier observador, aunque se mida el tiempo y el espacio de diferente manera.

Debido a lo anterior, se evidencia cómo la rotación de ejes es una buena opción para representar marcos en movimiento. Además de mostrar que para conservar la distancia entre los sucesos, geoméricamente se hace necesario que el tiempo se dilate y el espacio se contraiga para un marco en movimiento.

Estas rotaciones deben estar acordes con la relación entre puntos en un espacio hiperbólico, debido a que el *intervalo* espacio-tiempo tiene esta naturaleza. De modo que las transformaciones con las que es posible rotar ejes son:

$$x' = x \cosh \theta - y \sinh \theta$$

$$y' = y \cosh \theta - x \sinh \theta$$

Dichas transformaciones están escritas con diferentes identidades trigonométricas, esto se debe a que se hallan adscritas a la hipérbola que permite conservar la relación causa-efecto para el espacio-tiempo.

Usando las transformaciones de la TER y las ecuaciones válidas para rotaciones en la geometría hiperbólica es posible establecer una analogía entre ambas si se cumplen las siguientes igualdades:

$$\cosh \theta = \gamma \quad \sinh \theta = \gamma \beta$$

Estas igualdades permiten dar cuenta de que la velocidad es el único dato que se debe conocer para hallar el ángulo de rotación de los ejes temporal y espacial para representarlos, siendo la relación que evidencia esto:

$$\tanh \theta = \frac{v}{c}$$

Utilizando esta igualdad es posible representar los marcos sobre los que los observadores se mueven, siendo el más sencillo a representar aquel que no se mueve. Al realizar el cálculo encontramos que el ángulo correspondiente a un observador en reposo es igual a 90 grados, lo que quiere decir que cualquier marco rotado es equivalente a uno en movimiento y que su ángulo de rotación será mayor a mayor velocidad.

Definidos los conceptos de observador, *luz*, espacio-tiempo e *intervalo* espacio-tiempo, es posible representarlos todos juntos en una sola gráfica, para ello, se dibujarán los ejes rotados dentro del área delimitada por el eje temporal positivo y eje espacial positivo (Figura 10).

Esta compactación permite dar cuenta de cómo cambia la malla espacio-temporal dependiendo de la velocidad del observador con ayuda de la hipérbola, ya que esta intercepta los ejes del marco inmóvil, tanto en el temporal como el espacial, justo en el número uno, siendo esta distancia interpretada como la unidad para un marco inmóvil, lo equivalente a un metro o a un segundo. Para el marco en movimiento se utiliza el mismo razonamiento, lo que pone en evidencia que la malla espacio-temporal efectivamente es propia para cada observador (Figura 11).

Cada observador ubica los sucesos dependiendo de su velocidad, asignándoles una coordenada en su propio sistema de referencia. Si representamos un suceso como un punto y lo ubicamos en un lugar y tiempo determinados para cierto observador, es posible apreciar que esta ubicación solo tiene sentido para dicho observador (Figura 12).

El marco en movimiento ubica el suceso en las coordenadas (1, 4) mientras que el marco inmóvil lo ubica en las coordenadas (4.2, 2.52), mostrando cómo la ubicación de los sucesos cambia dependiendo de la velocidad que lleve el marco del observador que lo ubica.

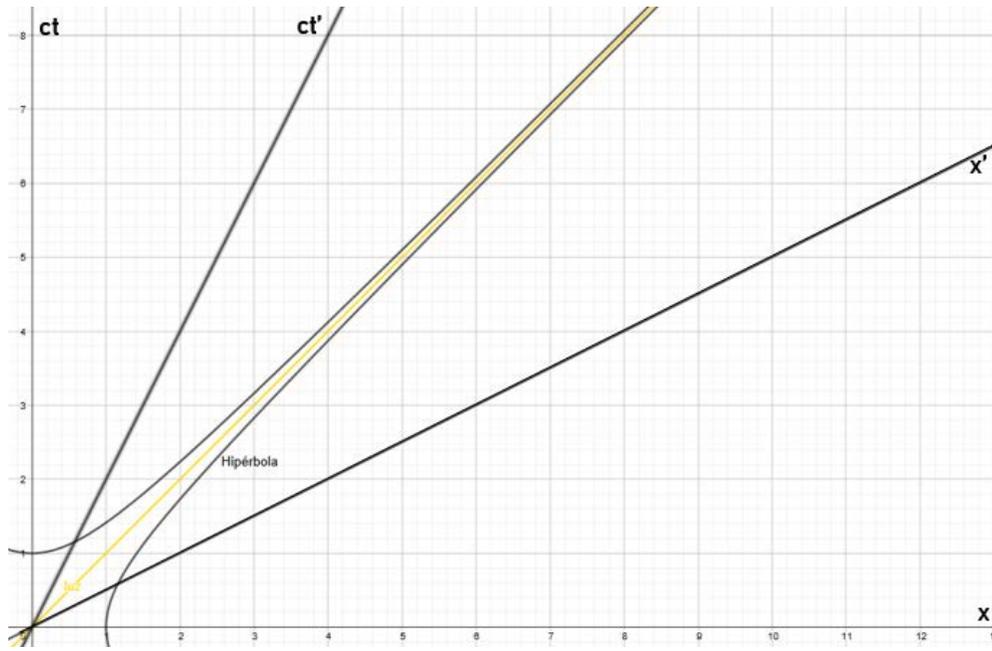


Figura 10. Diagrama de Minkowski

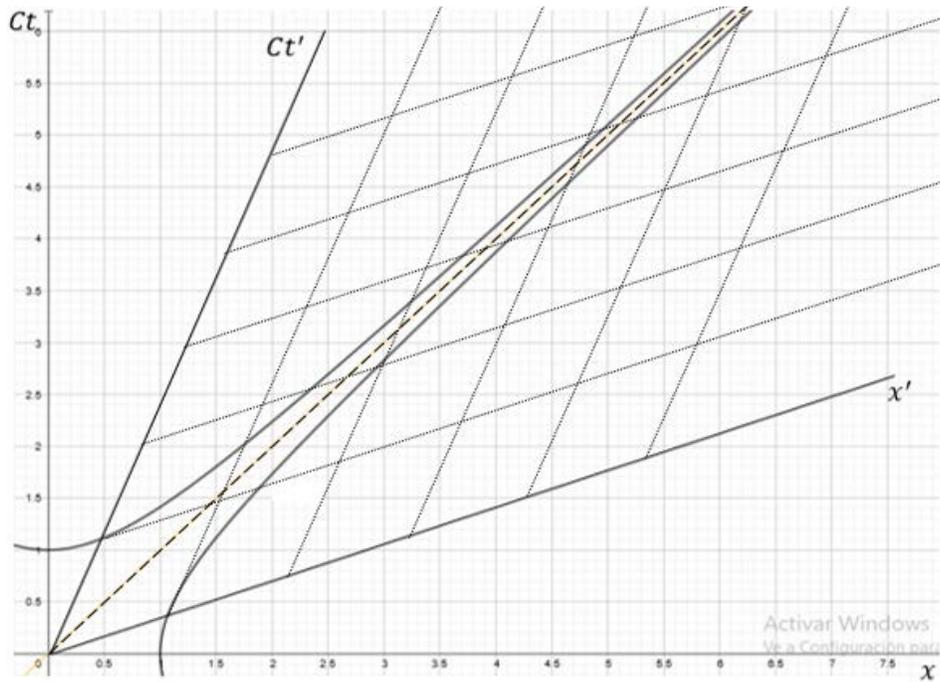


Figura 11. Diagrama de Minkowski con cuadrícula

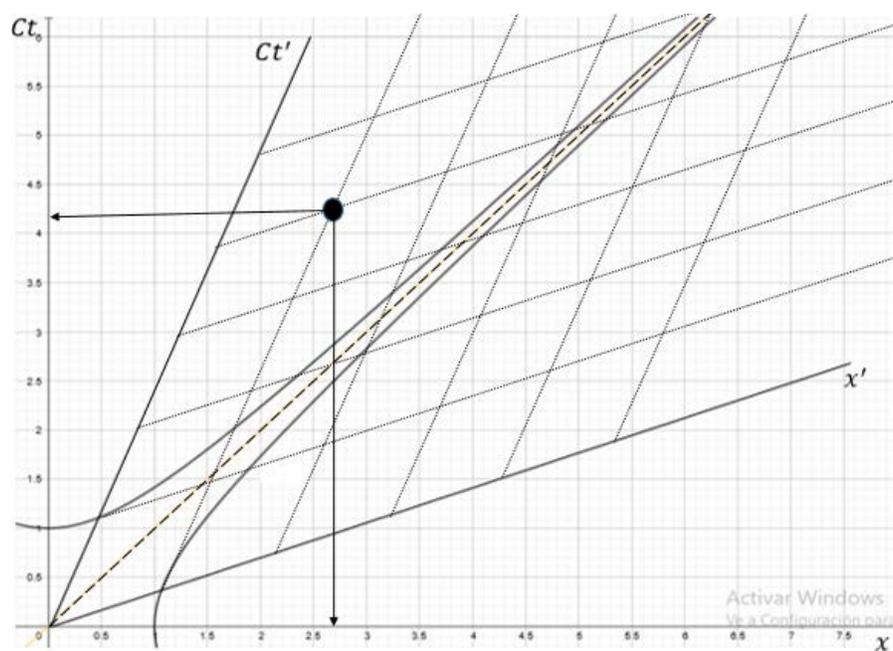


Figura 12. Eventos en el diagrama de Minkowski

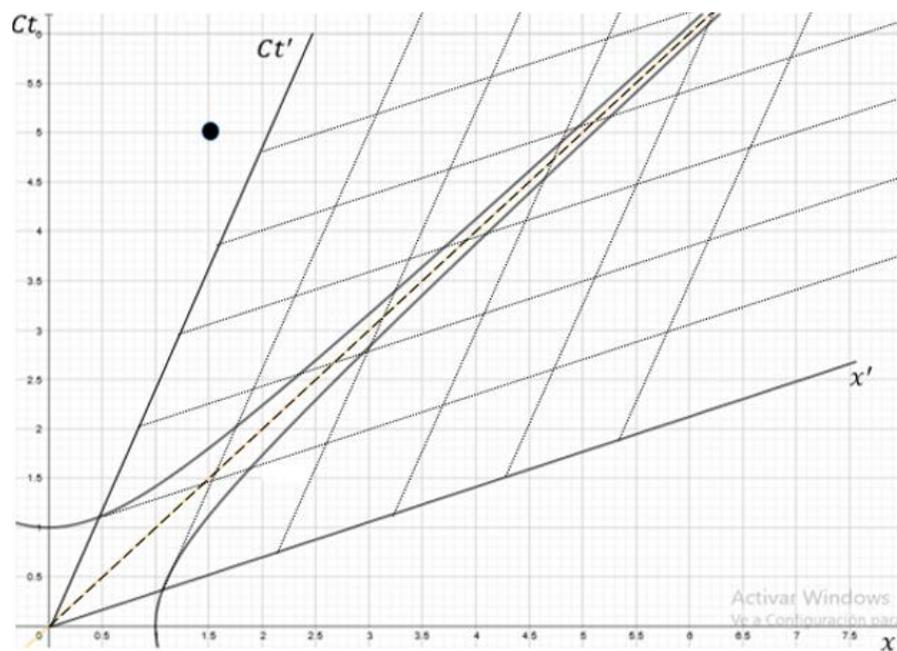


Figura 13. Eventos propios para ciertos marcos de referencia

Como ya se mencionó, la velocidad que lleve un observador en un marco no solo afecta las ubicaciones de este respecto a otros observadores ubicados en otros marcos de referencia, también permite dar cuenta de cómo un suceso puede ser observado en ciertos marcos mientras que en otros no. Esto también depende de su velocidad, ya que, entre más rápido se mueva un observador, menos sucesos podrá compartir con un observador en reposo. De igual forma, a un observador que viaje a la velocidad de la luz le sería imposible ubicar sucesos (Figura 13).

En resumen, es posible afirmar que la TER muestra los cambios en las mediciones que se hagan del espacio y el tiempo entre observadores moviéndose a diferentes velocidades por el espacio-tiempo. Apoyándose en la idea de que la simultaneidad solo encuentra significado cuando se evalúa para un observador determinado, por lo que la simultaneidad “cambia”, trayendo el concepto de tiempo propio, que se puede asemejar a la idea de que cada observador en el Universo lleva un reloj, cuyas mediciones pueden diferir si se las comparan entre sí. Esto tiene como consecuencia que cada observador ubique los sucesos que ocurren a su alrededor de diferente manera, para conservar la causalidad entre los sucesos.

Todo esto presentó un nuevo paradigma en física, ya que planteó la posibilidad de crear analogías para mejorar su entendimiento mediante una interpretación geométrica de las teorías. Los diagramas que Minkowski desarrolló son esta analogía, él reemplaza las ecuaciones de transformación de la TER por rotaciones en un plano, el espacio-tiempo por una cuadrícula, el *intervalo* espacio-tiempo por una hipérbola y la *luz* por una línea. Y logra mostrar cómo el estado de movimiento de los observadores cambia el concepto de simultaneidad afectando la “cuadrícula” espaciotemporal, demostrando a su vez que el concepto de espacio-tiempo es necesario para hallar una relación entre los sucesos y que lo que varía son las mediciones del espacio en el que nos movemos, no los objetos en sí.

Reflexiones

Fruto de una gran creatividad y audacia, Minkowski desarrolló una geometrización de los conceptos de la TER que representó un avance impresionante, porque permitió mostrar en un diagrama los efectos que tiene esta teoría, facilitando su comprensión.

Los diagramas de Minkowski permiten representar los conceptos y consecuencias de la TER, una de los más importantes a mi parecer es la imposibilidad de viajar a la velocidad de la luz, ya que si un observador se moviera a tal velocidad perdería su percepción del espacio-tiempo, los sucesos ya no tendrían sentido para él. Esto se puede hacer más evidente debido a que los ejes temporal y espacial coincidirían y le sería imposible ubicarlos, por lo que la luz se convierte en un límite necesario para no perder la concepción del mundo físico.

Los diagramas también evidencian el concepto de simultaneidad, de manera que este concepto es central en la TER y cobra sentido de manera clara con ayuda de estos diagramas, al mostrar cómo las mediciones del espacio y el tiempo se ven afectadas por la velocidad que lleve un observador respecto a otro; en los diagramas se evidencia que las ubicaciones que un observador le dé a un suceso solo son válidas para él. La conclusión es que los sucesos son ubicados de manera diferenciada por cada observador y, por tanto, la simultaneidad solo cobra sentido para un observador determinado.

Aunque la simultaneidad puede cambiar, algo que deja muy claro la TER es que el orden causal entre los sucesos nunca lo puede hacer; la consecuencia de un suceso, sin importar el estado del movimiento de los observadores, deberá estar siempre cronológicamente ubicada después del suceso causal de dicha consecuencia. Esto para conservar una lógica en la naturaleza y en el mundo físico.

Se puede concluir que está mal decir que la relatividad plantea que *todo es relativo*, cuando

en realidad demuestra que existe una relación (*intervalo* espacio-tiempo) que es invariante respecto a cualquier observador, sin importar la velocidad que estos lleven. Es mejor admitir que la relatividad muestra que *las ubicaciones de los sucesos son relativas a los estados de movimiento del observador* y que esto debe ser así para lograr encontrar una relación causal válida para cualquier observador en el Universo, lo cual se evidencia en los diagramas, donde se muestra que una rotación es equivalente a un marco en movimiento, que para mantener la relación causal invariante entre un marco en reposo y uno en movimiento, el segundo debe admitir que la distancia entre los sucesos se hace más corta y el tiempo que los separa es más largo respecto al primero.

Los diagramas de Minkowski son una representación de los conceptos de la TER condensados en un solo gráfico, dotando de sencillez la explicación de una teoría en la cual solo es necesario comprender la significación de cada concepto para que guíe un razonamiento para la buena utilización de los diagramas en la enseñanza de la TER; es posible que los diagramas no den respuesta a todos los interrogantes que el lector se pueda plantear, pero sí pueden funcionar para atraer a los lectores con conceptos claves hacia un estudio más profundo de esta teoría.

Personalmente, creo que la aplicación de estos diagramas para su uso como herramienta pedagógica es tal vez lo más importante que nos legó Minkowski ya que, no es un requisito ser un matemático o un físico para saber que dice una teoría tan influyente como lo es la TER. Si alguien logra entender la explicación de las consecuencias de esta teoría usando estos diagramas, podrá explicarla a otros curiosos, sin un uso extenso de matemáticas, tan solo usando puntos, líneas y curvas.

Referencias

- Acín, A. y Acín, E. (2016). *Persiguiendo a Einstein de la intuición a las ondas gravitacionales*. Bona-
lletra Alcompas, S. L.
- Geroch, R. (1985). *La relatividad general (de la A a la B)*. Editorial Alianza.
- Russell, B. (1983). *El conocimiento humano*. Ediciones Orbis S.A.
- Russell, B. (1985). *ABC de la relatividad*. Ediciones Orbis S.A.
- Thorne, K. (1995). *Agujeros negros y espacio tiempo curvo*. Crítica.

Primeras letras

A partir de este número abrimos este espacio que denominamos “Primeras Letras”, para la publicación de escritos cortos de estudiantes de primer año de carrera, adscritos a la Facultad de Ciencia y Tecnología. Invitamos a todos aquellos que cultivan el gusto por la comunicación escrita a iniciar la huella de la escritura, participando con sus escritos de cualquier género de escritura.

Ante el fin del mundo

Desde su asiento, Freud observaba detenidamente a sus compañeros de clase. Tan concentrado estaba en sus pensamientos, que olvidó dónde se encontraba, como solía sucederle con frecuencia.

De repente, escuchó una voz lejana que repetía: Freud...

—¿Quién será? —se preguntó Freud.

De manera automática, giró su cabeza en dirección al lugar de donde provenía esa voz y se percató que era su maestra quien le habla.

—Freud, ¿qué te sucede?, ¿por qué estás tan distraído? —dijo la maestra, tratando de disimular su enojo.

Freud la miró, sin pronunciar palabra alguna.

Ella se dirigió hacia él como si estuviera contando sus pasos. Asustado, sin entender qué pasaba, Freud notó que sus manos estaban húmedas, mientras una gota fría se deslizaba por su mejilla derecha.

—Freud, ¿qué harías si supieras que hoy será la última noche del mundo? —preguntó calmada y misteriosamente la maestra, al tiempo que pasaba su mano izquierda por su larga y negra cabellera.

—¿Qué querrá de mí? —se preguntó Freud, cuando dos gotas más de sudor resbalan por su frente.

—¡Respóndeme, Freud! —lo interpeló de nuevo su maestra con un gesto de impaciencia.

Sorprendido por tan extraña pregunta, sin saber que responder, Freud trataba de calcular sus palabras. Muchas ideas pasaban por su mente sin decidirse por alguna de ellas. De repente, advirtió que sus pensamientos lo conducían hacia una estrambótica casa imaginaria.

Lleno de extrañeza y curiosidad se encaminó con cautela hacia aquella construcción grisácea, un poco sombría y tenebrosa. Atravesó la puerta y a primera vista pudo distinguir a lo lejos tres puertas más.

—¡Qué extravagante es esto! —exclamó Freud.

Se acercó a la primera puerta, la abrió de un golpe y quedó impactado al verse a sí mismo discutiendo con su madre. Le invadió un sentimiento de profunda tristeza que no pudo controlar, no supo qué hacer.

Tratando de sobreponerse, se dirigió a la segunda puerta, ganando seguridad a medida que se aproximaba a ella, la abrió y de nuevo se vio a sí mismo, sentado en una banca del parque central de su ciudad natal. Mirando a las personas que pasaban por allí, distinguió un rostro conocido que se acercaba... era Susy, una compañera de clase con la que a veces socializaba, pero que normalmente ignoraba.

Freud se levantó de su silla y se marchó. Sorprendido por su propia arrogancia se cuestionó:

—¿Qué me pasa?, ¿por qué soy así con Susy?

Una vez en la tercera puerta, giró el picaporte, la abrió y no pudo dar crédito a lo que vio. Sacudió la cabeza y cerró los ojos tratando de reaccionar.

Al abrirlos, se encontró nuevamente en su pupitre y vio a su profesora sonreír, mientras le decía:

—Creo que ya encontraste la respuesta a mi pregunta.

Freud recordó la imagen que había visto tras la tercera puerta: un espejo grande que reflejaba su propio rostro, lo que interpretó como una señal de lo que tendría que responder.

—¡Profesora! Ya sé lo que haría si hoy fuese la última noche del mundo. —Dijo Freud, con un vigor que sorprendió a su maestra.

—*Corregiría mis errores pasados, disculpándome con todos a los que les he fallado.*

¡Ring! ¡Ring! ¡Ring!

Freud escucha un molesto ruido, abre los ojos y despierta en su habitación, mientras de fondo sigue sonando el despertador.

Sacude su cabeza al recordar que el día anterior se desveló pensando en ciertos asuntos

Distorsión

Me veo al espejo en la mañana, y aún sigo atrapada en el mismo cuerpo. Me abruman los constantes comentarios de mi familia, afirmando que estoy muy delgada. Por momentos, su insistencia me hace dudar, pero la grasa acumulada en la parte inferior derecha de mi abdomen me dice que todavía no es suficiente. Hoy iremos al Pozzeto de la séptima, y sé que mi familia me presionará para comer. Es frustrante pensar lo difícil que ha sido bajar de 40 kilogramos. Me esfuerzo por aceptarme, pero el recuerdo de una niñez entre burlas me sigue atormentando.

Sueños sin cumplir

Deambulo por la ciudad, intento sobrevivir. Los transeúntes me ven con lástima, algunos con

que rondaban su cabeza. Quizás ese extraño sueño con su profesora había sido el resultado de esas ideas.

Se levanta de su cama, saluda a su madre con desbordante alegría y se prepara para ir a clase.

En el camino a la escuela se encuentra a Susy y la saluda afectuosamente, como nunca lo había hecho antes.

Más tarde, en el aula, se acerca lentamente a su profesora y le toca el hombro para llamar su atención, ella gira y se encuentra con el rostro sonriente de su estudiante, que le dice:

—Maestra... ¿qué haría si supiera qué hoy es la última noche del mundo?

Dunkan Stwar Estrada Francis

Estudiante de primer semestre
de Licenciatura en Física
Universidad Pedagógica Nacional
dsestradaf@upn.edu.co

temor. Pensé que la vida en Bogotá sería más sencilla. Vendo chicles, dulces y diferentes tipos de golosinas, y quisiera que por una vez la impresión reflejada en los demás fuese de vendedor, de comerciante, pero el clasismo se propaga hasta en la misma pobreza. En la noche, cuando cumpla mi rutina y me dispongo a descansar, me quedo atrapado viendo el techo, observando la oscuridad. Con la mirada perdida y el destino incierto, solo puedo pensar en cuantos sueños se quedaron sin cumplir.

Valentía I

Lunes en Transmilenio, aumenta la tensión, una multitud abarrota los articulados. Trato de acoplarme al limitado espacio. Me sumerjo en la melodía de mis audífonos, buscando desconectarme de la realidad; en esto, un tipo de mal

aspecto se acerca, tan disimulado, pero con descaro se arrima a mis espaldas. Siempre he manifestado mi valentía ante una situación de acoso, pero justo hoy, cuando el azar me hace vivirla a flor de piel, se me hiela el cuerpo y no sé cómo reaccionar. Armándome de un valor casi inexistente, dejo escapar un grito débil y afligido, el tipo se exalta y huye hacia el fondo del articulado.

Valentía II

Transitamos la carrera séptima, desde la plaza me han golpeado sus insultos. Intento tranquilizarlo, las personas nos acusan con miradas impetuosas. Pensé soportar por el amor que sentía, pero ahora veo sus ojos y solo puedo sentir temor, temo por su reacción, temo por mi vida. Continúa gritando, mientras esperamos el SITP. Aún rodeados de tantas personas, me siento completamente vulnerable y a su merced. Una vez llega el transporte me sujeta fuerte del brazo, tratando de hacerme subir. Elevo un grito desgarrador, halando enérgicamente logro liberarme. Retrocede y, ante tantas personas observando, decide marcharse.

Taxi

Al parecer tiene prisa. Desesperado con el inoportuno trancón, mira el reloj una y otra vez, mientras trata de bajar su temperatura con resoplidos inútiles. Empiezo a especular sobre el maletín que lleva a su lado: ¿Va a una importante reunión? ¿Es un almuerzo de negocios? O ¿es un día más de tardanza? Se quita el abrigo y mira desesperadamente por la ventana; al estar cerca de su destino, hace una pausa y cierra los ojos mientras se toma la frente con la mano, sonrío y exclama: ¡Hoy entraba una hora más tarde!

Cementerio

El bus pasa por la calle 42, tu lugar favorito, y no puedo evitar pensar en ti. Aunque intento tomar otras rutas, todas pasan por este punto. Llevo rosas, sé que hay muchas en el Apogeo, pero te conocía muy bien, sé cuánto te gustaban. Por fin llego hasta ti, el camino se empieza a hacer conocido, ya no me pierdo como la primera vez. Son 10 años desde que partiste y ahora solo puedo besar tu lápida, dejarte una flor y pedirte que me acompañes siempre en mi camino.

Carlos Santiago Pinzón Rozo

Estudiante de segundo semestre
de Licenciatura en Física
Universidad Pedagógica Nacional
cspinzonr@upn.edu.co

Acerca de la serie Pre•impresos

La serie *Pre-Impresos Estudiantes* es un proyecto de la Facultad de Ciencia y Tecnología (FCT) de la Universidad Pedagógica Nacional que divulga a través de la comunicación escrita la producción intelectual de los autores, destacando sus experiencias y reflexiones respecto de los temas inherentes a sus campos disciplinares específicos y su enseñanza. Por tanto, configura un espacio de visibilidad y reconocimiento público del trabajo de los maestros en formación y en ejercicio adscritos a la FCT.

La escritura en las disciplinas

La comunicación es un aspecto fundamental de los procesos de cognición que construye relaciones de fuerza e identificación entre las personas y define el lugar de cada individuo en un grupo. Así, toda relación social se funda en el intercambio de ideas, pues cuando hablamos y escribimos también damos forma al mundo. Por tanto, la conformación de comunidades académicas tiene un carácter social y comunicativo, proceso en el que la palabra escrita contribuye a la socialización de las ideas; dado que, la comunicación de la ciencia se realiza en lengua natural.

¿Qué es un preimpreso?

Los Pre-impresos son una publicación previa que se utilizan en comunidades académicas para difundir el trabajo de sus miembros y contribuir a la formación de futuros investigadores.

Origen

Este proyecto editorial también constituye un espacio académico de formación y cualificación docente, que se inspiró en un trabajo similar que realiza el grupo *Física y Cultura* del Departamento Física de la FCT, con trabajos de profesores, desde principios de la década de 1990, con el fin de promover la circulación de las ideas de los profesores adscritos a este grupo de investigación.

Objetivos

Pre-Impresos Estudiantes promueve el fortalecimiento de la actividad académica en dos dimensiones; como **proceso de formación escritural** de los futuros maestros de ciencias, matemática y tecnología, y como **iniciativa editorial** que se traduce en una publicación seriada que divulga la producción intelectual de los estudiantes de la FCT.

El carácter del proceso realizado y el acompañamiento escritural que se brinda desde el proyecto hacen de esta experiencia una actividad académica de formación docente, con proyección en la práctica pedagógica e investigativa que contribuye a:

- Apoyar los fines misionales de la Universidad de investigar, producir y difundir conocimiento profesional docente, educativo, pedagógico y didáctico, además de propiciar una interacción con la sociedad para aportar a la construcción de nación.
- Propiciar una mayor consciencia lingüística, al poner de relieve la relación entre ciencia y lenguaje en el proceso de construcción textual, que requiere el desarrollo de la capacidad discursiva y habilidades comunicativas.
- Fortalecer la comunidad académica de la Facultad, al visibilizar las líneas de trabajo de los grupos de investigación de las diferentes unidades académicas.

Características

Pre-Impresos Estudiantes es un proyecto institucional de carácter extra curricular en el que pueden participar los estudiantes y egresados de los diferentes programas de la Facultad que quieran vincularse, ya sea, de manera individual o en grupo. El proceso de acompañamiento que se brinda exige compromiso y disciplina de los participantes, para la cualificación de su proceso escritural. Los temas a trabajar pueden cobijar una amplia gama de aspectos relacionados con las disciplinas —las ciencias, la matemática, la tecnología— y su enseñanza, así como, con la educación en general, ya sean reflexiones de carácter epistemológico y/o pedagógico, entre otras posibilidades.

Se puede participar con un amplio tipo de formatos de escritura, como por ejemplo: artículos, ponencias, módulos didácticos, cartillas, ensayos, crónicas, experiencias de aula, diarios, informes de investigación, por solo mencionar algunos. El proceso de elaboración, edición y publicación final de cada documento se ajusta al tiempo requerido por los autores para culminar esta labor. La publicación se hace en forma de cuadernillos en formato digital e impreso. La convocatoria es permanente.

Sobre el autor



Juan Manuel Peña Díaz

Estudiante de Licenciatura en Física en la Universidad Pedagógica Nacional (2016-1 al presente). Participó en el IX Congreso Nacional de la Enseñanza de la Física y la Astronomía, con la ponencia Diagramas de Minkowski, evidencia geométrica de las consecuencias de la TER (2018), convocado por la UPN, U. Distrital y la Asociación colombiana de profesores de física. Asimismo, en el I^o Encuentro Ambiental organizado por Grupo Proyecto Ambiental Facultad de Ciencia y Tecnología-UPN, con el póster La inclusión de la mujer en el mundo rural (2016). Becario por el convenio Marco UPN, Embajada de Francia, Alianza Francesa, Liceo Francés e Icetex, para realizar un intercambio académico de un semestre en la Université Toulouse-Jean Jaurès (septiembre 2020-febrero 2021). Entre sus intereses están las teorías de la relatividad y el electromagnetismo por sus atractivas interpretaciones de la naturaleza y el universo.