

¿Cómo ocurren las colisiones de alta energía y la conservación del momento lineal en Relatividad?

How do high-energy collisions and the conservation of linear momentum occur in relativity?

Pablo A. Martínez-Cárdenas ^a, Luis F. Palma-Moran ^b, Clifford J. Herrera-Castrillo ^c

Abstract:

High-energy collisions are interactions between particles that, in turn, generate new subatomic particles. These are fundamental to the study of the origin of the universe and its environment, as they recreate conditions similar to those that existed in its early stages. The purpose of this essay is to explain these concepts in simple terms, as well as to highlight their importance for humanity in the pursuit of knowledge. It also analyzes elastic collisions, the behavior of particles as they approach speeds close to that of light, and the conservation of linear momentum in these processes. These aspects are discussed in the thematic section, along with the main conclusions drawn.

Keywords:

Collisions, collider, energy, relativity.

Resumen:

Las colisiones de alta energía son interacciones entre partículas que, a su vez, generan nuevas partículas subatómicas. Estas resultan fundamentales para el estudio del origen del universo y su entorno, ya que recrean condiciones similares a las existentes en sus primeras etapas. El presente ensayo tiene como propósito explicar de manera sencilla estos conceptos, así como destacar su importancia para el ser humano en la búsqueda del conocimiento. Asimismo, se analizan las colisiones elásticas, el comportamiento de las partículas al aproximarse a velocidades cercanas a la de la luz y la conservación del momento lineal en estos procesos. Estos aspectos se desarrollan en el apartado temático, junto con las principales conclusiones obtenidas.

Palabras Clave:

Colisiones, colisionador, energía, relatividad.

Introducción

La Teoría Especial de la Relatividad (TER) una de las ramas más fascinantes de la Física Moderna, donde los postulados clásicos no son suficientes para dar respuesta a algunos planteamientos.

Según Janssen (2005)

La Relatividad Especial es uno de los grandes logros de la Física del siglo XX. No solo está confirmado a Diario en los aceleradores de partículas y las centrales nucleares, sino también forma la base para otras teorías modernas exitosas, como la Relatividad General, y el Modelo Estándar de partículas (p. 1).

^a Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-Managua)| Centro Universitario Regional Estelí (CUR-Estelí)| Estelí-Estelí| Nicaragua, <https://orcid.org/0009-0009-9133-6936>, Email: pablo.martinez21505516@estu.unan.edu.ni

^b Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-Managua)| Centro Universitario Regional Estelí (CUR-Estelí)| Estelí-Estelí| Nicaragua, <https://orcid.org/0009-0007-4966-3584>, Email: luisfernandopalmamoran@gmail.com

^c Autor de Correspondencia, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-Managua)| Centro Universitario Regional Estelí (CUR-Estelí)| Estelí-Estelí| Nicaragua, <https://orcid.org/0000-0002-7663-2499>, Email: cliffor.herrera@unan.edu.ni

Es por ello que el estudio de este componente es necesario para comprender diversas situaciones del entorno, además de evaluar los múltiples beneficios que esta trae (Ortuño Blandón et al., 2025).

El objetivo de este ensayo es conocer acerca de las colisiones de alta energía a velocidades cercanas a la luz y si se conserva o no el momento lineal, es por ello que se ha recopilado la información necesaria para la respuesta de la interrogante.

Según Arcos Villagómez (2024) Las colisiones ha sido un objeto de estudio amplio y sistemático por parte de la Física y el tiempo de contacto en que ocurren dichas colisiones.

En el presente escrito se menciona el desarrollo temático de la investigación, las temáticas principales en referencia al tema de las colisiones de alta energía, la conservación del momento lineal, además de su importancia en la vida cotidiana, las principales conclusiones a las cuales se llegaron y las referencias bibliográficas consultadas.

En este sentido, resulta pertinente profundizar en el análisis de las colisiones de alta energía desde el enfoque relativista, ya que estas permiten comprender fenómenos que no pueden explicarse mediante la mecánica clásica (Cordero-Moreno et al., 2026). Cuando las partículas alcanzan velocidades cercanas a la de la luz, conceptos fundamentales como masa, energía y tiempo adquieren un comportamiento distinto, lo que obliga a replantear las leyes tradicionales de la física.

Asimismo, el estudio de estas colisiones no solo tiene implicaciones teóricas, sino también experimentales, pues a través de aceleradores de partículas es posible recrear condiciones similares a las del universo primitivo. Esto ha permitido avances significativos en la comprensión de la estructura de la materia y las interacciones fundamentales que la rigen.

De igual manera, la conservación del momento lineal en el contexto relativista constituye un principio clave para interpretar los resultados de dichas colisiones, ya que garantiza la coherencia de las leyes físicas incluso en condiciones extremas. Por ello, analizar este principio desde la Teoría Especial de la Relatividad contribuye a una mejor comprensión de los procesos subatómicos y de los fundamentos que sustentan la física moderna (López et al., 2025).

Desarrollo

En la dinámica clásica se estudian las colisiones de dos partículas y la conservación del momento lineal, sin embargo, a una velocidad cercana a la de luz estas presentan inconsistencia y, por lo tanto, se requiere redefinir estos conceptos. González et al. (2022) y Talavera et al. (2025) sostienen que la Física Moderna es una de las revoluciones científicas más significativas, con la Teoría Especial de la Relatividad, alcanza nuevos términos y busca dar otra explicación desde el punto de vista relativo.

En las colisiones de alta energía se da un aspecto fascinante, cuando las partículas llegan a velocidades muy altas, y si es el caso de una colisión, cada partícula toma otro rumbo y se divide en nuevas, y es aquí donde la mecánica clásica deja de ser válida y se requiere tomar otras ideas y conceptos desde las leyes de la relatividad, por lo tanto la conservación del momento en dichas colisiones se da a una dimensión más allá de la fácil comprensión, aun así la simetría de la naturaleza sigue presente, aunque sea diferente de la experiencia cotidiana.

Para Ruiz González (2024), la Física de las partículas en la actualidad presenta gran multitud de beneficios, dando gran auge en los desarrollos científicos de la actualidad, así como tecnológicos, como parte de los estudios de las partículas invisibles. Estos son detectados indirectamente después de reconstruir su trayectoria a partir de su momento y energía, por lo que en estos casos hay inconvenientes con los modelos estándares de la física, por ello surgen nuevas búsquedas de teorías que expliquen más allá de lo ordinario (Ortuño Blandón et al., 2023). Además, estas investigaciones contribuyen a preparar a jóvenes científicos, compartir conocimientos entre distintos equipos y fortalecer la colaboración en la ciencia.

Las colisiones de alta energía es un concepto fundamental en la Física de Partículas donde unidades subatómicas como portones, electrones o iones son acelerados a velocidades extremadamente altas cercanas a la luz, con el fin de estudiar sus propiedades y características, así como la obtención de nuevas estructuras elementales de la materia. Al momento de la colisión se forman partículas que no son encontrados comúnmente en la naturaleza y su estudio permite a los científicos analizar las interacciones y la estructura fundamental del material. Por otro lado, como en mecánica clásica, cada choque presenta su momento lineal, y a pesar de que sea a gran velocidad permite calcular la masa y la energía de las

partículas después del choque (Castrejón Figueroa, 2021).

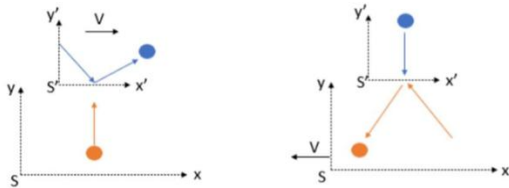


Figura 1. Colisiones y conservación del momento

Las colisiones relativistas ponen de manifiesto la liberación de energía al momento del choque, importantes en el estudio de la física de partículas y se convierte en herramientas fundamentales para explorar la estructura interna de la materia, a nivel subatómico (Gómez Reguera, 2021). Es aquí donde ocurre fenómenos ya sea de que dispersa a través de radiación o se puede transformar en nuevas partículas, como se expresa a través de la relación y expresión de Albert Einstein donde la energía igual a la masa por la velocidad de la luz al cuadrado ($E=mc^2$), permitiendo exponer la estructura de la materia, descubriendo partículas subatómicas que permanecen ocultos. Como en la mecánica clásica las colisiones son elásticas e inelásticas, en relatividad las mayorías son inelásticas como los choques protón-protón, produciendo una lluvia de nuevas partículas. No obstante, estas teorías siguen en desarrollo, para esclarecer su naturaleza y una mejor predicción de su comportamiento (Mejía Polania, 2021).

Ahora bien, a pesar de las exigentes condiciones de los choques relativistas, el momento lineal permanece constante. Aunque debido a la alta velocidad de la partícula su masa aumenta debido a la elevada energía cinética y el tiempo se dilata, es decir se hace más lento, el momento del sistema permanece igual evidenciando la coherencia de la naturaleza, aun así, llegando a su límite, pero manteniendo la simetría, es decir manteniéndose ordenada y predecible siguiendo leyes universales, cumpliéndose de manera constante, asegurando el orden interno de la materia y la armonía que subyace. Para describir las colisiones relativistas y su conservación del momento a altas energías es imprescindible el estudio de las variables de relatividad (Robles Jacobo, 2021). Matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$p = \gamma m \cdot v \quad ec(1)$$

Donde γ es el factor relativista, m es la masa en reposo y v la velocidad relativa a un observador.

La cantidad de movimiento ha sido redefinida de tal manera que, en sistemas aislados donde las interacciones se limitan a colisiones, su valor total permanece constante antes y después del impacto. En otras palabras, la conservación del momento lineal se mantiene válida con esta nueva formulación (Tebaldi et al., 2023). La validez universal del principio de conservación del momento lineal se logró únicamente mediante la Teoría de la Relatividad Especial de Albert Einstein. Dicha teoría reformula la definición del momento a través del factor de Lorentz (γ), asegurando que la conservación se mantenga a cualquier velocidad, especialmente a las cercanas a la de la luz (Méndez López et al., 2025).

En la simetría de las colisiones y momento relativista implica no solo la conservación, sino también la transformación de manera coherente, manteniendo la armonía entre movimientos y energía, aproximándose al infinito cuando la velocidad de la partícula se acerca a la velocidad de la luz. Sin estas leyes no sería posible describir la trayectoria y la generación de nuevas partículas, manteniéndolas vigentes a escalas subatómicas (Porral et al., 2023). La coherencia simétrica de las leyes físicas como la conservación del momento relativista es lo que permite a los científicos del Gran Colisionador de Hadrones predecir y describir con precisión tanto la creación de nuevas partículas como sus trayectorias posteriores, ya que estos principios se mantienen universalmente válidos incluso en las escalas subatómicas más pequeñas, por lo tanto, no es solo una regla abstracta, sino es lo que hay en nuestra realidad del mundo y del universo.

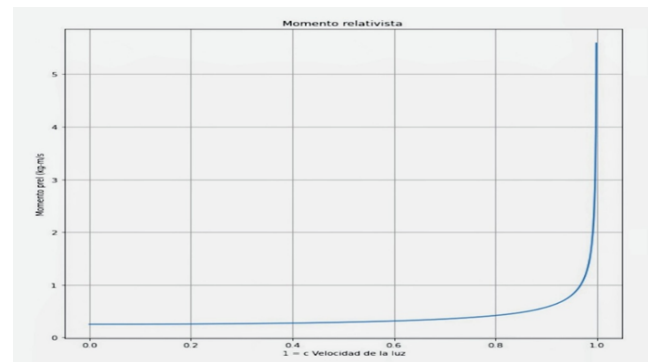


Figura 2. Gráfico del momento lineal relativista

El gráfico muestra como el momento permanece lineal a velocidades bajas, pero cuando se acerca a la velocidad de la luz ($1= c$), este eleva hacia arriba, aumentando según la relatividad especial.

Según Robles Jacobo (2021) la conservación del momento lineal es imprescindible para comprender que ocurre en los eventos de colisiones y sus aplicaciones

experimentales se ha llevado a cabo en la máquina de aceleración de partículas, como el Gran acelerador de Hadrones, estudiando los bloques fundamentales de la materia, ubicado en la frontera entre Suiza y Francia.

La conservación del momento no es solo un concepto teórico: es una herramienta técnica imprescindible en la física moderna. Sirve para calibrar detectores, identificar partículas, analizar colisiones y reconstruir procesos extremadamente complejos. Sin este principio, sería imposible investigar fenómenos fundamentales o descubrir partículas. Aquí la física se aborda a través de la relatividad especial, lo que significa que la energía y el momento lineal están íntimamente ligados al concepto llamado momento cuadrivelocidad o cuádrimomento, combinando la energía y las tres componentes del momento lineal matemáticamente se expresa como:

$$\vec{p} = p_x, p_y, p_z$$

$$P^\mu = m_0 U^\mu$$

$$P^\mu = \left(\frac{E}{c}, p_x, p_y, p_z \right) \quad \text{Ec. 2}$$

Donde, la componente temporal es $\frac{E}{c}$ y p_x, p_y, p_z son los tres elementos espaciales

En la actualidad, el estudio de las colisiones de alta energía y la conservación del momento lineal ha llevado a grandes aportes científicos de la ciencia. El gran colisionador de hadrones es uno de los proyectos más importantes en la actualidad, según Valencia Palomo (2023) es una de las máquinas más grandes construido por el ser humano, considerando una de las maravillas del mundo moderno. En sus estudios permite el descubrimiento de nuevas partículas y el estudio de sus propiedades, entre sus logros se debe destacar el hallazgo del bosón de Higgs, ampliando los conocimientos fundamentales de la materia. Otro aspecto relevante es la creación de condiciones de un universo primitivo como los plasmas de quarks y gluones, permitiendo la comprensión del origen del universo y la evolución de la materia.

Para el estudio de las partículas fundamentales que conforman la materia se requieren de aparatos espaciales. Muchas de estas partículas son inestables y se desintegran casi de inmediato, pero sus productos secundarios dejan rastros en los detectores, lo que permite reconstruir su existencia y estudiar sus propiedades. Gracias a ello se han descubierto partículas como el quark top, los bosones W y Z, y el bosón de Higgs. De acuerdo a Cueto (2018), los investigadores se dieron cuenta que los protones y neutrones estaban formados

por otras partículas llamadas Quarks y en la actualidad se conocen seis tipos de estos.

Es aquí donde los investigadores hacen sus análisis a través de la herramienta matemática y experimental con el fin de reconstruir lo que realmente sucedió. El estudio de las colisiones no solo aporta conocimientos teóricos, sino que también impulsa avances tecnológicos en áreas como el diseño de sensores, la computación de alto rendimiento, la inteligencia artificial y las técnicas modernas de análisis de datos. Gracias a estos desarrollos, las colisiones de alta energía se han convertido en una herramienta esencial para investigar la composición profunda de la materia y las fuerzas que rigen el universo.

De acuerdo a Porral et al. (2023) los aceleradores de partículas no solo se utilizan en la investigación, sino que tiene varias aplicaciones como la salud en terapias contra el cáncer y producción de radioisótopos, monitorización radiológica como contaminantes radioactivo y análisis de materiales, la calidad de los alimentos en la irradiación de los alimentos, tecnologías aeroespaciales en la prueba de resistencia de materiales y protección de astronautas, así como la producción de energía en la fusión nuclear. Presentando grandes avances en la era tecnológica y el estudio minucioso de los datos obtenidos en los experimentos permite verificar si las predicciones de los modelos ya existentes y si éstos continúan cumpliéndose o si surgen desviaciones que indiquen la posible existencia de teorías.



Figura 3. Gran colisionador de hadrones

De este modo, los principios de la relatividad no solo establecen cómo debe definirse el momento lineal en situaciones de alta energía, sino que también hacen posible interpretar procesos como la generación de nuevas partículas, las desintegraciones influenciadas por efectos relativistas y la organización cinemática de las colisiones estudiadas en los aceleradores actuales.

Gracias a esta relación, la Teoría Especial de la Relatividad ofrece un marco consistente para estudiar fenómenos en los que las partículas se mueven a velocidades cercanas a la luz, permitiendo además la comprensión de la conversión entre energía y masa conforme a la conocida relación $E = mc^2$

Conclusiones

A partir del análisis realizado, se concluye que las colisiones de alta energía constituyen fenómenos fundamentales en la física moderna, en los cuales partículas aceleradas a velocidades cercanas a la de la luz interactúan generando nuevas estructuras subatómicas. Estos procesos permiten recrear condiciones similares a las del universo primitivo, lo que los convierte en una herramienta clave para comprender el origen y la evolución de la materia.

Asimismo, se evidencia que la Teoría Especial de la Relatividad proporciona el marco teórico adecuado para describir el comportamiento de las partículas en estas condiciones extremas, donde los postulados de la mecánica clásica dejan de ser válidos. En este contexto, la conservación del momento lineal no se pierde, sino que se redefine mediante el enfoque relativista, garantizando la coherencia de las leyes físicas incluso a velocidades cercanas a la de la luz.

Por otra parte, el uso de aceleradores de partículas, como el Gran Colisionador de Hadrones, ha permitido validar experimentalmente estos principios, facilitando el descubrimiento de nuevas partículas y el avance del conocimiento científico. Estos estudios no solo aportan a la comprensión teórica del universo, sino que también generan aplicaciones tecnológicas en diversas áreas, como la medicina, la industria y la energía.

En síntesis, el estudio de las colisiones de alta energía y la conservación del momento lineal en el marco de la relatividad especial resulta esencial para entender la estructura fundamental del universo, evidenciando la importancia de la física moderna en la explicación de fenómenos que trascienden la experiencia cotidiana.

Referencias

- [1] Arcos Villagómez, S., Álvaro Pillalaza, S., Rivera Gálvez, X., Michelena Rosero, C., & Camacho Cañar, E. (2024). Análisis experimental de la cinemática en la colisión elástica entre dos cuerpos durante el tiempo de contacto. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, 32, 69-76. <https://doi.org/10.17163/ings.n32.2024.07>
- [2] Castrejón Figueroa, J. (2021). *Transferencia de momento lineal de electrones rápidos a nanopartículas*. Obtenido de <https://ru.dgb.unam.mx/bitstreams/688075f8-508b-4994-a7b2-8da09e5e1ae2/download>
- [3] Cordero-Moreno, A., Alarcón-Martínez, A., & Herrera-Castrillo, C. (2026). Propuesta innovadora de generación de energía mediante baldosas de presión para espacios educativos. *TEPEXI Boletín Científico de la Escuela Superior Tepeji del Río*, 13(25), 9-19. <https://doi.org/10.29057/estr.v13i25.15470>
- [4] Cueto, A. (2018). *El gran colisionador de hadrones y la Física de partículas*. Obtenido de 2018
- [5] Gómez Reguera, C. (2021). *Fundamentos de la Relatividad Especial*. Retrieved from <https://idus.us.es/bitstreams/73e00b4d-3d9e-4981-83cc-6a4b12f51145/download>
- [6] González, R., Otero, M. R., & Arlego, M. (2022). *Análisis del enfoque de la dinámica relativista en los libros de texto de secundaria y la universidad*. Retrieved from https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/238752/CONICET_Digital_Nro.cf3f7ac0-8c82-4214-a391-ffbd2bd13679_B.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- [7] Janssen, B. (2005). *Breve Repaso de la Relatividad Especial*. Universidad de Granada, Departamento de Física Teórica y del Cosmos y centro Andaluz de Física de Partículas Elementales., Granada.
- [8] López, L. J., Rivera, R. E., Carrasco, S. d., & Herrera, C. J. (2025). Guía de aprendizaje una alternativa para la enseñanza de la Relatividad de la Simultaneidad. *Revista Científica Esteli*, 14(54), 11-130. <https://doi.org/10.5377/esteli.v14i54.20780>
- [9] Mejía Polania, M. (2021). *Estudio de la correlación entre las colisiones elásticas pp y pp a alta energías*. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstreams/c096e870-bcde-4fb6-aca7-086c7cf4bec5/download>
- [10] Méndez López, H. A., Quiroz González, O. E., Gaitán Rizo, H. J., & Herrera-Castrillo, C. J. (2025). Metodología Activa Novedosa para la evaluación por competencia en el aprendizaje de las Ecuaciones de Lorentz (MANPEC). *Revista Oratores*, 1(22), 39-55. <https://doi.org/10.37594/oratores.n22.1721>
- [11] Ortuño Blandón, A. I., Ferrufino Amador, E. A., Herrera Castrillo, C. J., & López Maradiaga, E. O. (2025). Cuento didáctico: un camino hacia la relatividad desde un modelo por competencias. *Educación Superior*(39), 53-72. <https://doi.org/10.56918/es.2025.i39.pp53-72>
- [12] Ortuño Blandón, A. I., Ferrufino Amador, E. A., Pérez Ruíz, G. E., & Herrera Castrillo, C. J. (2023). Analysis of the definite integral for the calculation of the magnitudes, force, and pressure of a fluid at rest. *Revista Torreón Universitario*, 12(34), 1-13. Retrieved from <https://camjol.info/index.php/torreon/article/download/16342/20074/62843>
- [13] Porral, E., Bataglia, G., Reyes, I., & Enríquez, M. (2023). *Relatividad Especial*. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Edgardo-Porral-2/publication/369385431_FISICA_ELECTRONICA_Relatividad_Especial/links/6419af3f66f8522c38c1ff8a/FISICA-ELECTRONICA-Relatividad-Especial.pdf
- [14] Robles Jacobo, C. (2021). *Estudio de la correlación del parámetro de pendiente nuclear, Bel, y la sección eficaz elástica en colisiones protón-(anti) protón*. Obtenido de <https://repositorioinstitucional.buap.mx/bitstreams/88399e49-582a-4284-9501-54938a0924c5/download>
- [15] Ruiz González, C. (2024). *Estudio de la producción de pares de bosones en colisiones protón-Protón en el LHC*. Obtenido de <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/34189/RuizGonzalezCristina.pdf?sequence=1>
- [16] Talavera, J. I., García López, H. D., Salmerón Herrera, J. J., & Herrera Castrillo, C. J. (2025). Actividades con recursos tecnológicos para el desarrollo de la temática equivalencia masa energía. *Revista*

- Educativa HEKADEMOS(37), 56-66. Retrieved from <https://hekademos.com/index.php/hekademos/article/view/103>
- [17] Tebaldi, M., Alonso, R., Creus, M., Muñoz, E., Perrone, C., Trivi, M., & Velez Zea, A. (2023). *Física Cuántica y Relativista*. Retrieved from https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/162042/Document_o_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [18] Valencia Palomo, L. (2023). *El gran colisionador de hadrones: una maravilla del mundo moderno*. Obtenido de https://www.revista.unam.mx/wp-content/uploads/v22_n5_a4.pdf