

Universidad del Bío-Bío

Facultad de Educación y Humanidades

Departamento de Ciencias Básicas



PROPUESTA DE UNIDAD DIDÁCTICA  
SOBRE PARTÍCULAS E INTERACCIONES DE PARTÍCULAS  
PARA ESTUDIANTES DE ELECTIVO DE FÍSICA DE TERCERO Y CUARTO MEDIO

Andrés Antonio Longos Ulloa

**Tesis de pregrado para Profesor(a) de ciencias naturales con mención en física**

**Profesor guía York Schröder**

**Chillán, diciembre 2023**

## Índice

<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>4</b>
II. 1. Fuerzas fundamentales.....	4
II. 2. Quarks.....	5
II. 3. Antipartículas.....	6
II. 4. ¿Que es un neutrino y como lo podemos detectar?.....	7
II. 5. Neutrinos.....	7
II. 6. Dirac vs Majorana.....	9
II. 7. Diagramas de Feynman y su utilidad en la educación.....	10
<b>III. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>10</b>
<b>IV. OBJETIVOS.....</b>	<b>11</b>
<b>V. HIPÓTESIS.....</b>	<b>12</b>
<b>VI. METODOLOGÍA.....</b>	<b>13</b>
VI. 1. Diseño.....	13
VI. 2. Unidad Didáctica.....	14
VI. 3. Herramientas de recolección de datos.....	16
<b>VII. RESULTADOS.....</b>	<b>16</b>
<b>VIII. DISCUSIÓN.....</b>	<b>16</b>
<b>IX. CONCLUSIÓN.....</b>	<b>17</b>
<b>X. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>18</b>
<b>XI. FIGURAS.....</b>	<b>23</b>
Guía de ejercicios de diagramas de Feynman e interacciones de partículas.....	27

### **Agradecimientos.**

En primer lugar a mi familia que me apoyó durante todo el proceso universitario, a mis amigos y compañeros de carrera quienes dieron consejo frente a diversos obstáculos, a mi profesor guía, quien además de aconsejar durante la redacción también fue un gran apoyo emocional y al proyecto ANID/Fondecyt Nr 1231056 “Precision Particle Physics” por el financiamiento, el cual me entregó una seguridad financiera durante este proceso.

Agradecimientos especiales a mis colegas del colegio My College de Chillán, quienes me apoyaron compartiendo diversas experiencias pedagógicas, las cuales pude tomar en cuenta para mi desarrollo personal y profesional.

## I. INTRODUCCIÓN

El famoso científico Stephen Hawking menciona en la primera línea de su libro ([ver \[3\]](#)) Breve historia del tiempo: del big bang hasta el agujero negro (1988) “Nos movemos en nuestro ambiente diario sin entender casi nada acerca del mundo”. No nos damos cuenta de lo pequeños que somos frente al universo, el sol es 109 veces más grande que la tierra en la que nos encontramos, y podrían imaginarse lo pequeño que somos nosotros en comparación a esta. De esta manera también podemos entender lo pequeñas que son las partículas.

Los átomos componen todo lo que observamos, cada píxel de la pantalla en la cual está usted leyendo esto o tinta en la hoja de papel. Estos son tan pequeños que no lo podemos observar con nuestros ojos solamente, necesitamos instrumentos que nos acerquen a estos (ver [1], pg. 14). Una partícula es la unidad que compone al átomo: el protón, neutrón y electrón, este último también tiene una particularidad. Mientras que los protones y neutrones, cada uno compuesto por subpartículas, es decir, partículas aún más pequeñas conocidas como quarks las partículas elementales, mientras que el electrón no estaría compuesto por estas subpartículas, haciendo a sí mismo una partícula elemental. Todo esto hasta lo que sabemos ahora, Las herramientas que tenemos hoy en día nos permiten confirmar hasta este punto, pero nada nos dice que no pueden existir otras sub-subpartículas, citando nuevamente a Frank Close con respecto a las masas de los quarks con respecto a la del electrón. “... son las masas de estos quarks tal vez ser considerados como similares a la del electrón, dando pistas a alguna unidad más profunda entre los constituyentes fundamentales de la materia”(ver [1], p.39).

El área de física de partículas consiste en el estudio de cómo se compone la masa, de donde viene y que nos puede decir esto del universo temprano, como se puede observar en [12] [13] [14] y [16] esta área, si bien se ha estudiado durante mucho tiempo, todavía se encuentran una cantidad de dudas y controversias, como se comentará más adelante, hoy en día para encontrar respuestas a estas dudas se necesitan experimentos masivos,

instalaciones en lugares muy complejos que requieren de una cantidad enorme de recursos, tanto económicos como energéticos.

Hoy en día tenemos organizaciones como Particle Data Group (PDG) (ver [2]) la cual se dedica a resumir todos los descubrimientos en el área de física de partículas y áreas relacionadas, la cual se actualiza anualmente:

“La Revista de Física de Partículas se actualiza anualmente y se publica cada dos años en una revista de Partículas de Altas Energías (High Energy Particles, HEP). Incluye una recopilación y evaluación de las mediciones de las propiedades de las partículas elementales conocidas y resume las búsquedas de nuevas partículas hipotéticas. Para la edición de 2022, se han añadido 2.143 mediciones nuevas de 709 artículos, además de 44.695 mediciones de 12.200 artículos que aparecieron por primera vez en ediciones anteriores. 120 artículos individuales de revisión tratan temas como los bosones de Higgs, la supersimetría, la nucleosíntesis del Big Bang, la probabilidad, la estadística, los aceleradores y los detectores.” (ver [2])

## II. MARCO TEÓRICO

### II. 1. Fuerzas fundamentales

Por lo que se comprende hasta ahora solo existen cuatro fuerzas fundamentales en nuestro universo (ver [1], pg. 7-8), la primera y más evidente es la fuerza gravitacional, la cual podemos observar en nuestro día a día, dejando caer un objeto, el cual cae debido a la fuerza gravitacional de la tierra sobre este, pero como se menciona en Aprendizaje de los conceptos de masa, peso y gravedad. Investigación de la efectividad de un modelo analógico. (ver [5], p.276), de manera visual, tanto un satélite con una masa considerablemente mayor a la nuestro planeta también interactúan, es decir, en nuestro ejemplo del lápiz la tierra está atrayendo al lápiz de la misma manera en que el lápiz atrae a la tierra. Con esto se observa que todo lo que tenga masa inherentemente tiene una atracción gravitacional, en esto se incluyen las partículas pequeñas de las cuales hablamos anteriormente. También cabe añadir que se teoriza que la gravedad no es una fuerza que

solo existe, sino que su interacción se debe a una partícula sin carga ni masa, similar al fotón, llamada gravitón y, comparada con las que veremos a continuación, es la más débil teniendo una magnitud de 10 a 39 veces más débil (ver [11] pg 1.)

A esto le sigue la fuerza electromagnética. Comúnmente conocemos a los protones como las partículas cargadas positivamente y a los electrones como las partículas cargadas negativamente, debido a esta diferencia en su carga se produce una atracción electromagnética y de la misma manera partículas con cargas de la misma naturaleza se repelen entre sí, esto provoca las interacciones químicas, y por tanto biológicas (ver [11] pg. 2). Su interacción ocurre a través de la partícula del fotón.

Considerando la fuerza electromagnética podríamos preguntarnos ¿Cómo el núcleo de un átomo, el cual está compuesto por protones y neutrones, se mantiene unido a pesar de tener cargas iguales?, pues esto se debe a la fuerza fuerte, representada con su partícula correspondiente el gluon, de la palabra “glue”, la cual significa pegamento en inglés, esta sería responsable de mantener a los quarks, subpartículas que componen a los protones y neutrones unidos entre sí, y por lo tanto a las partículas de misma manera. (ver [11], pg. 2)

Y por último tenemos a la fuerza débil, la cual es un poco distinta a las demás, hasta ahora solo observamos fuerzas que son para mover partículas, ya sea acercándose, repeliéndose o mantenerlas unidas. Ahora esta fuerza débil se encarga de transformar a los neutrones a protones o viceversa, esto lo logra a través del cambio de uno de los quarks que los componen, lo cual veremos más adelante, esto ocurre debido a la desintegración de las partículas, que en algunas ocasiones es radiactivo, como la desintegración beta (ver [11] pg. 1). La partícula de esta interacción son los llamados bosones z, w y H (bosón de Higgs)

## II. 2. Quarks

Según el modelo estándar de partículas (ver [figura 1.](#)) se tienen 3 grupos de partículas y 3 grupos de anti partículas, dentro de los grupos de partículas se observan los conocidos up y down, los cuales tienen una masa de alrededor de  $2,2 \text{ MeV}/c^2$  y  $4,7 \text{ MeV}/c^2$ , con cargas de  $2/3$  y  $-1/3$ , respectivamente, pero también se observan partículas en grupos o familias más adelante. Estas partículas conocidas como charm, strange, top y bottom tienen similares

características a las mencionadas anteriormente. Si bien las cargas de las partículas se mantienen iguales, cambian totalmente las masas, estas nuevas partículas son masivas, en comparación a up y down, esto provoca que estas partículas sean extremadamente inestables y decaen a up y down.

Para observar estos quarks se requiere de tomar una partícula, como un protón, neutrón o electrón y hacerla colisionar con otra, de esta manera se transfiere energía lo suficiente para “separar” el núcleo y poder observar estos quarks de manera libre. Si consideramos el decaimiento de las subpartículas de la familia II y III, debemos llevarlas a una velocidad cercana a la de la luz, de esta manera dilatando el tiempo para observarlas. Esto se logra en parte en los aceleradores de partículas, los cuales interactúan con las partículas con campos magnéticos, acelerándose durante ciertas distancias, desde unos cuantos centímetros hasta kilómetros (ver [1], pg. 46-61).

Considerando todo lo visto hasta ahora se puede generar el siguiente esquema, (ver figura 2.) extraído de M. Moreira (2009) (ver [9], pg. 5), el cual nos habla por un lado de las partículas básicas, haciendo diferencie entre los quarks y leptones (estos siendo las partículas de interacción mencionadas anteriormente) y las fuerzas fundamentales.

Considerando esto, nace una gran pregunta, ¿es posible utilizar neutrinos en un acelerador de partículas?, pues para comenzar se debe tener un láser de neutrinos, los cuales no son complejos, pero a diferencia de otras partículas, los neutrinos no presentan carga, por lo cual no se puede curvar ni acelerar su movimiento, y junto a eso su pequeña masa que hace extremadamente difícil que estos interactúen con otros materiales. ¿Entonces cómo detectamos y experimentamos con un neutrino?, lo veremos más adelante.

### II. 3. Antipartículas

Como se puede observar en la figura 1. también existen grupos de antipartículas, cada una correspondiente a una partícula en el modelo estándar, estas partículas, como se puede entender de su nombre, son contrarias a su partícula correspondiente en su carga, mientras un up tiene una carga de  $\frac{2}{3}$ , un antiup tiene una carga de  $-\frac{2}{3}$ , esto da a luz nuevos estados ligados de partículas, conocidos como los mesones y bariones.(ver [1], pg. 44-45)

#### II. 4. ¿Que es un neutrino y como lo podemos detectar?

Los neutrinos son partículas que, como mencionamos anteriormente, no tiene carga, si masa es unas 20 o 30 veces más pequeña que un quark (ver [2]), y esto se dice en un rango ya tiene se tiene una gran dificultad para detectarlos, más aún para matarlos. Estos se generan en una gran cantidad en procesos nucleares, como el big bang, en estrellas o aceleradores de partículas.

En la tierra nuestra mayor fuente de neutrinos son las fusiones nucleares producidas en el sol, y para captarlos se realizan tanques de agua pesada (deuterio). La interacción de los neutrinos con neutrones en el agua genera partículas con energía, las cuales generan unos “rayos” de luz que son detectados por fototubos, generando imágenes (ver [1], pg. 74-75).

Ahora para evitar que esta muestra sea contaminada por otras partículas los laboratorios deben ser construidos a kilómetros bajo tierra. Debido a lo mencionado anteriormente, los neutrinos no tienen ningún problema para atravesar la tierra, de esta manera, se aísla de otras partículas, pero la logística de estos laboratorios los hace extremadamente caros, por lo que son pocos los lugares donde se pueden realizar estas mediciones y los datos que se obtienen no pueden ser comparados con mediciones en otros lugares de la tierra. Por esto proponen A. Gaspert, P. Giampa, N. McGinnis, & D. Morrissey que los neutrinos que se encuentran en la tierra son, en su mayoría, creados por rayos cósmicos que colisionan con nuestra atmósfera, y para solucionar este problema hacer un detector de estos en la luna, además de otras aplicaciones en relación a la materia oscura.

#### II. 5. Neutrinos $\nu_e \nu_\mu \nu_t$

Como fue mencionado anteriormente, detectar a los neutrinos no es un trabajo fácil, pero en la década de los 70's, con el experimento homestake, el cual en palabras simples, es un tanque de agua en las profundidades de una mina de oro, fue el primer experimento de detección de estas partículas. Según los cálculos de R. Davis, la fusión nuclear que ocurre



en el sol debería producir una cantidad de neutrinos, los cuales llegan a la tierra. Alrededor de 60.000 neutrinos por  $\text{cm}^3$ , pero esto al ser medido resultó que se detectaron alrededor de  $\frac{1}{3}$  de lo esperado (ver [7], p. 47-49). Para esto se entregaron 2 explicaciones, o los cálculos y la comprensión de los procesos nucleares que ocurren en el sol no se comprenden del todo o los neutrinos tiene alguna particularidad física que no se conoce.

Para explicar esto se determinó que existen diferentes tipos de neutrinos, los neutrinos-electrón, neutrinos-muón y neutrinos-tau, que interactúan de maneras diferentes con la materia, lo cual explicaría el fallo del experimento anterior y que estos, como menciona B. Vargas en junio del 2016 (ver [8], pg. 15-16):

“Experimentalmente se ha verificado que los neutrinos oscilan entre estados de sabor, es decir, cambian de sabor constantemente, hecho que puede ser explicado si poseen masa y sus estados están mezclados (lo cual es considerado un descubrimiento sobresaliente), sin embargo, no se conocen los valores absolutos de las masas ni algunos aspectos de las mezclas”.

Los resultados del Sudbury Neutrino Observatory (SNO) el 18 de junio del 2001 (ver [9] dieron a conocer que el problema con los resultados no se debía a un problema en el modelo del funcionamiento del sol, si no a cambios de los neutrinos en el camino entre el sol y la tierra, esto es a lo que llamamos oscilación de neutrinos.

“La hipótesis de la oscilación de los neutrinos requiere que los tres sabores de neutrino (del electrón, del muón y del tau) están constituidos por mezclas de estados de neutrinos (identificados como 1, 2 y 3) con diferentes masas. Un neutrino del electrón podría ser entonces una mezcla de estados 1 y 2, mientras que un neutrino del muón sería una mezcla diferente de esos mismos estados. De acuerdo con esa hipótesis, mientras viajan (¡8 min!) hasta la Tierra, esos neutrinos, constituidos por distintas mezclas, oscilan entre uno y otro sabor.” (ver [10] pg. 14).

Además de esto, fue reconocido que el comportamiento de los neutrinos se ve modificado por la densidad del electrón, en particular, el cambio adiabático en la densidad del electrón,

lo cual causa un cambio adicional en los neutrinos electrón producidos inicialmente en la fusión solar. (ver [12], pg. 494)

### II. 6. Dirac vs Majorana

Una de las mayores controversias con respecto a los neutrinos es su naturaleza en relación a su antipartícula, actualmente se tienen dos postulados, el neutrino de Dirac y el neutrino de Majorana. En pocas palabras su diferencia consiste en que los neutrinos de Dirac la partícula y su antipartícula son partículas distintas, mientras que en los neutrinos de Majorana la partícula y su antipartícula son la misma. El hecho es que si existe una diferencia entre estas dos, la cual consta de su spin subatómico, mientras los neutrinos tienen un spin “zurdo” mientras que los antineutrinos tienen un spin “diestro”. El problema recae en si el neutrino tiene masa o no, si la tiene podemos cambiar nuestro marco de referencia y la dirección del spin de los neutrinos cambia, por lo que Majorana llega a la conclusión de que estas pueden ser su propia antipartícula. (ver [17])

Las evidencias hoy en día no concluyen en ninguna de las posibilidades, pero si tienden a responder que los neutrinos sí poseen masas (ver [18]). Otra evidencia de esto son las oscilaciones de neutrinos mencionadas anteriormente, para que estas ocurran deben las partículas tener una masa, esto se relaciona con el tiempo propio. Una partícula pequeña posee un tiempo propia igual a cero, lo que implica que desde el punto de vista de la partícula el trayecto que esta recorre se realiza de manera instantánea, no dejando espacio para que esta cambie de color. (ver [20])

La desintegración beta es un proceso en el que un núcleo atómico inestable emite un electrón (o un positrón, la antipartícula del electrón) y un neutrino (ver figura. 4) . Este proceso ocurre cuando hay un exceso de neutrones o protones en el núcleo, lo que lo hace inestable. Ahora bien, la desintegración doble-beta implica un núcleo atómico que emite dos electrones y dos neutrinos simultáneamente (ver [21]). Esto es bastante especial porque, según la teoría actual, los neutrinos se consideran partículas que interactúan muy débilmente. Por lo tanto, observar una desintegración doble-beta proporcionaría evidencia de que los neutrinos son partículas de Majorana.

### II. 7. Diagramas de Feynman y su utilidad en la educación.

Un diagrama de Feynman es una manera de representar de manera gráfica las colisiones entre partículas y los cálculos implicados en estas, además de sus trayectorias (ver figura 5.). Estos pueden ser utilizados para acercar a los estudiantes de enseñanza media a conceptos de física moderna de manera general.

“Pensamos que aprender a aplicar las leyes de conservación y simetrías a las reacciones es valioso y que simetrías a un nivel mucho más nivel mucho más profundo no es alcanzable en la enseñanza posponerse a los programas científicos universitarios.” [26]

Como se menciona en [27] los diagramas de Feynman se han utilizado en los últimos 70 años para ilustrar diferentes interacciones entre partículas, y al igual que en otras áreas de la física se pueden utilizar para acercar este concepto a los estudiantes. “El uso de los diagramas podría compararse a la forma en que utilizamos triángulos o polígonos de vectores para ilustrar el equilibrio de fuerzas.” [27],

### **III. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

En el artículo de radio Bio-Bio (ver [16]) Veronica Figueroa, la cual se desempeñaba como subsecretaria de educación, dio a conocer los promedios y medianas de los puntajes Prueba de Acceso a la Educación Superior (PAES) 2022, en este se menciona que, al igual que historia, la mediana del puntaje de la prueba de ciencias está bajo el promedio,

En un estudio (ver [15]), para responder a la pregunta “¿Qué se hace para las materias que componen el universo?, crearon una Unidad Didáctica que se compone de elementos desde la filosofía hasta la física de partículas, llegando hasta el bosón de Higgs, sus resultados dieron conclusiones positivas en la comprensión de física de partículas donde remarcan “posibilitando indicios de Aprendizaje Significativo.”.

Basado en esto se pregunta de qué otra manera puede ser utilizada la física de partículas en educación media. Considerando solo la física de partículas, si bien si tiene un conocimiento enorme, también es cierto que existen aun mas dudas con respecto a cómo funciona el universo y sus partículas. Los datos que existen de física de partículas (ver [2]) se obtienen de maneras complejas en, muchas veces, experimentos masivos, por lo que se formula la pregunta: ¿De qué manera podemos acercar a los estudiantes de enseñanza media a los medios de obtención de datos y relevancia de estos en el area de física de partículas?. Una propuesta es utilizar esta área para estudiar los conceptos de materia en el universo, a través de diversas estrategias y utilizando conceptos de física de partículas (ver [16]). Algunos de los ejemplos se pueden observar en la figura 3.

“Diseñar una unidad didáctica para llevarla a la práctica, es decir, decidir qué se va a enseñar y cómo, es la actividad más importante que llevan a cabo los enseñantes, ya que a través de ella se concretan sus ideas y sus intenciones educativas. Una persona puede haber aprendido nuevas teorías didácticas y puede verbalizar que tiene una determinada visión acerca de qué ciencia es importante que sus alumnos aprendan o acerca de cómo se aprenden mejor las ciencias, pero es en el diseño de su práctica educativa donde se refleja si sus verbalizaciones han sido interiorizadas y aplicadas.” (ver [23])

#### **IV. OBJETIVOS**

##### Objetivo General

- Adaptar el estudio de física de partículas para la creación de una unidad didáctica que acerque a los estudiantes a los conocimientos de la unidad “Física Moderna” de electivo de física de currículum de 3°ros y 4°tos medios

##### Objetivos específicos

- Diagnosticar los saberes previos y las nociones que presentan los estudiantes sobre la física moderna.

- Indagar sobre tópicos relacionados a la física de partículas que se puedan adaptar a la enseñanza de la unidad de “Física Moderna” del electivo de física de enseñanza media.
- Diseñar una unidad didáctica sobre la utilización de diagramas de Feynman para acercarse a los conceptos de colisiones de partículas del modelo estándar.
- Indagar diferentes variables en relación al aprendizaje del modelo estándar de partículas en la unidad de física moderna.

## **V. HIPÓTESIS**

Una comprensión detallada de las leyes microscópicas que gobiernan el universo se basa en la teoría cuántica de campos y la relatividad general, que contiene objetos matemáticos que van mucho más allá del nivel de dificultad que se puede tratar de manera significativa en la escuela secundaria. Esto está debidamente reflejado en el contenido actual de las clases de ciencias, según lo define el ministerio de educación donde lo más avanzado es la unidad 4 del electivo “Física”, donde se trata de manera superficial conceptos de física moderna (ver [25]). Creemos, sin embargo, que puede ser extremadamente inspirador para los estudiantes familiarizarse con una sabiduría aparentemente intocable, aunque sea a nivel fenomenológico, evitando todo tipo de matemáticas superiores.

Es esta línea de pensamiento la que nos motivó a emprender el proyecto que aquí se presenta, tomando como ejemplos procesos característicos de la física de partículas e identificando posibles temas que se pueden resumir para formar la base de unidades didácticas que ya se entregarán en 4to medio, como el mencionado anteriormente de física moderna. Al mismo tiempo, creemos firmemente que este tipo de intervención extracurricular enfocada puede potencialmente despertar el interés de los estudiantes por la física (o, de hecho, por la ciencia fundamental), reafirmando la importancia crucial del método científico con su interacción de desarrollo teórico y verificación experimental.

## **VI. METODOLOGÍA**

Para llevar a cabo la creación de la unidad didáctica se ha realizado una revisión sistemática de literatura cualitativa “Las revisiones sistemáticas de literatura (RSL) también referidas como revisiones sistemáticas, tienen como objetivo identificar, evaluar y combinar la evidencia de estudios primarios usando un método riguroso.” (ver [22]). Esto se lleva a cabo con el propósito de indagar tópicos para proponer la unidad didáctica y que esta tenga una base en conocimientos y problemas de la actualidad y poder plantear investigación, en relación a la unidad didáctica, e identificar qué áreas se podrían beneficiar de esto. (ver [24])

### **VI. 1. Diseño**

La investigación tiene un carácter mixto (cualitativo y cuantitativo), para el diseño de investigación se sugiere una investigación no experimental de carácter longitudinal, con observaciones antes, durante y después de la aplicación de la unidad didáctica con el objetivo de “estudiar cómo evoluciona o cambia una o más variables o las relaciones entre estas.” (ver [28]), ya que al tener aspecto exploratorio es más conveniente, como menciona (Mousalli-Kayat, G. , 2015):

“Este tipo de investigación inicia con un fenómeno que el investigador ha observado y trata de comprender más sobre él, así estas investigaciones son un intento de sentar las bases que conduzcan a futuros estudios, o para determinar si lo que se observa podría explicarse por una teoría que existe actualmente.” (ver [29]).

Debido al gran avance en el conocimiento científico este diseño tiene como de explorar las diferentes variables operacionales para generar una propuesta de investigación concreta (ver [30]) que pueda identificar la eficacia de diferentes estrategias en el aprendizaje de la asignatura electiva de física, específicamente en la unidad de física moderna, en el acercamiento a los conceptos de partículas y el modelo estándar de partículas.

No se considera una modalidad pre-test y post-test debido a que estos al ser conceptos que no se abordan comúnmente en la educación media los resultados del pre-test no darían

resultados concluyentes frente a la efectividad de la estrategia, más bien frente al aprendizaje natural que ocurre en una sala de clases al enfrentarse a conceptos nuevos.

## **VI. 2. Unidad Didáctica**

“La unidad didáctica se define como una planificación del proceso de enseñanza-aprendizaje fundamentado en el desarrollo de un contenido; además, es una forma de organizarlo previa selección del objetivo.” (ver [31]). Considerando esto el contenido específico que se desarrollará durante esta unidad didáctica es en relación a partículas, colisiones de partículas y el modelo estándar de partículas.

Consiste de cuatro actividades a realizar en el periodo de tiempo de dos clases de 90 minutos.

Clase 1:

- Actividad N°1

Esta actividad consiste en contextualizar a los estudiantes a lo que significa el concepto de partícula, articulando con los conceptos de átomo y el núcleo de este. Se comienza leyendo un extracto del libro “Una breve introducción: Física de partículas” (ver [1]) con el objetivo de recolectar en primera instancia los conceptos previos de los estudiantes a través de una lluvia de ideas, idealmente utilizando TICs como mentimeter (ver [33] o Wordwall (ver [34]).

“Magnifique un neutrón o un protón mil veces y podrá discernir que ellos también tienen una rica estructura interna. Como un enjambre de abejas, que visto de lejos aparece como una mancha oscura mientras que un primer plano la nube zumba de energía, lo mismo ocurre con el neutrón o el protón. protones. En una imagen de baja potencia aparecen como simples manchas, pero cuando se observan con un microscopio de alta resolución, se descubre que son grupos de partículas más pequeñas llamadas quarks.

Retomemos por última vez la analogía del punto final. Tuvimos que ampliarlo a 100 metros para ver un átomo; al diámetro del planeta para ver el núcleo. Para revelar los quarks tendríamos que expandir el punto hasta la Luna, y luego continuar 20 veces

más. veces más. En resumen, la estructura fundamental del átomo está más allá de la imaginación real.

Por fin hemos llegado a las partículas fundamentales de la materia tal como las conocemos actualmente. tal y como las conocemos. Los electrones y los quarks son como las letras del alfabeto de la naturaleza, las piezas básicas a partir de las cuales se puede construir. Si hay algo más básico, como el punto y la raya del código Morse, no sabemos con certeza qué es. Se especula especulación de que si se pudiera ampliar un electrón o un quark otro billones de billones de veces, descubrirías que el código Morse subyacente como cuerdas, que están vibrando en un universo que se revela que tiene más dimensiones que el espacio de tres y un tiempo de de las que normalmente somos conscientes.”

- Actividad N°2:

Esta actividad consiste en familiarizar a los alumnos, con ayuda de TICs en un laboratorio de computación idealmente, sobre las propiedades de las partículas, específicamente su masa, carga y spin, y cómo estas propiedades pueden afectar las interacciones entre ellas. Esto se realizará a través de la completación del modelo estándar, donde los estudiantes deberán investigar las características de cada partícula y rellenar los espacios en blanco. (ver Figura 6.)

Clase 2:

- Actividad N°3:

Luego de la completación se observará un video (ver [35] 00:00 - 08:00) para comprender la utilidad de los diagramas de Feynman, la naturaleza matemática de este diagrama y sus implicancias, y como estos nos ayudan a comprender las colisiones entre partículas, tomando en cuenta sus masas, cargas y spin.

- Actividad N°4:

Continuado el análisis del video, los estudiantes aplicaran los conceptos aprendidos para completar la siguiente guía de ejercicios (ver Figura 7.), de esta manera profundizando sus conocimientos sobre las interacciones de partículas, y la conservación de leptones, bariones y cargas.



### **VI. 3. Herramientas de recolección de datos**

La guía de ejercicios mencionada en la actividad número 4 servirá como herramienta de recolección de datos. Dependiendo del nivel de completación de esta podremos extrapolar el nivel de aprendizaje de los estudiantes sobre los conceptos involucrados. Asignando 0 puntos a un ejercicio no realizado, 1 punto a un ejercicio realizado pero el cual llegó a un resultado incorrecto y 2 puntos a un ejercicio realizado de manera correcta.

## **VII. RESULTADOS**

Teniendo en cuenta la naturaleza exploratoria de la propuesta no existen resultados, ya que este no ha sido aplicado en un establecimiento. De todas maneras los resultados futuros podrían analizarse considerando, como fue mencionado anteriormente, la completación de la guía de ejercicios.

## **VIII. DISCUSIÓN**

Teniendo en cuenta las evidencias ya mencionadas (ver [30], [31], [32]) las unidades didácticas, si bien aplicadas, tiene resultados positivos en el aprendizaje de los estudiantes en casi cualquier área, así que se podría hacer la predicción de que los resultados de la aplicación de la propuesta de unidad didáctica serán positivos. Esto de todas maneras, dentro de este documento no puede ser asegurado.

Otro aspecto a tener en cuenta es la extensión de la unidad didáctica, considerando sólo dos clases, puede que el tiempo no sea el suficiente para ahondar en conceptos tan complejos como los propuestos, sin embargo también se tiene que tener en consideración el curriculum nacional del electivo de física (ver [36]) no existe mucho tiempo el cual disponer a un área de la física la cual no está estipulada en este.

## **IX. CONCLUSIÓN**

El acercamiento a conceptos complejos de la física durante la enseñanza media es una tarea compleja, pero esta puede llevarse a cabo de una manera dirigida con la utilización de una unidad didáctica, generando así potencialmente un aprendizaje efectivo en los estudiantes de tercero y cuarto medio, generando un interés por seguir aprendiendo del mundo que los rodea y continuar en esa línea en su educación superior.

## X. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Close, F. (2023). Particle Physics: A very short introduction. En *Oxford University Press eBooks*. <https://doi.org/10.1093/actrade/9780192873750.001.0001>
- [2] The Review of Particle Physics, Particle Data Group, 2022 (<https://pdg.lbl.gov/>).
- [3] Hawking, S., & Ortuño, M. (1988). Historia del tiempo (Vol. 21). Editorial Crítica.
- [4] Weinberg, S. (1993). The First Three Minutes: A Modern View Of The Origin Of The Universe. Basic Books.
- [5] Moro, L. E. (2007, 1 enero). *Aprendizaje de los conceptos de masa, peso y gravedad. Investigación de la efectividad de un modelo analógico*. Universidad de Cádiz. <http://hdl.handle.net/10498/16109>
- [6] Gaspert, A., Giampa, P., McGinnis, N., & Morrissey, D. E. (2023). Dark Matter Direct Detection on the Moon. arXiv [Hep-Ph]. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/2305.04943>
- [7] Mikko, M., & Kai, Z. (2019). *Solar Neutrinos - Proceedings Of The 5th International Solar Neutrino Conference*. World Scientific.
- [8] Vargas, B. (2016). *Estudio del experimento double-chooz de oscilaciones de neutrinos* [Tesis de maestría]. Instituto politécnico nacional de México.
- [9] Q. R. Ahmad et. al [SNO Collaboration], nucl-ex/0106015, Phys. Rev. Lett. 87, 071301 (2001), SNO Collaboration, <http://www.sno.phy.queensu.ca/>.
- [10] Moreira, M. A. (2009). El modelo estándar de la física de partículas. Revista Brasileña de Enseñanza de Física, 31(1), 1306.

- [11] Román Roy, N. (1997). Sobre las interacciones fundamentales, las partículas elementales y las teorías de campos. *Buran*, (9), 41-44.
- [12] Orebi Gann, G., Zuber, K., Bemmerer, D., & Serenelli, A. (2021). The Future of Solar Neutrinos. *Annual Review of Nuclear and Particle Science*, 71(1), 491-528.
- [13] Márquez, J. M., Portillo-Sánchez, D., Castro, G. L., & Roig, P. (2023). On the Dirac-Majorana neutrinos distinction in four-body decays. *arXiv [Hep-Ph]*. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/2305.14140>
- [14] Bernabeu, J., Sabulsky, D. O., Sánchez, F., & Segarra, A. (2023). Neutrino mass and nature through its mediation in atomic clock interference. *arXiv [Physics.Atom-Ph]*. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/2306.00767>
- [15] da Costa, Marcia, & de Lourdes Batista, Irinéa. (2017). Noções de alunos do Ensino Médio a respeito da estrutura da matéria: investigação de uma abordagem histórico-didática para o ensino de Física de Partículas. *Revista eletrónica de investigación en educación en ciencias*, 12(2), 1-23. Recuperado en 07 de junio de 2023, de [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1850-66662017000200004&lng=es&tlng=pt](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-66662017000200004&lng=es&tlng=pt).
- [16] King, S. F., Marfatia, D., & Rahat, M. H. (2023). Towards distinguishing Dirac from Majorana neutrino mass with gravitational waves. *arXiv [Hep-Ph]*. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/2306.05389>
- [17] Leah. (2016, 21 julio). *Neutrinos: Majorana or Dirac?* News. <https://news.fnal.gov/2012/09/neutrinos-majorana-or-dirac/>
- [18] ChoeJo, Y., Kim, Y., & Lee, H.-S. (2023). Dirac-Majorana neutrino type conversion induced by an oscillating scalar dark matter. *arXiv [Hep-Ph]*. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/2305.16900>

- [19] Kajita, Takaaki. (2016). El Descubrimiento de las oscilaciones de los neutrinos. *Revista Boliviana de Física*, 28(28), 1-3. Recuperado en 13 de junio de 2023, de [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1562-38232016000100001&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1562-38232016000100001&lng=es&tlng=es).
- [20] Cassini, A. (2012). La invención del neutrino: un análisis epistemológico. *Scientiae Studia*, 10(1), 11-39. <https://doi.org/10.1590/s1678-31662012000100002>
- [21] Vissani, F. (2023). 'Passion for Earth': A New Beginning. [Preprint]. arXiv. Retrieved from <https://arxiv.org/abs/2306.13655>
- [22] Carrizo, Dante, & Moller, Carlos. (2018). Estructuras metodológicas de revisiones sistemáticas de literatura en Ingeniería de Software: un estudio de mapeo sistemático. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 26(Supl. 1), 45-54. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052018000500045>
- [23] Sanmartí, N. (2000). El diseño de unidades didácticas. *Didáctica de las ciencias experimentales*, 239-276.
- [24] Letelier S, Luz María, Manríquez M, Juan J, & Rada G, Gabriel. (2005). Revisiones sistemáticas y metaanálisis: ¿son la mejor evidencia?. *Revista médica de Chile*, 133(2), 246-249. <https://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872005000200015>
- [25] MINEDUC. (s. f.). *Curriculum Nacional*. Curriculum Nacional. Recuperado 29 de julio de 2023, de <https://www.curriculumnacional.cl/portal/>
- [26] Berg, E. van den, & Hoekzema, D. (2005). Teaching conservation laws, symmetries and elementary particles with fast feedback. *Physics Education*, 41(1), 47–56. doi:10.1088/0031-9120/41/1/004
- [27] Guevara Alban, G. P., Verdesoto Arguello, A. E., & Castro Molina, N. E. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de

investigación-acción). *RECIMUNDO*, 4(3), 163-173.  
[https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(3\).julio.2020.163-173](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173)

[28] Agudelo Viana, G., Aigner Aburto, J. M., & Ruiz Restrepo, J. (2008). Diseños de investigación experimental y no-experimental. *La Sociología en sus Escenarios*, (18), 1–46.

[29] Mousalli-Kayat, G. (2015). *Métodos y Diseños de Investigación Cuantitativa*. Mérida.

[30] Manchado Garabito, Rocío, Tamames Gómez, Sonia, López González, María, Mohedano Macías, Laura, D'Agostino, Marcelo, & Veiga de Cabo, Jorge. (2009). Revisiones Sistemáticas Exploratorias. *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 55(216), 12-19. Recuperado en 09 de noviembre de 2023, de [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0465-546X2009000300002&lng=es&tlng=es](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0465-546X2009000300002&lng=es&tlng=es).

[31] Villalobos-Rodríguez, V., Poltronieri-Méndez, S., & Garita-González, G. (2020). Proceso de producción de unidades didácticas y el marco UNESCO como referente para la elaboración de los materiales didácticos. *Revista Electrónica Calidad En La Educación Superior*, 11(1), 129–157. <https://doi.org/10.22458/caes.v11i1.2942>

[32] Flórez-Nisperuza, Elvira-Patricia, & González-Rivas, Martha-Sofía. (2021). Diseño de unidades didácticas mediante el aprendizaje basado en problemas para la enseñanza de las ciencias. *Revista científica*, (41), 134-149. Epub June 17, 2021. <https://doi.org/10.14483/23448350.17472>

[33] *Interactive Presentation Software*. (s. f.). Mentimeter. <https://www.mentimeter.com/>

[34] *WordWall*. (s. f.). WordWall.net. <https://wordwall.net/es>

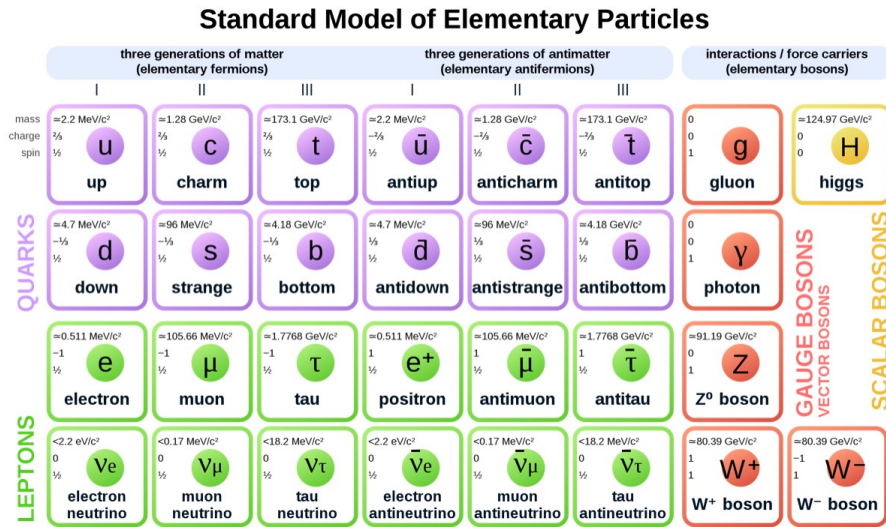
[35] Santolalla, J. (2017, 17 diciembre). *La Teoría Cuántica de Campos y los DIAGRAMAS de FEYNMAN* [Vídeo]. Youtube. Recuperado 23 de noviembre de 2023, de <https://www.youtube.com/watch?v=sHYGsX9kL4U>

[36] *Unidad 4 - Física moderna: ¿Qué sabemos de lo más pequeño y lo más grande de la naturaleza?* (s. f.). Aprendo en Línea - DOCENTE. Currículum Nacional. Mineduc. Gobierno de Chile Chile. Recuperado 28 de noviembre de 2023, de <https://www.curriculumnacional.cl/docentes/Diferenciado-Humanista-Cientifico/Ciencias/Fisica/144913:Unidad-4-Fisica-moderna-que-sabemos-de-lo-mas-pequeno-y-lo-mas-grande-de-la-naturaleza>

XI. FIGURAS

Figura 1.

Modelo estandar de partículas

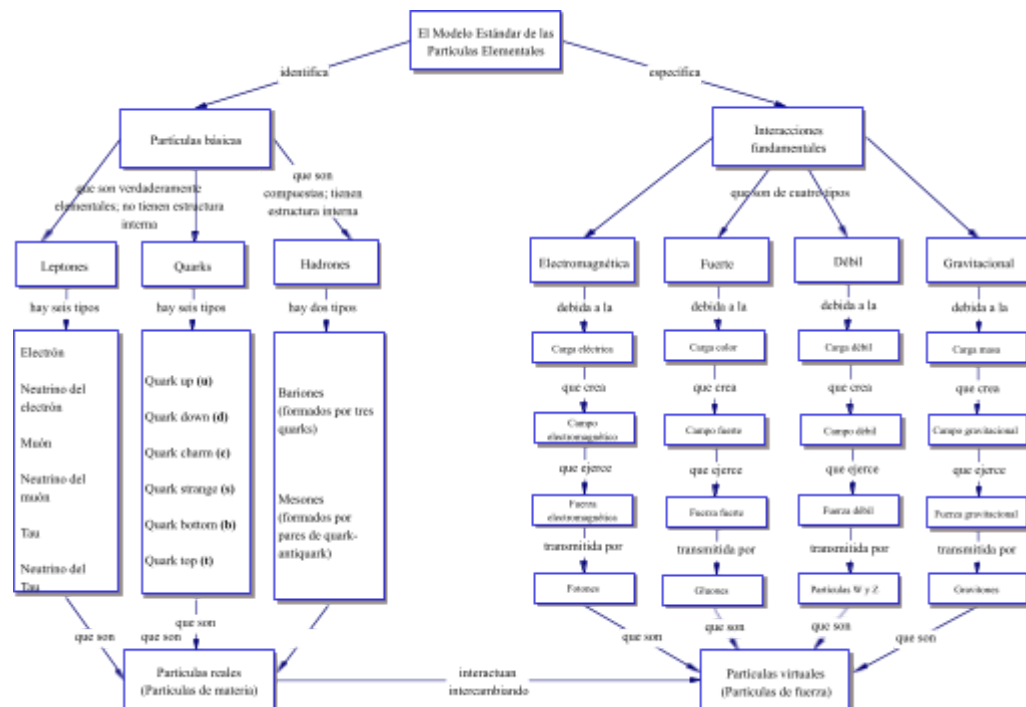


Nota. CENTRO NACIONAL DE FÍSICA DE PARTÍCULAS ASTROPARTÍCULAS Y NUCLEAR [ CPAN]. (s. f.). *Tabla de partículas elementales del modelo estándar.* CPAN.

<https://www.i-cpan.es/es/content/el-modelo-estándar-de-la-física-de-partículas>

Figura 2.

Esquema simplificado del modelo estándar.

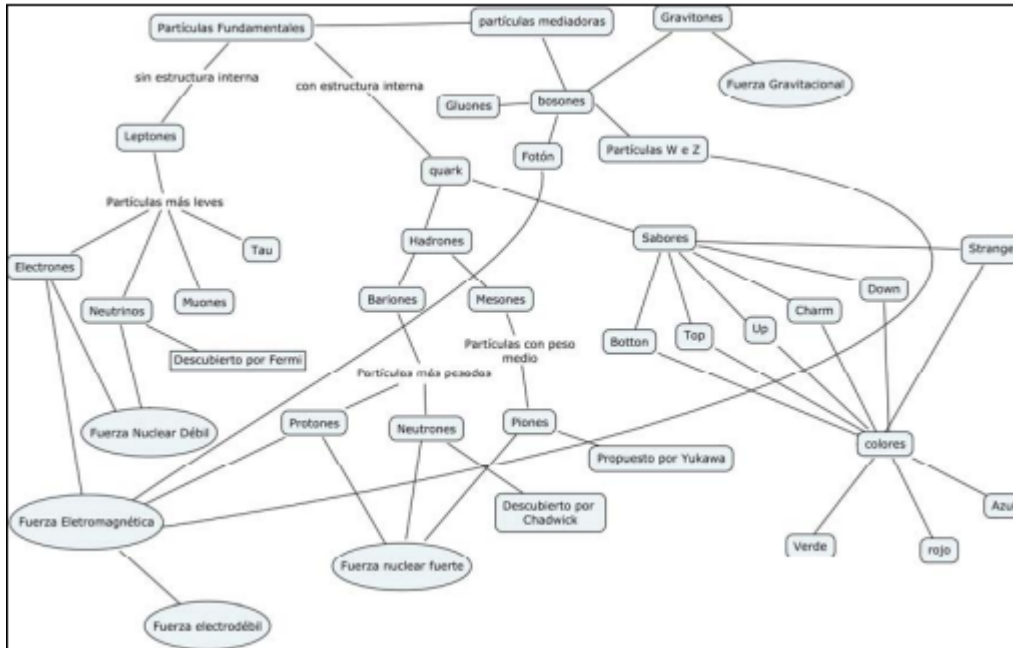




*Nota.* Extraído de Moreira, M. A. (2009). El modelo estándar de la física de partículas. Revista Brasileña de Enseñanza de Física, 31(1), 1306. En el campo de la fuerza débil no se encuentra el bosón de Higgs (H) ya que este se descubrió el año 2012 en LHC/CERN.

**Figura 3**

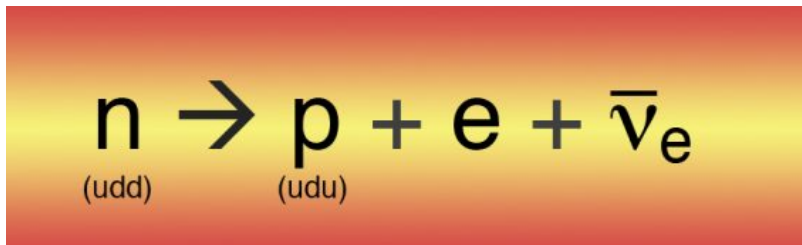
Mapa conceptual de física de partículas.



*Nota.* Mapa conceptual de categoría superior. Extraído de Krey, I. (2009). Implementación y evaluación de una propuesta de enseñanza para el tópico física de partículas en una disciplina de estructura de la materia basada en la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud. <http://hdl.handle.net/10183/94791>

**Figura 4.**

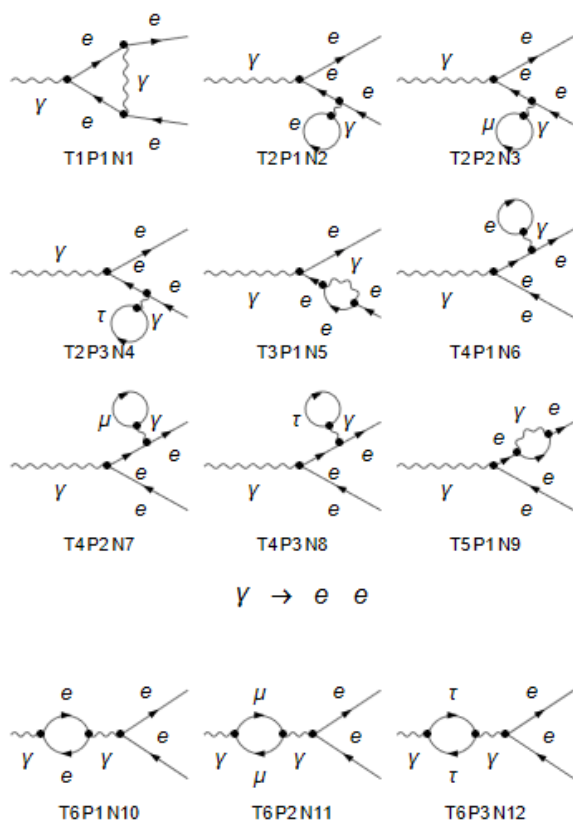
Desintegración beta de neutrones.



*Nota.* Se puede observar la desintegración del neutrón hacia un protón, junto a un electrón y un neutrino de electron. Extraído de <https://neutrinos.fnal.gov/sources/beta-decay/>.

**Figura 5.**

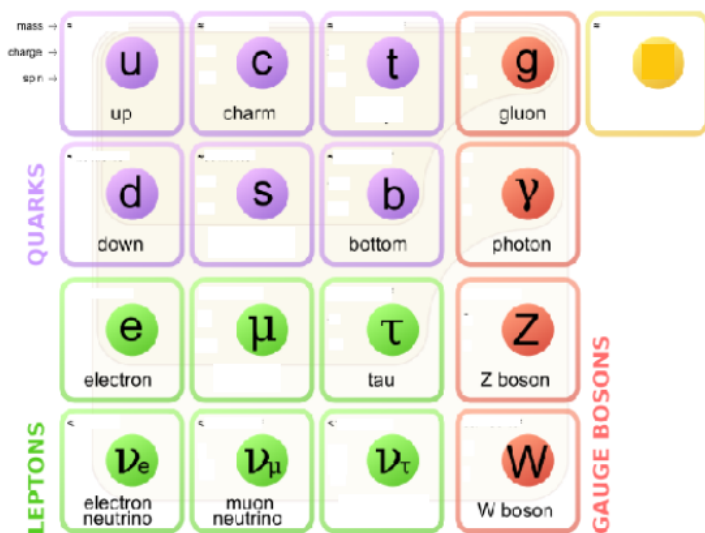
Ejemplos de diagramas de Feynman.



*Nota.* Creación propia con la utilización de Wolfram Research, Inc., Wolfram|Alpha Notebook Edition, Champaign, IL (2023).

**Figura 6.**

Modelo estándar de partículas adaptado para rellenar.



*Nota.* Adaptación de CENTRO NACIONAL DE FÍSICA DE PARTÍCULAS ASTROPARTÍCULAS Y NUCLEAR [CPAN]. (s. f.). Tabla de partículas elementales del

modelo

estándar.

CPAN.

<https://www.i-cpan.es/es/content/el-modelo-estándar-de-la-física-de-partículas>

**Figura 7.**

Guía de ejercicios de diagramas de Feynman e interacciones de partículas.

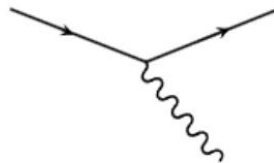
**Guía de trabajo - Diagramas de Feynman**

Los diagramas de Feynman representan interacciones de partículas, estos tienen unas reglas básicas.

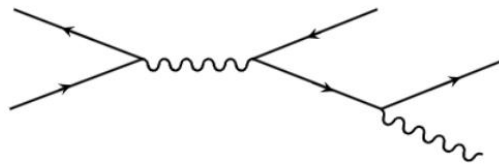
1. Existen dos tipos de líneas, las líneas rectas con una flecha y las líneas onduladas



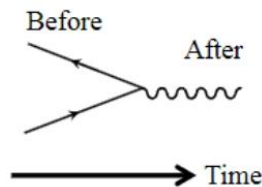
2. Una intersección, llamada vértice. Todo vértice tiene 2 líneas rectas y una ondulante. En estos vértices siempre debe existir una línea recta que apunta hacia "adentro" y otra hacia "afuera". (esto para un diagrama de feynman simple, existen otros tipos más complejos con mayor número de interacciones)



3. Se pueden construir diagramas con múltiples vértices y líneas.



4. Los diagramas, por lo general, se leen de izquierda a derecha. Esto lo indica el eje de "tiempo". Todo vértice tiene un momento "Before" (antes) y "After" (después).



5. Considere siempre que algunas cosas en las interacciones siempre se mantienen:
  - La carga total (Q) siempre es conservada (se utiliza Q para carga y q para quarks).
  - El número total de leptones se conserva (antileptones se consideran como negativos).
  - El número total de bariones se conserva (q cuenta como positivo,  $\bar{q}$  cuenta como negativo).

**Ejercicios**

I. Dibuja un diagrama de Feynman para los siguientes interacciones:

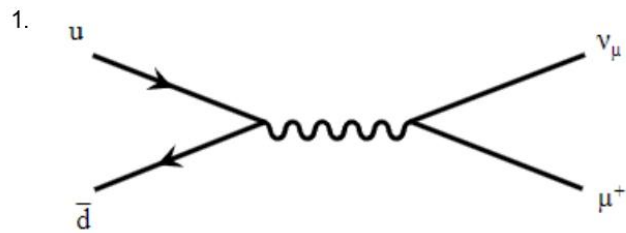
1.  $\bar{s} \rightarrow \bar{u} + u + \bar{d}$

2.  $s \rightarrow u + \bar{u} + d$

3.  $e^- + e^- \rightarrow e^- + e^-$ , donde los electrones se repelen electromagnéticamente.

4.  $e^+ + e^- \rightarrow e^+ + e^-$ .

II. Analiza las siguientes imágenes



a) ¿Cuál es la partícula que se intercambia en este caso?, explica tu razonamiento.

---



---



---

b) Explica la interacción con tus palabras

---



---



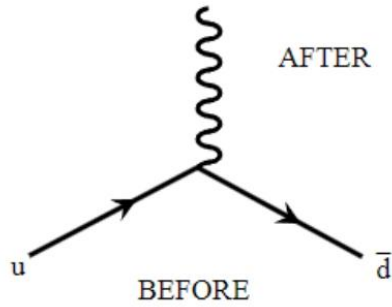
---



---

c) Esta interacción se escribe de la siguiente manera  $u + \bar{d} \rightarrow \nu_\mu + \text{_____}$ , completa la interacción.

2.



a) Utilizando la conservación de la carga., determina la carga eléctrica de la partícula de intercambio.

---

---

---

b) Esta interacción está mediada por la fuerza débil. Identifica cuál es la partícula de intercambio.

---

---

---

c) Explica por qué la pregunta anterior no puede ser respondida sin antes haber mencionado que la fuerza débil está involucrada.

---

---

---

Nota. Elaboración propia, adaptada de *Feynman Diagrams practice*. (2019, 5 febrero). studylib.net. Recuperado 28 de noviembre de 2023, de <https://studylib.net/doc/25212436/feynman-diagrams-practice>.