



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Diseño e implementación de un módulo didáctico para la enseñanza-aprendizaje de la física de partículas para el grado once

Diana Olivos Suárez

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias, Maestría en enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales
Bogotá, Colombia
2021

Diseño e implementación de un módulo didáctico para la enseñanza-aprendizaje de la física de partículas para el grado once

Diana Olivos Suárez

Tesis final presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magíster en enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales

Director:

Diego Alejandro Milanés Carreño, PhD

Línea de Investigación:

Aprendizaje de las Ciencias

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias, Maestría en enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales

Bogotá, Colombia

2021

“Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad”.

Albert Einstein

Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.

Nombre

Diana Olivos Suárez

Fecha 23/11/2021

Agradecimientos

Como primera instancia, agradezco a Dios y a la vida la oportunidad de haber podido conocer el mundo de la física de partículas a través de la participación en el “High School International Teacher Programme” del Centro de Investigación Nuclear Europeo (CERN). Agradezco también a las diversas situaciones vividas, que me llevaron al campo de la docencia, para poder así, transmitir y sembrar el amor por la ciencia, en mis estudiantes. Gracias a mi esposo Camilo y a mis hijas Mariana y Juliana, por su paciencia y apoyo incondicional durante todo este proceso. A Myriam, mi mamá, por estar siempre ahí, ayudándome y apoyándome en todo. A mi director de tesis, Diego Alejandro Milanés Carreño, por la guía, el apoyo y la ayuda prestada durante el desarrollo de este proyecto.

Resumen

Diseño e implementación de un módulo didáctico para la enseñanza-aprendizaje de la física de partículas para grado once (Resolución 023 de 2015. Artículo 02)*

La Organización del Bachillerato Internacional (IB) es una fundación educativa con sede en Ginebra, Suiza, y fundada en 1968, que imparte programas a estudiantes desde los 3 hasta los 19 años. El Programa del Diploma (PD), enfocado a estudiantes entre los 16 y 18 años, tiene temas prescritos para todas las asignaturas, entre estos, la física.

Uno de los temas exigidos y evaluados en los exámenes externos y estandarizados a nivel mundial, es el de la física de partículas. El Colegio Tilatá, que pertenece a esta organización desde el 2017, encontró que este tema es uno de los más complejos y menos interesantes para los estudiantes en la asignatura de Física. Debido a esto se diseñó e implementó un módulo didáctico con una metodología de aprendizaje que se centra en el estudiante y se basa en el juego y la gamificación.

Para aplicar el módulo se elaboró un material didáctico que consta de dos juegos de cartas, el primero, estilo Super Triumph, con partículas; y el segundo, un juego donde se emparejan Diagramas de Feynman con sus descripciones correspondientes. El tercer material es un tablero magnético con fichas para ilustrar las interacciones.

Después de aplicar el módulo, se encontró que el interés y la participación durante las clases se incrementaron significativamente, al igual que los resultados en los exámenes y test.

Asimismo, la mayoría de los estudiantes señalaron al tema de la física de partículas como el que más les gustó durante los dos años en los cuales cursaron el Programa del Diploma. Los Diagramas de Feynman se identificaron como el subtema que sigue siendo complejo y difícil de aplicar, por lo cual se sugiere desarrollarlo con más dedicación por al menos cinco sesiones.

Palabras clave: Enseñanza de la física de partículas para adolescentes, aprendizaje basado en el juego, gamificación en la educación, aprendizaje centrado en el estudiante.

Abstract

Design and implementation of a didactic module for particle physics teaching-learning for eleventh grade (Resolución 023 de 2015. Artículo 02)*

The International Baccalaureate Organization (IBO) is an educational foundation based in Geneva, Switzerland, and founded in 1968, which provides programs for students from 3 to 19 years of age. The Diploma Program (DP), aimed at students between the ages of 16 and 18, has prescribed topics for all subjects, including physics.

One of the topics required and evaluated in external and standardized exams worldwide is particle physics. In Tilitá school, which belongs to this organization since 2017, found that this topic is one of the most complex and least interesting for students in the Physics subject. Due to this, a didactic module was designed and implemented with a learning methodology that is centered on the student and is based on games and gamification

To apply the module, a didactic material was developed consisting of two card games, the first, Super Triumph style, with particles; and the second, a game where Feynman diagrams are paired with their corresponding descriptions. The third material is a magnetic board with tiles to illustrate the interactions.

After applying the module, it was found that interest and participation during the classes increased significantly, as did the results in exams and tests

Likewise, most of the students identified the topic of particle physics as the one they liked the most during the two years in which they studied the Diploma Program. The Feynman Diagrams were identified as the subtopic that remains complex and difficult to apply, so it is suggested to develop it with more dedication for at least five sessions.

Keywords: Teaching particle physics for teenagers, game-based learning, gamification in education, student-centered learning.

Contenido

| | Pág. |
|--|-------------|
| Resumen | IX |
| Lista de figuras..... | XIII |
| Lista de tablas | XIV |
| Introducción | 1 |
| 1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA | 5 |
| 1.1 Planteamiento del problema | 5 |
| 1.2 Objetivos..... | 6 |
| 1.2.1 Objetivo general | 6 |
| 1.2.2 Objetivos específicos..... | 6 |
| 1.3 Justificación | 7 |
| 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS | 9 |
| 2.1 Marco disciplinar | 9 |
| 2.1.1 Contexto histórico del descubrimiento de los componentes del átomo | 9 |
| 2.1.2 Partículas elementales y el modelo estándar..... | 10 |
| 2.1.4. Hadrones, bariones y mesones | 14 |
| 2.1.5. Las leyes de conservación | 15 |
| 2.1.7. Diagramas de Feynman | 18 |
| 2.2 Marco pedagógico o didáctico | 19 |
| 2.2.1. Constructivismo:..... | 19 |
| 2.2.2. Aprendizaje centrado en el estudiante..... | 21 |
| 2.2.3. Aprendizaje basado en el juego y la gamificación:..... | 25 |
| 2.2.4. Aprendizaje significativo: | 27 |
| 2.3 Marco curricular | 30 |
| 3. Diseño metodológico | 35 |
| 3.1 Pregunta de investigación | 36 |
| 3.2 Tipo de estudio | 36 |
| 3.3 Contexto de la investigación | 38 |
| 3.4 Participantes | 38 |
| 3.5 Instrumentos de recolección de datos..... | 39 |
| 3.5.1 Notas de campo | 40 |
| 3.5.2 Entrevistas | 40 |
| 3.5.3 Pruebas escritas..... | 40 |
| 4. Módulo didáctico..... | 43 |

| | |
|--|------------|
| 4.1 Material didáctico diseñado: | 44 |
| 4.1.1 Elemento 1..... | 44 |
| 4.1.2 Elemento 2..... | 45 |
| 4.1.2 Elemento 3..... | 46 |
| 4.2 Sesiones del módulo | 47 |
| 4.3 Descripción de las sesiones con el grupo de control | 54 |
| 5. Resultados y análisis..... | 57 |
| 5.1 Resultados | 58 |
| 5.1.1 Resultados grupo focal | 58 |
| 5.1.2 Resultados grupo control | 74 |
| 5.2 Análisis..... | 77 |
| 5.2.1 Categoría de investigación 1: Aprendizaje centrado en los estudiantes | 78 |
| 5.2.2 Categoría de investigación 2: Revelaciones de aprendizaje significativo | 81 |
| 5.2.3 Categoría de investigación 3: Percepción positiva de los estudiantes frente al conocimiento..... | 84 |
| 6. Conclusiones y recomendaciones | 89 |
| 6.1 Conclusiones | 89 |
| 6.2 Recomendaciones | 90 |
| A. Anexo: Muestra del Padlet contruido por los estudiantes..... | 93 |
| B. Anexo: Fragmento de física de partículas en el cuadernillo suministrado a los estudiantes por el IB..... | 95 |
| C. Anexo: Elemento didáctico 1 | 96 |
| D. Anexo: Elemento didáctico 2 | 98 |
| E. Anexo: Examen formativo aplicado..... | 100 |
| F. Anexo: Examen sumativo aplicado | 103 |
| Bibliografía | 109 |

Lista de figuras

| | Pág. |
|---|------|
| Figura 2-1: Protón, p (a la izquierda) y Neutrón, n (a la derecha) | 11 |
| Figura 2-2: Partículas del Modelo Estándar de física de partículas..... | 13 |
| Figura 2-3: Condiciones necesarias para un aprendizaje significativo | 29 |
| Figura 4-1: Ejemplo de las características que se observan en las cartas diseñadas para los quarks y los leptones..... | 44 |
| Figura 4-2: Ejemplo de las características que se observan en las cartas diseñadas para los portadores de fuerza..... | 45 |
| Figura 4-3: Ejemplo de las cartas diseñadas y creadas de los Diagramas de Feynman. | 46 |
| Figura 4-4: Tablero magnético diseñado y creado para representar Diagramas de Feynman..... | 46 |
| Figura 4-5: Pantallazo de la charla introductoria con el profesor Carlos Eduardo Sandoval Usme | 47 |
| Figura 5-6: Ejemplos de posibles avatares | 48 |
| Figura 4-7: Ejemplo de Padlet para valorar a partir de estrellas..... | 49 |
| Figura 4-8: Pista número 1 para desarrollar el reto de la sesión 3..... | 50 |
| Figura 4-9: Pista número 2 para desarrollar el reto de la sesión 4..... | 50 |
| Figura 4-10: Pista número 3 para desarrollar el reto de la sesión 5..... | 51 |
| Figura 4-11: Pista número 5 para desarrollar el reto de la sesión 7..... | 52 |
| Figura 5-1: Ejemplo de resumen de características observadas después del primer juego con el elemento didáctico 1 | 64 |
| Figura 5-2: Evidencias de las convenciones que recordaron únicamente a través del juego con el elemento didáctico 2 | 72 |

Lista de tablas

| | Pág. |
|--|------|
| Tabla 2-1: Organización de léptones por familia | 12 |
| Tabla 2-2: Características principales de los Diagramas de Feynman | 18 |
| Tabla 2-3: Resumen del currículo propuesto por el IB (Organización del Bachillerato Internacional, 2015). | 32 |
| Tabla 2-4: Contenidos y habilidades curriculares que se buscarán desarrollar a través de esta investigación. | 33 |
| Tabla 5-1: Resultados pregunta 1 conocimientos previos | 58 |
| Tabla 5-2: Resultados pregunta 2 conocimientos previos | 59 |
| Tabla 5-3: Resultados pregunta 3 conocimientos previos | 60 |
| Tabla 5-4: Resultados pregunta 4 conocimientos previos | 60 |
| Tabla 5-5: Resultados pregunta 5 conocimientos previos | 61 |
| Tabla 5-6: Resultados pregunta 6 conocimientos previos | 62 |
| Tabla 5-7: Resultados pregunta 7 conocimientos previos | 62 |
| Tabla 5-8: Ejemplos de avatares creados por los estudiantes..... | 63 |
| Tabla 5-9: Ejemplo de mapas conceptuales creados por los estudiantes, resumiendo las familias de partículas existentes..... | 65 |
| Tabla 5-10: Ejemplos de los estudiantes, sobre la comparación de intensidades de las fuerzas. | 67 |
| Tabla 5-11: Ejemplo 1 de infografía de los estudiantes, relacionando las fuerzas fundamentales con los portadores de fuerza. | 69 |
| Tabla 5-12: Ejemplo 2 de infografía de los estudiantes, relacionando las fuerzas fundamentales con los portadores de fuerza. | 70 |
| Tabla 5-13: Ejemplos de interacciones creadas usando las cartas del elemento didáctico 1..... | 71 |
| Tabla 5-14: Ejemplo de Diagramas de Feynman construidos por los estudiantes usando el elemento didáctico 3..... | 73 |
| Tabla 5-15: Categorías de investigación estipuladas para el análisis. | 77 |

Introducción

El Colegio Tilatá está ubicado en el municipio de La Calera, del departamento de Cundinamarca, al nororiente de Bogotá. Fundado en 1992, es un colegio de calendario B de clase media alta. Pertenece a la organización del bachillerato internacional (IBO) a través de su afiliación a los tres programas principales, el programa de la escuela primaria (PEP), el programa de los años intermedios (PAI) y el programa del diploma (DP). Todos los programas tienen sus respectivos lineamientos y exigencias; sin embargo, el programa que ha sido considerado como el más riguroso ha sido el DP.

En este programa, cada estudiante debe escoger seis asignaturas, cada una a partir de distintas opciones entre las seis diferentes áreas que el IBO plantea. En el área de Ciencias, los estudiantes del Colegio Tilatá tienen la posibilidad de escoger entre Física, Química y Biología, materias en las cuales existen contenidos prescritos que deben estudiar y trabajar a lo largo de los dos últimos años del bachillerato, ya que serán evaluados al finalizar el programa por medio de pruebas estandarizadas. En la asignatura de física se ha detectado que uno de los temas que más dificultad presenta es el que se refiere a la física de partículas. Tanto para los profesores como para los estudiantes, la comprensión de los contenidos y las habilidades planteadas en el currículo siempre ha constituido un gran reto. En la mayoría de los casos, los docentes no abordan estos temas en su formación universitaria y los estudiantes en los cursos previos no generan las bases adecuadas para interesarse y entender esta rama de la física. Este, es considerado por muchos uno de los temas más abstractos que sin las herramientas didácticas necesarias puede convertirse en una lista de datos sin sentido (Berg & Hoekzema, 2005).

A partir de estos hallazgos, en esta investigación se plantea la implementación de una serie de herramientas didácticas para enseñar la sección de la física de partículas en un contexto motivante y atractivo para estudiantes de grado once, que tenga como fin un aprendizaje más significativo y que conlleve a obtener mejores resultados en las pruebas estandarizadas o exámenes del DP, al final de su último año de escolaridad.

Asimismo, se espera ampliar las investigaciones en este campo, ya que debido a que la física de partículas no es un tema común en los currículos nacionales a nivel mundial, no existe un gran número de exploraciones ni de estrategias didácticas estudiadas. Los trabajos que actualmente se plantean sobre este tema se han desarrollado en su mayoría en Europa y Estados Unidos en donde se ha visto la importancia de incluir la física de partículas en secundaria, no obstante, los trabajos en América Latina son realmente limitados.

En Suramérica, Brasil se ha destacado entre los demás países por su inversión en educación y sus estudios en este campo. Por ejemplo, Rodrigues-Moura (2016), propuso en su estudio llevado a cabo en Belén, municipio del estado de Pará, Brasil, una secuencia didáctica de seis lecciones sobre la introducción de la física moderna y contemporánea en secundaria y además una guía didáctica para los docentes con contenidos, tiempos y herramientas pertinentes. Después de registrar observaciones en lo que llamó el 'Libro del profesor' y de analizar los productos realizados por los estudiantes, encontró nuevos elementos de la alfabetización científica y técnica en el discurso de los estudiantes, lo que respondió positivamente a su pregunta inicial de investigación: ¿Cómo la implementación de una secuencia didáctica en la física de partículas puede estimular la alfabetización científica y técnica?

Por otro lado, Pavlidou & Lazzeroni (2016), en el Reino Unido diseñaron y aplicaron un taller para niños de primaria entre los 8 y 11 años de edad para aprender la física de

partículas. Este contenía actividades como el diseño y la creación de modelos de partículas promoviendo habilidades de pensamiento creativo y juegos con cartas de triunfo, más conocidas como 'trump cards', entre otros. A pesar de no ser una temática obligatoria en primaria, encontraron muy favorable la evaluación y continuaron aplicando el taller en varias escuelas en la sección de primaria. De acuerdo con las autoras, es positivo acercar a los pequeños estudiantes a la ciencia y a los descubrimientos actuales, a partir de este tipo de actividades didácticas.

Por último, se resalta el trabajo de C. Harvey (2013), quien propone la enseñanza de la física de partículas a través del juego para los estudiantes de A -level en las aulas del Reino Unido. Para abarcar los Diagramas de Feynman, a través de las desintegraciones más conocidas, utilizó fichas de lego y –para que los estudiantes memorizaran de manera más interesante las características principales de las partículas– empleó una versión del juego "Adivina quien", que adquirió en la tienda virtual The Particle Zoo. En vez de adivinar un personaje, adivinaba una partícula misteriosa.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

Los estudiantes que cursan física en el DP deben cumplir en los tiempos establecidos temas rigurosos y exigentes como lo son la electricidad y el magnetismo, el movimiento circular y la gravitación; y la física atómica, nuclear y de partículas, entre otros. En su mayoría, los temas planteados por el actual International Baccalaureate (IB) (antes IBO) para este curso preuniversitario coinciden con los estándares propuestos por el Ministerio de Educación Nacional de Colombia (MEN); ahora bien, existen algunos como lo son la física atómica, nuclear y de partículas que no se encuentran dentro de los lineamientos del MEN. Esto tiene varias implicaciones como, por ejemplo, que las universidades en sus pregrados de Licenciatura en Física, ni siquiera contemplan esta preparación disciplinar para los futuros docentes, ni mucho menos las estrategias didácticas para abordarla. Ahora, aunque no se contemple como obligatorio a nivel nacional, ni requisito para las pruebas Saber 11, cada vez más son más los colegios que optan por implementar el Programa del Diploma en sus dos últimos años de secundaria, lo que exige a los docentes que enfrentan este ejercicio tener herramientas y estrategias que permitan abordar temas con tal nivel de abstracción y complejidad.

Asimismo, en las estadísticas anuales que el IB suministra de los resultados de las pruebas estandarizadas –que presentan los estudiantes en su último año– se ha

observado que la física es una de las asignaturas con más bajo rendimiento, al igual que otras temáticas abordadas como lo es la física de partículas. (Organización del Bachillerato Internacional, 2018). Para muchos estudiantes, la física es considerada como una asignatura abstracta y en muchos casos sin sentido, lo cual es el problema que se da cuando no se enseña en un contexto cercano y motivante para el estudiante.

De acuerdo con lo expuesto antes, surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué estrategias didácticas se pueden implementar para el aprendizaje significativo de la física de partículas en estudiantes de grado once?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un módulo didáctico para generar una enseñanza significativa de la física de partículas para estudiantes de grado once del Colegio Tilatá.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar las habilidades disciplinares relacionadas con la física de partículas que deben adquirir los estudiantes, que cursan el programa del diploma.
- Identificar los conocimientos previos de los estudiantes relacionados con las habilidades previamente escogidas.
- Diseñar de seis a siete sesiones retadoras y atractivas para estudiantes de 16 a 18 años, que permitan generar un proceso significativo de enseñanza-aprendizaje de la física de partículas.
- Implementar el módulo didáctico y analizar las percepciones de los estudiantes frente a su proceso de aprendizaje.
- Evaluar el impacto del módulo didáctico con los estudiantes de grado décimo del Colegio Tilatá.

1.3 Justificación

Diferentes países, a lo largo de las últimas décadas, han venido estudiando la posibilidad de incluir en el currículo nacional temáticas nuevas como la física de partículas que “A principios de la década de 1990, el Instituto de Física desarrolló un módulo interesante, que inspiró a los creadores de planes de estudios en varios otros países (IOP/Open University, 1992). Los Países Bajos introdujeron el tema en el plan de estudios preuniversitario nacional, en 1991, después de un proyecto piloto en la década de 1980... Advancing Physics (2001) el Reino Unido tiene un capítulo sólido sobre física de partículas” (Berg & Hoekzema, 2005). Pero, ¿cuáles pueden ser las ventajas de tener estas temáticas en los estándares o programas de Física?

Por un lado, la física que se trabaja hoy en día en muchas instituciones escolares se relaciona con eventos y situaciones del pasado, es decir con sucesos, invenciones y descubrimientos que se cuentan en un capítulo ya cerrado (Passon, Zügge & Grebe-Ellis, 2018). En cambio, la lectura de muchos estudiantes a nivel mundial es que la física de partículas ofrece un estudio actual, conectado con invenciones y tecnología desarrollada en nuestros tiempos. Tecnología que muchas veces ellos mismos usan o adoptan y que genera una aplicación práctica y tangible.

Por otro lado, muchos currículos estandarizados a nivel mundial como lo son los del IBO o el de Cambridge han incorporado en sus guías de Física, la rama de la física de partículas. En el caso del IBO, las temáticas incluyen los tipos de partículas, las leyes de conservación y los Diagramas de Feynman, entre otros, (*Guía de física, primeros exámenes 2016-2019*), mientras que en el caso de Cambridge en A -level están dirigidos a la relación entre las partículas y la radiación (Gourlay, 2018).

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Marco disciplinar

Dentro de este marco que guía el centro de esta investigación, se relacionan los siguientes conceptos:

2.1.1 Contexto histórico del descubrimiento de los componentes del átomo

En el pasado, Demócrito y Leucipo de Mileto, filósofos de la Antigua Grecia, establecieron que la materia estaba conformada por partículas muy pequeñas e indivisibles llamadas átomos. Sin embargo, un poco más de 2000 años después J.J Thomson descubre el electrón y afirma que los átomos sí se pueden dividir en partículas cargadas. Adicionalmente, establece que están formados de una esfera con carga positiva y electrones negativos repartidos por toda su superficie. (Sears et al., 2005).

Más tarde en 1911, el físico británico, Ernest Rutherford, junto a sus estudiantes Hans Geiger y Ernest Marsden descubren el núcleo positivo del átomo a través de su experimento en el cual bombardeaban una lámina de oro con partículas alfa. Este, además de ser muy importante porque sigue refirmando la idea de que el átomo no es indivisible, deja como legado un modelo del átomo con predicciones dimensionales acerca del tamaño del átomo y la comparación con su núcleo, muy cercanas a las hoy en día establecidas. (Tsokos & Farrington, 2016).

En 1930, otro físico inglés, James Chadwick –después de analizar el experimento de Walther Bothe y Herbert Becker– encuentra que las partículas emitidas son eléctricamente neutras, lo cual se convierte en un descubrimiento importante porque termina de descifrar la composición del átomo, con la aparición del neutrón como partícula interna del núcleo. (Sears et al., 2005).

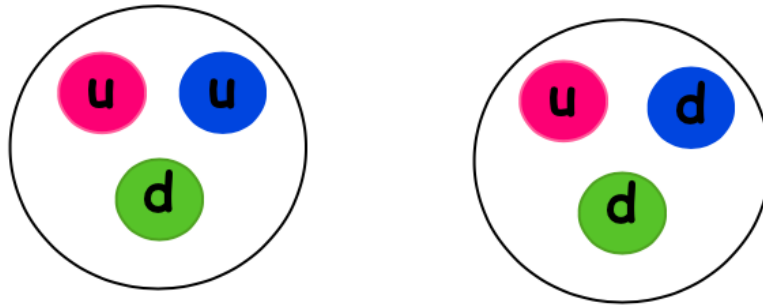
Posteriormente se descubre que los electrones son partículas elementales, mientras que el protón y el neutrón, no; ya que están formados de quarks. De este modo se comienza a abrir el camino al descubrimiento de diversas partículas elementales; es decir, indivisibles.

2.1.2 Partículas elementales y el modelo estándar

Se consideran partículas elementales aquellas indivisibles o que no están compuestas por algún otro componente o elemento, además se afirma que no tienen estructura interna. Los quarks antes mencionados, son clasificados como partículas elementales al igual que los leptones y las partículas mediadoras de fuerza.

Los quarks fueron propuestos por tus físicos trabajando independientemente: Murray Gell-Mann y Georg Zweig. Existen seis tipos de sabores que son up (u), charm (c), y top (t) con carga eléctrica de $\frac{2}{3}e$ y down (d), strange (s) y bottom (b) con carga eléctrica $-\frac{1}{3}e$.

Con el descubrimiento antes referido, se termina de descubrir los principales componentes del átomo, pues se establece que el neutrón y protón están compuestos por tres quarks, siendo el neutrón por (udd) y el protón por (uud). En la imagen siguiente se observa su composición:

Figura 2-1: Protón, p (a la izquierda) y Neutrón, n (a la derecha)

Los leptones están compuestos por seis tipos diferentes, que se clasifican en familias o generaciones. La primera generación o familia es la correspondiente al electrón (e) y su neutrino electrón (ν_e) la segunda compuesta por el muón (μ) y su neutrino muón (ν_μ); y por último la tercera generación formada por el tau (τ) y su neutrino tau (ν_τ). Sears et al., (2005).

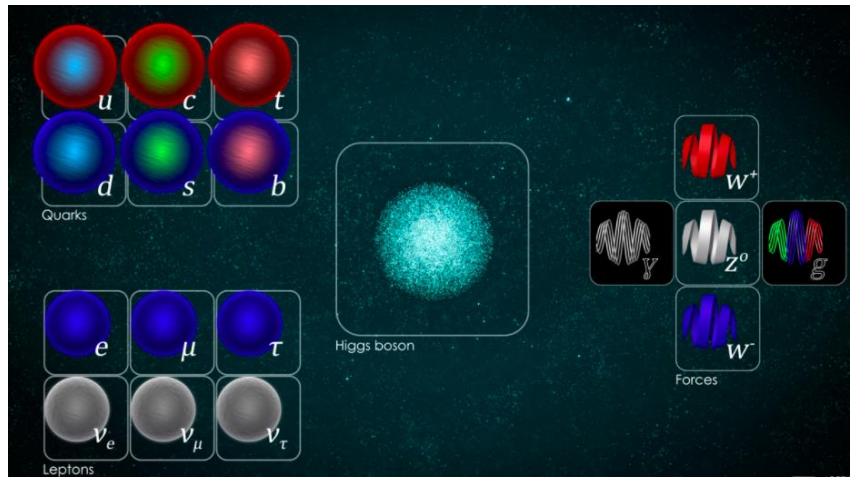
El electrón, el muón y el tau tienen una carga eléctrica de $1e$, mientras que los neutrinos en su totalidad tienen una carga eléctrica nula. (*Physics data booklet*, 2014). Además de la carga eléctrica, los leptones también tienen como característica esencial el número leptónico. Este número cuántico, es particular para la primera generación o la familia de los electrones, para la segunda y de igual modo para la tercera.

Tabla 2-1: Organización de leptones por familia.

| Leptón | L_e | L_μ | L_τ |
|------------|-------|---------|----------|
| e^- | +1 | 0 | 0 |
| ν_e | +1 | 0 | 0 |
| μ^- | 0 | +1 | 0 |
| ν_μ | 0 | +1 | 0 |
| τ^- | 0 | 0 | +1 |
| ν_τ | 0 | 0 | +1 |

Por último, las partículas mediadoras de fuerza, el gluón, el fotón, los bosones W^+ , W^- y Z^0 . Estas, están relacionadas con diferentes tipos de interacciones que serán abordadas más adelante. Sin embargo, cuando estas partículas fueron planteadas, emergieron sin masa alguna, lo cual, sabemos hoy en día es cierto únicamente para el fotón. Para resolver este problema, los físicos teóricos Robert Brout, François Englert y Peter Higgs plantearon que estas partículas al entrar en contacto con el llamado campo de Higgs adquirirían masa como lo harían muchas otras partículas también. Ahora, como todos los campos fundamentales que conocemos, el campo de Higgs tiene una partícula asociada llamada Bosón de Higgs, la cual es la manifestación visible de este campo. Fue descubierta experimentalmente en la Organización Europea para la Investigación Nuclear, con sede en Ginebra (Suiza), más conocida por la sigla CERN, en el año 2012, a través de los experimentos ATLAS y CMS en el gran colisionador de hadrones. (*The Higgs boson, 2021*).

Con este último experimento se completa el llamado Modelo Estándar de partículas elementales. Ha tenido gran importancia en la historia de la ciencia y de la física porque las partículas que lo forman son los llamados 'bloques' que forman toda la materia en el universo. (*CERN and the rise of the Standard Model, 2021*)

Figura 2-2: Partículas del Modelo Estándar de física de partículas.

Fuente: Daniel Domínguez/CERN.

2.1.3. Antimateria

En 1930 Paul Dirac, también un físico y matemático inglés –mediante diferentes estudios y experimentos– introduce la posibilidad de la existencia de una carga neta positiva como la ausencia de un electrón en el llamado mar de electrones. Aunque inicialmente Dirac pensó que estas partículas con carga y energía positiva eran protones, su teoría fue rápidamente derrumbada, debido a que la masa de esta partícula era similar o igual a la del electrón; es decir 2000 veces más liviana que el protón. (Griffiths, D., 2011). Más tarde, en 1932, el estadounidense Carl David Anderson, con ayuda de una cámara de niebla, descubre el positrón y resuelve la predicción teórica de Paul Dirac. Durante su experimento, logra percibir cómo, en presencia de un campo magnético, la partícula positiva se mueve en dirección contraria a lo que se esperaba. Este hecho fue de real importancia, pues gracias a esto se establece la existencia de antimateria en el universo.

La antimateria o las antipartículas tienen la misma masa que sus correspondientes partículas, pero todos sus números cuánticos opuestos. Por ejemplo, en el caso del electrón y su correspondiente antipartícula el positrón, se ha demostrado que son iguales en tamaño y masa, pero mientras el electrón tiene carga negativa y positrón tiene positiva.

En el caso del modelo estándar tanto los quarks como los leptones tienen su correspondiente antipartícula, o sea una partícula idéntica, pero con carga opuesta.

2.1.4. Hadrones, bariones y mesones

Cuando los quarks se combinan de dos maneras específicas, forman otras partículas llamadas hadrones. “Un hadrón es una partícula hecha de quarks” (Tsokos & Farrington, 2016). En el caso de combinar tres tipos de quarks, se formará un barión. Análogamente, cuando tenemos tres antiquarks encontraremos la formación de un antibarión. Cuando tenemos un quark y un antiquark juntos, estos formarán el llamado mesón.

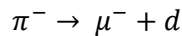
Un protón y un neutrón son ejemplos de bariones, mientras que un pión compuesto de un quark up (u) y un antiquark down (\bar{d}), es considerado un mesón.

Al igual que los leptones, los quarks también poseen una característica especial, llamada número bariónico. Todos los quarks tienen un número bariónico de $\frac{1}{3}$, así que de esta manera los bariones tienen un número bariónico total de 1 y los mesones de 0. (Tsokos & Farrington, 2016).

En cualquier reacción tanto la carga como el número bariónico y el número leptónico se deben conservar. De esta forma se establecen las llamadas leyes de conservación.

2.1.5. Las leyes de conservación

Las leyes de conservación que se deben cumplir en una reacción son cuatro; de lo contrario no será teórica ni experimentalmente posible que esta se dé. La primera se refiere a la conservación del número bariónico, nombrado anteriormente. Por ejemplo, en la siguiente reacción se observa que el número bariónico no por su parte se conserva:

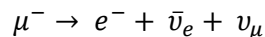


El pión negativo, considerado mesón debido a que está compuesto por un quark y un anti quark ($d\bar{u}$), lo cual es equivalente a un número bariónico de cero, debido a que el quark tiene un número bariónico de $1/3$ y el antiquark de $-1/3$. Al otro lado de la ecuación, se observa un muón que al ser de la familia de los leptones tiene un número bariónico de cero y un quark down que tiene un número bariónico de $1/3$. De esta manera se puede analizar que:

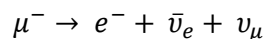
$$0 \neq \frac{1}{3}$$

Y por lo mismo, al no cumplir con una igualdad, no se conserva, y no será una desintegración posible.

Respecto a la segunda ley de conservación, con referencia al número leptónico, podemos observar a continuación como en este caso sí se conserva:



En vista de que en este caso se debe analizar el número leptónico por familia, es conveniente hacerlo de la siguiente manera:



$$L_e \quad 0 = 1 + (-1) + 0$$

$$L_\mu \quad 1 = 0 + 0 + 1$$

$$L_\tau \quad 0 = 0 + 0 + 0$$

De esta forma:

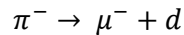
$$L_e \quad 0 = 0$$

$$L_\mu \quad 1 = 1$$

$$L_\tau \quad 0 = 0$$

Lo cual indica que el número leptónico se cumple en todos los casos y de esta manera podemos afirmar que la ley se conserva.

La tercera ley se refiere a la conservación de la carga eléctrica, que, al igual que las dos mencionadas anteriormente, debe cumplirse a través de una igualdad. Si se analiza de nuevo esta reacción:



Se encontrará que:

$$-\frac{1}{3}e + \left(-\frac{2}{3}e\right) = -1 + \left(-\frac{1}{3}e\right)$$

$$-\frac{3}{3}e \neq -\frac{4}{3}e$$

Por lo tanto, se puede afirmar que la carga no se conserva, por lo que no es posible la reacción.

Por último, la ley de conservación de la extrañeza, característica que poseen únicamente los quarks extraños (s). Estos se caracterizan por tener una extrañeza de (-1) mientras que los demás quarks, tienen una extrañeza de cero. En el caso del antistrange, su extrañeza

es la contraria (+1). En la siguiente reacción se puede observar como esta característica no se conserva:

$$\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$$

$$uds \rightarrow uud + d\bar{u}$$

$$s \rightarrow -1 \neq 0 + 0$$

Por consiguiente, la cuarta ley de conservación en el anterior planteamiento, no se cumple, por lo cual la reacción que se plantea no es posible.

2.1.6. Fuerzas fundamentales de la naturaleza

“Una fuerza fundamental es aquella que no puede ser explicada mediante otra fuerza” (Kirk & Hodgson, 2012). Existen cuatro fuerzas fundamentales, la fuerza electromagnética, la fuerza nuclear débil, la fuerza nuclear fuerte y la fuerza de gravedad. Todas cuentan con un rango e intensidad diferente e interactúan bajo diferentes circunstancias.

La fuerza nuclear fuerte, la cual es principalmente atractiva, actúa en protones y neutrones con el fin de mantenerlos unidos dentro del núcleo del átomo. Su rango de alcance $10^{-15}m$. Para analizar su intensidad, al ser esta la de mayor magnitud, suele expresarse como del orden de magnitud de 1. La fuerza electromagnética, interactúa entre partículas que tengan carga eléctrica, tiene un rango infinito y está dada por la Ley de Coulomb. Con referencia a su magnitud comparada con la nuclear fuerte, tiene un orden de magnitud de 10^{-2} . La fuerza nuclear débil actúa en protones, neutrones, electrones y neutrinos para generar una desintegración beta. Tiene un rango de $10^{-18}m$ y un orden de magnitud de 10^{-6} . Por último, la fuerza de gravedad corresponde a la fuerza de atracción entre masas. Tiene un rango infinito y un orden de magnitud con respecto a la más fuerte de 10^{-39} . (Tsokos & Farrington 2016)

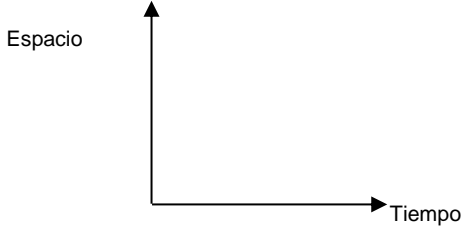



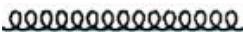
“Tres de las fuerzas fundamentales resultan del intercambio de partículas portadoras de fuerza, que pertenecen a un grupo más amplio llamado ‘bosones’. Las partículas de materia transfieren cantidades discretas de energía intercambiando bosones entre sí”. (*The Standard Model, 2021*)

2.1.7. Diagramas de Feynman

En 1950, el físico estadounidense Richard Feynman introduce una forma de representación gráfica para analizar y observar las interacciones de las partículas de una manera diferente. Estas representaciones son llamadas comúnmente Diagramas de Feynman e involucran las partículas portadoras de fuerza o mediadoras (Tsokos & Farrington, 2016).

Para poder generar estas representaciones hay que tener en cuenta ciertas características:

Tabla 2-2: Características principales de los Diagramas de Feynman

| Característica | Representación gráfica |
|--|---|
| Los ejes x y y representan el tiempo y el espacio, respectivamente. En algunos textos pueden analizarse de manera invertida. Los ejes no suelen hacerse visibles, pero es determinante tenerlos en cuenta. |  |
| Las partículas como los quarks o los leptones se representan usualmente por medio de una línea con una flecha en la mitad. |  |
| Las antipartículas se representan de la misma manera que las partículas antes señaladas, pero con la flecha invertida. |  |
| Los fotones y los bosones W y Z se representan por medio de una línea ondulada. |  |
| Los gluones se representan por medio de una línea en espiral. |  |

2.2 Marco pedagógico o didáctico

Dentro de marco disciplinar que guía el centro de esta investigación están los siguientes conceptos:

2.2.1. Constructivismo:

El constructivismo es considerado un principio, metodología o enfoque muy utilizado hoy en día en la educación. Diversos autores han definido esta corriente pedagógica de distintas maneras. De acuerdo con Reátegui (1996), citado en Coloma y Tafur, (1999), el constructivismo "es un movimiento pedagógico contemporáneo que se opone a concebir el aprendizaje como receptivo y pasivo, considerándolo, más como una actividad organizadora compleja del alumno que elabora sus conocimientos propuestos, a partir de revisiones, selecciones, transformaciones y reestructuraciones".

A su vez, Muhajirah, M. (2020) afirma que:

“El constructivismo parte de la creencia de que el conocimiento es un proceso de formación que continúa desarrollándose y cambiando. La educación es siempre el resultado de la construcción cognitiva de la realidad a través de las propias actividades. La experiencia no está garantizada ni fija, sino más bien un proceso de conocimiento. La esencia de la teoría del constructivismo es la idea de que los estudiantes deben encontrar y transformar información compleja en otras situaciones y, si lo desean, esa información se convierte en la suya”.

Y aunque existen cientos de definiciones más, resaltamos por último la que converge mejor, a la realidad de la presente investigación:

“El constructivismo es un método de aprendizaje en el que el papel del maestro es guiar a los estudiantes en la construcción de su propio conocimiento. La idea fundamental de este enfoque centrado en el alumno es que los profesores proporcionan a los alumnos los medios para crear su propio conocimiento a través de experiencias” (Charles, 2013).

Del constructivismo a su vez, se han generado diferentes ramificaciones en concordancia con los autores que lo han estudiado y desarrollado. Sin embargo, aunque haya diversos enfoques, en este trabajo destacaremos dos de los principales: el constructivismo cognitivo y el constructivismo sociocultural.

El primero antes nombrado, fue desarrollado por Jean Piaget, biólogo y epistemólogo suizo nacido en 1896, quien es reconocido como el padre del constructivismo debido a sus grandes ideas y aportes en este campo. El constructivismo cognitivo, también conocido como evolucionista ya que considera al individuo como un ser que va madurando procesos de acuerdo con su crecimiento físico y psicológico, contempla la construcción de conocimiento de manera individual y activa. Piaget establece que esta construcción tiene lugar en la mente bajo la referencia de las ideas previas o en relación con las imágenes o representaciones allí almacenadas. De esta manera la información nueva se relaciona con las representaciones preexistentes generando como resultado la modificación o reorganización de la información (Serrano y Pons, 2011).

Luego se da paso al proceso de acomodación que, según Ortiz Granja, (2015) se refiere a “lo que sucede con los aspectos asimilados: son integrados en la red cognitiva del sujeto, contribuyen a la construcción de nuevas estructuras de pensamientos e ideas; que, a su vez, favorecen una mejor adaptación al medio”. Aunque para Piaget el proceso sea individual, se reconoce al otro como mediador o guía en esa formación.

Ahora, en lo que respecta al constructivismo sociocultural, fue desarrollado y planteado por el psicólogo ruso Lev Semiónovich Vygotski nacido en 1896. Este enfoque plantea, contrario al cognitivo, la necesidad de construir el conocimiento como resultado de una interacción social teniendo en cuenta el aporte del contexto cultural. Según Serrano y Pons (2011), “el constructivismo sociocultural propone a una persona que construye significados actuando en un entorno estructurado e interactuando con otras personas de forma intencional”. Vygotski además propone el concepto llamado *Zona de desarrollo próximo*, el cual se refiere al momento, espacio o zona en que el profesor puede guiar la construcción del aprendizaje del estudiante a partir de interacciones sociales. De esta manera el profesor adquiere importancia como ente generador del correcto andamiaje para incrementar así, el desarrollo cognitivo personal (Tünnermann Bernheim, 2011).

Tanto el enfoque de Piaget como el de Vigotski, vistos como únicos, pueden generar posturas radicales y perjudiciales para cualquier individuo, pues hoy en día la construcción de conocimiento en las aulas de clase se genera tanto a nivel individual como a consecuencia de la interacción con la sociedad. Desde el punto de vista de esta investigación, las propuestas didácticas desarrolladas se construyen sobre la base de la unión y combinación de los dos enfoques antes mencionados, para de esta manera en – función de actividades centradas en el estudiante– lograr un aprendizaje significativo en los estudiantes.

2.2.2. Aprendizaje centrado en el estudiante

En el enfoque constructivista, una de metodologías más aceptadas y utilizadas es la asociada a un aprendizaje centrado en el estudiante. “...está basado en teorías constructivistas del aprendizaje con la idea de que los aprendices deben construir y reconstruir el conocimiento para aprender de forma efectiva” (Delgado Martínez, 2019). Desde décadas atrás se ha visto la necesidad de un modelo de clase y enseñanza diferente que no contemple al docente como único transmisor y dueño del conocimiento, que tenga en cuenta los intereses de los estudiantes y los conocimientos previos bajo un

contexto realmente enganchador y atractivo. Según Cukierman (2018) "...el foco está puesto en lo que el estudiante hace para aprender y el profesor es el guía o 'facilitador' ya que, desde su conocimiento y experiencia, tanto de su papel docente como de la disciplina de que se trate, configura las estrategias y acciones necesarias para que sea el alumno el que construya el conocimiento". Sin embargo, este papel como facilitador es flexible dando mayor o menor protagonismo a los estudiantes.

En relación con la escuela de artes escénicas Colburn School (2000), citada en la International Baccalaureate Organization (2007), el aprendizaje centrado en el estudiante puede ir desde un aprendizaje estructurado hasta uno completamente abierto. De esta manera, en el aprendizaje centrado en el estudiante estructurado, el profesor es una guía o facilitador del proceso a través de un camino prescrito, mientras que en el modelo abierto el profesor es un simple observador a medida que los estudiantes se hacen cargo de su propia construcción de conocimiento. Ahora, en el punto medio –o aprendizaje centrado en el estudiante guiado– se proponen mayores responsabilidades compartidas tanto de parte del profesor como de los estudiantes. Es preciso resaltar que en cualquiera de los modelos antes descritos no debe haber una libertad absoluta para el estudiante, pues siempre será el profesor quien guíe el proceso y de esta manera verifique que se consigan y logren los objetivos principales planteados inicialmente. Es por ello que, es válido clarificar el papel tanto del estudiante como del profesor o docente.

El rol del docente, aparte de ser un facilitador o guía como ya se ha comentado, es un motivador que promueve los espacios adecuados para envolver a los estudiantes como ingenieros de sus propias bases de conocimiento. El profesor puede involucrarse de manera individual o colaborativa, según sea la necesidad de cada individuo. Además, el docente se centra en cuestionar, disciplinar, orientar, aclarar, sugerir, monitorear constantemente para que puedan aprender de manera correcta sin desviar su proceso (Singh, 2011).

Por su lado, el rol del estudiante es dinámico, enérgico y supremamente participativo. Haciendo alusión a una metáfora, el estudiante debe firmar un contrato respecto al compromiso en su desarrollo y construcción de su propio conocimiento. En algunas ocasiones este cambio de mentalidad o metodología por parte de los educandos no es

fácil, pues para muchos puede ser más cómodo solo estar sentado escuchando información que moviéndose entre diferentes actividades que promuevan su desarrollo. Conforme con J. H. Brophy, (1999, p.49), citado en Serin (2018), los estudiantes desempeñan un papel activo en el proceso de aprendizaje al tratar de “dar sentido a lo que están aprendiendo, relacionándolo con conocimientos previos y discutiéndolo con otros”. Para redondear estos razonamientos, es primordial conocer los principios que rigen el ACE.

Existen diversos planteamientos de los principios que fundamentan el ACE, según el contexto o el autor. Estos pueden escribirse de diferentes maneras, sin dejar la esencia de esta metodología de lado. A continuación, se nombrarán algunos.

Basándose en el sistema de la Fundación de Educación Nellie Mae (2015), los principios son:

1. **El aprendizaje es personalizado:** Los docentes deben conocer a sus estudiantes y ser capaces de reconocer las mejores formas en que cada uno aprende, el ritmo al que va cada uno, sus mayores fortalezas, así como sus oportunidades de mejora.
2. **Los estudiantes toman el liderazgo de su propio aprendizaje:** ACE involucra directamente a los estudiantes en su propio éxito e incorpora sus intereses y habilidades en el proceso de aprendizaje. Los estudiantes apoyan el progreso de los demás y celebran los éxitos.
3. **El aprendizaje se basa en las competencias:** El progreso y el aprendizaje de los estudiantes se basan en las habilidades y en las competencias que ellos van adquiriendo y no en cubrir una lista interminable de temas o contenidos.
4. **El aprendizaje sucede en cualquier momento en cualquier lugar:** El aprendizaje no solo sucede en un salón de clases, o a lo largo del año escolar. Este puede construirse en cualquier momento del día, en cualquier contexto o en cualquier lugar.

De otra parte, para el Proyecto T4SCL (*Time for a New Paradigm in Education: Student-Centred Learning*), de la Unión Europea, citado en Cukierman (2018), los principios son:

1. El ACE requiere un proceso de reflexión continuo.
2. El ACE no tiene una única solución para todos los casos.
3. Los estudiantes tienen diversos estilos de aprendizaje.
4. Los estudiantes tienen diferentes necesidades e intereses.
5. La posibilidad de elección es central para un aprendizaje efectivo en el ACE.
6. Los estudiantes tienen diferentes experiencias y conocimientos previos.
7. Los estudiantes deben ejercer control sobre su aprendizaje.
8. El ACE es acerca de ‘habilitar’ en lugar de ‘contar’.
9. El aprendizaje necesita la colaboración entre estudiantes y docentes.

Ahora, con relación a las prácticas, los modelos o las estrategias más utilizadas, se puede encontrar una gran gama. Usualmente, la actividad o estrategia que se decida desarrollar dependerá de factores como la edad, la forma de aprendizaje, el conocimiento que se quiere impartir entre otros. partea su turno, Rodríguez Henao, (2018) en su investigación para la enseñanza de los conceptos relacionados con la ingeniería en un curso universitario, utiliza la discusión entre pares, con base en la generación de preguntas usando diversos recursos en línea como *socrative*, *poll everywhere* o *kahoot*. De igual forma, el aprendizaje invertido como estrategia es primordial, pidiéndole a sus estudiantes que estudien previamente a la clase determinado material. Los debates del mismo modo son utilizados en sus clases, planteando hipótesis contradictorias sobre un tema y, por último, la rutina de pensamiento P-D-C (pensar, discutir y compartir).

Por otro lado, Ebner & Holzinger (2007), en su investigación sobre la implementación de un juego en línea como medio para adquirir conocimiento, plantean la posibilidad del aprendizaje basado en problemas como una estrategia centrada en el estudiante y, a su vez, la comparan con el aprendizaje fundamentado en el juego, pues afirman que estos guardan características similares. “Los juegos incluyen muchas características de resolución de problemas; es decir, un resultado desconocido, múltiples caminos hacia una meta, construcción de un contexto de problema, colaboración en el caso de múltiples jugadores, etc., y añaden los elementos de competición y azar (Ebner & Holzinger, 2007).

2.2.3. Aprendizaje basado en el juego y la gamificación:

- **Aspectos comunes:**

El aprendizaje basado en juegos (ABJ) y la gamificación son metodologías similares que guardan algunas características en común y de hecho que se complementan. Asimismo, se puede afirmar que "...persiguen un mismo objetivo: convertir al estudiante en protagonista de su aprendizaje con el docente como guía". (*¿En qué se diferencian la gamificación y el Aprendizaje Basado en Juegos?*, 2021). De acuerdo con Falguera, (2020), "cambia el paradigma más tradicional donde entendemos que el profesor es el centro de conocimiento y que transmite ese conocimiento y el alumno es un mero receptor de esos contenidos".

Es conveniente advertir que, tanto en el aprendizaje basado en el juego como en la gamificación, se resalta la emoción como sentimiento principal, lo que promueve una conexión natural y un aprendizaje realmente significativo y perdurable. Según Logatt Grabner (2016) "para que un recuerdo se consolide en nuestra memoria necesita de algo fundamental: estar asociado a una emoción"; de igual manera, Rosler (2016) afirma que "cuando la Amígdala cerebral detecta una emoción potencia la actividad de las áreas relacionadas con la formación de memorias".

Otra de las virtudes relevantes que tiene esta metodología, es la retroalimentación permanente, ya que en los juegos continuamente se comprueban y se verifican los procesos que se llevan a cabo de acuerdo con el diseño de cada actividad o cada fase. Según Falguera (2020), "el juego transmite constantemente *feedback* a los alumnos, si están haciendo las cosas bien, si están haciendo las cosas mal, cómo van en comparación con sus compañeros".

Referente a las habilidades, es claro que, a través del juego, los estudiantes desarrollan y promueven diversos tipos. Por ejemplo, comienza de las habilidades que más sobresalen, son las relacionadas a los aspectos sociales, pues dentro de estas metodologías se plantea la negociación, la escucha activa, la colaboración, la empatía, el liderazgo, entre otros. De igual manera, las habilidades afectivas juegan un papel importante como lo son

la perseverancia, la automotivación, la resiliencia y la gestión emocional. Por último, las habilidades de comunicación y pensamiento pueden llegar a ser protagonistas también (*Programa de los Años Intermedios: de los principios a la práctica, 2014*).

De esta manera se puede afirmar, que, con un buen diseño de cualquier juego o actividad, se podrían promover y desarrollar en cualquier estudiante diversas actividades. Todo depende siempre de cuál sea el objetivo principal y el fin que cada uno de estos pueda tener.

- **Diferencias:**

Aunque el ABJ y la gamificación se alimentan de lo mismo, tienen también diferencias significativas que resaltar. El aprendizaje basado en el juego se da a través de una actividad que tiene un inicio y un fin. Los jugadores participan durante un periodo de tiempo, desarrollando diversas habilidades hasta que el juego se acaba. Es posible que haya varias partidas, pero de nuevo tendrán un final. (Falguera, 2020).

Por otro lado, en la gamificación se pueden entrelazar diferentes experiencias que, basadas en juegos, se unen para conectar a las personas, los estudiantes o los profesionales involucrados. Existen diversas definiciones de gamificación o tantas como expertos en el mundo. (Velásquez, 2016). Sin embargo, en consonancia con Ramírez (2014) citado en Gallego et al., (2014) se podría afirmar que "gamificar es aplicar estrategias (pensamientos y mecánicas) de juegos en contextos no jugables, ajenos a los juegos, con el fin de que las personas adopten ciertos comportamientos". Asimismo, Marín y Hierro (2013) citado en Gallego et al., (2014) afirman que:

"La gamificación es una técnica, un método y una estrategia a la vez. Parte del conocimiento de los elementos que hacen atractivos a los juegos e identifica, dentro de una actividad, tarea o un mensaje determinado, en un entorno de NO-juego, aquellos aspectos susceptibles de ser convertidos en juego o dinámicas lúdicas. Todo ello para conseguir una vinculación especial con los usuarios, incentivar un cambio de comportamiento o transmitir un mensaje o contenido. Esto es, crear una experiencia significativa y motivadora".

Actualmente, la gamificación se ha convertido en una metodología muy utilizada en diversos campos, no solo en la educación inicial, básica y media, sino también en la educación superior y en el ámbito profesional o empresarial. Por ser una estrategia o metodología de aprendizaje activo se considera asimismo centrada en el estudiante, ya que los participantes son los protagonistas de su propio aprendizaje. Cuando las actividades están bien diseñadas, los jugadores entran en el llamado círculo mágico. "Un círculo mágico sería la condición en que se encuentran las personas al jugar; es decir, la creación de un mundo propio con sus propias reglas que el jugador acata. Así, cuanto mejor sea un juego, mejor será la calidad de la creación de este círculo mágico y mayor será el enganche del jugador al juego" (Gimeno, 2017). En educación cuando este círculo mágico se da, se puede afirmar que hay más probabilidad de generar un aprendizaje real, perdurable y significativo.

2.2.4. Aprendizaje significativo:

El aprendizaje significativo es un concepto que se escucha y se usa cotidianamente en diversos campos y lugares del mundo. Está conectado directamente con la corriente constructivista, pues se plantea que para que se dé, el aprendizaje debe ser centrado en el estudiante donde este último debe ser el protagonista y el docente únicamente lo guía. "Para el constructivismo, el conocimiento es una interacción entre la nueva información

que se presenta y el conocimiento previo, lo que ya sabemos; aprender es construir modelos para interpretar la información que recibimos del exterior, e interiorizarla de forma significativa; es decir, produciéndose una construcción dinámica del conocimiento” (López García, 2018).

Ahora, las ideas previas se comportan como un anclaje para formar, construir y elaborar este nuevo conocimiento, de manera que pueda ser perdurable y trascendental. De acuerdo con Moreira M. (2012), el psicólogo y pedagogo estadounidense David Ausubel – considerado el precursor del aprendizaje significativo– lo llamaba subsunsores o ideas ancla, jugando un papel primordial como concepto, símbolo, imagen, modelo mental ya establecido que permite darle significado a un nuevo conocimiento.

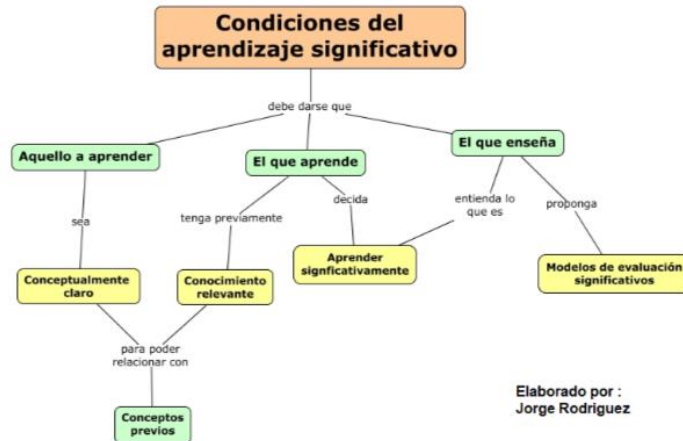
Es oportuno resaltar, que este subsunsores no es fijo, en otras palabras, es dinámico, pues puede nutrirse constantemente de los nuevos conocimientos adquiridos, evolucionando y volviéndose cada vez más apropiado para dar lugar a nuevos aprendizajes.

Hay que tener en cuenta, que, cabe la posibilidad que no exista un eventual anclaje o subsunsores previo a lo que pretendemos que el estudiante aprenda. En este caso, Moreira M. (2012) recomienda el uso de organizadores previos, los cuales al tener el mismo nivel de abstracción pueden ser similares al material que se va a aprender. Por consiguiente, puede ser un enunciado, una lectura, una situación problema, una película, entre otros; lo único es que debe ser más amplio e inclusivo para que cumpla el objetivo de volverse el subsunsores idea o ancla del nuevo conocimiento. Sin embargo, estos organizadores previos no siempre son efectivos, por lo cual se recomienda dar prioridad a generar el anclaje previo de forma más extensa y adecuada, generando el subsunsores indicado, que permita conectar y fijar las nuevas con las previas de manera más auténtica.

El aprendizaje significativo no necesariamente es para siempre como se ha afirmado en algunos casos, pues es posible que, al no usar ciertos conocimientos de manera constante, estos se inactiven. Sin embargo, a comparación del aprendizaje mecánico, cuando ha existido aprendizaje significativo, reactivarlo o reaprenderlo, implicará menos tiempo y esfuerzo; en cambio el aprendizaje mecánico no permitirá generar subsensores que permitan fijar o reactivar de manera simple un proceso o conocimiento. En el caso del aprendizaje mecánico deberemos empezar de nuevo por elaborar los correspondientes subsensores. (Moreira M., 2012).

Para concluir, es fundamental tener en cuenta que para que se cumpla realmente un proceso de aprendizaje significativo deben estar presentes ciertas condiciones como las evidenciadas en el siguiente diagrama desarrollado por Rodríguez Henao, (2018):

Figura 2-3: Condiciones necesarias para un aprendizaje significativo



Fuente: Jorge Rodríguez.

2.3 Marco curricular

Desde sus orígenes, el ser humano ha tratado de generar interconexiones con sus semejantes a través de intercambios en los mercados, las conexiones políticas o sociales. En las últimas décadas, la globalización se ha incrementado en un alto porcentaje, gracias a los avances tecnológicos que han permitido eliminar barreras y unir fronteras. Una de las grandes consecuencias que esto ha generado, es que se pueda cambiar de país, de trabajo y de vivienda de manera constante y repentina, lo cual obliga a movilizar familias enteras entre culturas, sociedades y tradiciones diferentes.

Una de las preocupaciones más grandes que han tenido padres de estudiantes con este tipo de movilidad internacional, ha sido que sus hijos puedan acoplarse rápidamente al estilo de educación y a los estándares de los diferentes países, por lo cual han surgido a lo largo del tiempo organizaciones que establecen currículos estandarizados y que se han ido posicionando cada vez en más países en todo el mundo. Dos de las más conocidas y ampliamente aprobadas no solo por varias instituciones de educación primaria, media y alta con el paso del tiempo han sido Cambridge Assessment y la Organización del Bachillerato Internacional (IBO).

“La Universidad de Cambridge formó el *Local Examinations Syndicate*, ahora conocido como Cambridge Assessment, hace más de 150 años. Su objetivo era elevar los estándares en educación mediante la administración de exámenes para personas que no eran miembros de la Universidad y la inspección de escuelas”. (*Our history*, 2021). Hoy en día se encuentra en diversas instituciones en alrededor de 160 países, que siguen el currículo propuesto y presentan los exámenes estandarizados estipulados.

En cuanto a la Organización del Bachillerato Internacional (IBO), (organización que establece el currículo bajo el cual se guiará esta investigación), esta fundación surge en 1968 en Ginebra, Suiza, debido a la necesidad de generar estándares comunes referentes

a las temáticas y formas de evaluar en distintos rincones del mundo. El primer programa que se establece es el programa del diploma (PD), dirigido a estudiantes de 16 a 19 años con tres principios fundamentales; proporcionar una perspectiva que promueva el entendimiento internacional y de esta manera forme a los estudiantes como ciudadanos del mundo que sean capaces de contribuir a un mundo más pacífico; proporcionar un diploma que sea reconocido por diferentes instituciones de educación superior con planes de estudio y exámenes comunes; y por último promover las habilidades de pensamiento crítico en vez de aprendizaje memorístico fundamentado en un equilibrio entre las diferentes áreas del conocimiento. (Hill, 2003).

En 1980, la International Schools Association Conference (ISAC) en la ciudad de Moshi (Tanzania), recomienda tener un prediploma o un programa que preparará de manera adecuada a los estudiantes. Este, aunque tarda en desarrollarse, se lanza en el año de 1994 con el nombre de programa de años intermedios (PAI), enfocado para niños de 11 a 16 años. Y, finalmente en 1990 se discute por primera vez la posibilidad de completar el continuo de formación en ECIS (European Council of International Schools) conferencia en Roma (Italia), acudiendo a la necesidad de un programa para los más pequeños, de 3 a 12 años de edad. A este se le llamó el programa de los años primarios (PEP) y fue introducido por primera vez en 1997 (International Baccalaureate Organization, 2017).

Al paso del tiempo los tres programas fueron evolucionando, incluyendo más asignaturas y actualizando sus principios de enseñanza-aprendizaje conforme a las necesidades actuales. Hoy en día el IB se encuentra en más de 5300 colegios alrededor de 160 países del mundo y se imparte en tres idiomas oficiales, inglés, francés y español. (*Datos y cifras*, 2019). En Colombia está presente en 49 colegios aprobados y alrededor de 10 más están en proceso de ser autorizados (*Find an IB World School*, 2021).

Como se señaló anteriormente, el marco curricular que se ha tenido como referencia para esta investigación es el que propone el IB para el PD. En el programa del Diploma, la enseñanza y el aprendizaje se organizan mediante seis grupos de asignaturas, cuya base

es el tronco común: estudios de lengua y literatura, adquisición de lenguas, individuos y sociedades, Ciencias, Matemáticas y Artes. En las Ciencias, el DP ofrece diferentes opciones para que los colegios ofrezcan a sus estudiantes: Física, Química, Biología, Ciencias del Deporte, el ejercicio y la salud, Informática, Sistemas ambientales y Sociedades y Tecnología del diseño. (Organización del Bachillerato Internacional, 2015). Debido a que la investigación se realizará en la clase de Física, particularmente en el campo de la física de partículas, se ha observado con detenimiento el currículo que se debe enseñar y aplicar. A continuación, se observa en la Tabla 2.3 el resumen del currículo de Física que presentan el PD para estudiantes de 16 a 19 años. En la Tabla 2.4 se constata los contenidos y las habilidades a desarrollar con los estudiantes, relativos a temas de la física de partículas.

Tabla 2-3: Resumen del currículo propuesto por el IB (Organización del Bachillerato Internacional, 2015).

| Componente del programa | Horas lectivas recomendadas | |
|--|-----------------------------|------------|
| | NM | NS |
| Temas troncales | 95 | |
| 1. Mediciones e incertidumbres | 5 | |
| 2. Mecánica | 22 | |
| 3. Física térmica | 11 | |
| 4. Ondas | 15 | |
| 5. Electricidad y magnetismo | 15 | |
| 6. Movimiento circular y gravitación | 5 | |
| 7. Física atómica, nuclear y de partículas | 14 | |
| 8. Producción de energía | 8 | |
| Temas adicionales del Nivel Superior (TANS) | | 60 |
| 9. Fenómenos ondulatorios | | 17 |
| 10. Campos | | 11 |
| 11. Inducción electromagnética | | 16 |
| 12. Física cuántica y nuclear | | 16 |
| Opciones | 15 | 25 |
| A. Relatividad | 15 | 25 |
| B. Física para ingeniería | 15 | 25 |
| C. Toma de imágenes | 15 | 25 |
| D. Astrofísica | 15 | 25 |
| Plan de trabajos prácticos | 40 | 60 |
| Trabajos prácticos | 20 | 40 |
| Investigación individual (evaluación interna) | 10 | 10 |
| Proyecto del Grupo 4 | 10 | 10 |
| Total de horas lectivas | 150 | 240 |

Tabla 2-4: Contenidos y habilidades curriculares que se buscarán desarrollar a través de esta investigación.

| Contenidos | Habilidades |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Quarks, leptones y sus antipartículas.• Hadrones, bariones y mesones.• Las leyes de conservación de la carga, el número bariónico, el número leptónico y la extrañeza.• La naturaleza y el alcance de la fuerza nuclear fuerte, de la fuerza nuclear débil y de la fuerza electromagnética.• Partículas de intercambio.• Diagramas de Feynman.• El bosón de Higgs. | <ul style="list-style-type: none">• Aplicar las leyes de conservación en reacciones de partículas.• Describir los protones y los neutrones en función de los quarks.• Comparar las intensidades de interacción de las fuerzas fundamentales, incluida la gravedad.• Describir la actuación de las fuerzas fundamentales a través de partículas de intercambio.• Dibujar aproximadamente e interpretar diagramas sencillos de Feynman.• Describir por qué no se observan quarks libres. |

3. Diseño metodológico

La investigación ha sido un proceso que ha acompañado a la humanidad durante toda su existencia y subsistencia. Sin embargo, generar una investigación de manera adecuada, requiere un diseño correcto y apropiado.

De acuerdo con Walliman, Nicholas & Baiche (2001): “Un diseño de investigación no es solo un plan de trabajo. Un plan de trabajo detalla lo que se debe hacer para completar el proyecto, pero el plan de trabajo se derivará del diseño de investigación del proyecto. La función de un diseño de investigación es asegurar que la evidencia obtenida nos permita responder a la pregunta inicial de la manera más inequívoca posible”.

Esta investigación está centrada en comprender qué estrategias didácticas pueden ser usadas para que haya un interés por parte de los estudiantes hacia la exploración, la enseñanza y el aprendizaje de los aspectos más básicos de la física de partículas. Asimismo, se pretende analizar si estas estrategias didácticas, aplicadas, originan un aprendizaje significativo en ellos o no. Y para ese objetivo debemos obtener evidencia significativa, especificar el tipo y responder la pregunta de investigación.

Para llevar a cabo esta investigación se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

3.1 Pregunta de investigación

¿Qué estrategias didácticas se pueden implementar para el aprendizaje significativo de la física de partículas en estudiantes de grado once?

3.2 Tipo de estudio

El tipo de estudio que se llevó a cabo para poder responder, tanto a la pregunta de investigación como a la posibilidad de cumplir los objetivos, es investigación-acción. La investigación acción la han definido varios autores, Hopkins resalta la importancia de combinar la acción y la investigación para hacer una investigación disciplinada, en la que se pueden reformular y mejorar las prácticas. Ebutt define la investigación acción como un estudio sistemático que combina la acción y la reflexión con la intención de mejorar constantemente la práctica (Cohen, Manion y Morrison, 2017).

La investigación-acción es una de las metodologías más utilizadas en investigación, ya que permite indagar y reflexionar sobre las prácticas dentro del aula, ejerciendo la labor docente mientras se estudian las diversas posibilidades de mejorar herramientas, estrategias, entre otras. “La investigación-acción colaborativa es una forma poderosa de desarrollo del personal, porque es una práctica teórica, más que una teoría práctica. Se alienta a los docentes a llegar a sus propias soluciones y conclusiones, y esto es mucho más atractivo y tiene más impacto que la presentación de ideales que no se pueden alcanzar”. Ross (1997), citado por Burns (2005).

De acuerdo con Kemmins y Henry (1989), citado en Cárdenas (2000): “La investigación-acción se define como una forma de indagación autorreflexiva que realizan los participantes en situaciones sociales con el fin de mejorar la racionalidad y justicia de las propias prácticas sociales o educativas de las personas, así como su comprensión de estas”.

De esta manera para alcanzar los objetivos se siguieron los siete pasos principales para concluir la investigación. Según Cárdenas (2000), la investigación-acción en las aulas sigue una serie de pasos repetidos, organizados en ciclos de trabajo sistemático. Los pasos elegidos en un ciclo se pueden resumir de la siguiente manera:

1. Identificar un problema.
2. Explorar los antecedentes teóricos existentes.
3. Planificar una acción.
4. Implementar la acción.
5. Observar la acción.
6. Reflexionar sobre las observaciones.
7. Revisar el plan.

Este tipo de estudio permite al investigador o investigadores interactuar o ser parte del desarrollo de la indagación mientras se hace la investigación, siempre con el fin de mejorar la docencia como práctica social. De esta forma, el encargado de abordar el estudio puede ser tanto docente como investigador a la vez. Porque les permite participar al interior de una actividad, así como observarla y analizarla.

Según Bailey (1998), citado en Burns (2001): “Sus enfoques son esencialmente participativos, en el sentido de que son conducidos por y con miembros de la comunidad real bajo estudio”.

3.3 Contexto de la investigación

Esta investigación fue desarrollada en el colegio privado, mixto y bilingüe Tilatá, que se encuentra ubicado en La Calera, municipio cerca de Bogotá, en el departamento de Cundinamarca, y fue fundado en el año 1992. En la actualidad es un colegio de calendario B, el cual tiene una estructura de 24 estudiantes por curso, con dos cursos por cada grado.

El Colegio Tilatá pertenece a la Organización del Bachillerato Internacional, y ofrece tres de los cuatro programas posibles, el Programa de los años primarios (PEP), el programa de los años intermedios (PAI) y el programa del Diploma (PD).

Conforme a la misión del colegio, el objetivo principal es la formación en comunidad de seres humanos autónomos, integrales y felices con poder de transformar el mundo. Esto siempre desde un enfoque pedagógico constructivista y restaurativo.

La investigación, además, fue desarrollada en la clase de física, que tiene cinco horas por ciclo, considerando que cada ciclo es de siete días. Esto hace que aproximadamente se tengan entre tres o cuatro horas por semana.

3.4 Participantes

Esta investigación se llevó a cabo con ocho estudiantes de grado 11 en la clase de física, desarrollada en español. Los estudiantes escogidos para analizar los datos fueron elegidos

entre hombres y mujeres. Igualmente, se tomó en consideración que estos estudiantes tuvieran distintos niveles de desempeño dentro de la clase; es decir, no solo se escogieron los que más se destacaban, tanto en sus notas como en el interés y la atención que demostraban; sino que, por el contrario, también se escogieron a aquellos que se les dificultan las ciencias o que no presentaban mucho interés en la clase.

Por otro lado, aunque al principio en la planeación inicial del proyecto se había contemplado un grupo de control con mínimo seis estudiantes, debido a la situación de pandemia vivida, fue imposible. Los estudiantes iniciales, fueron escogidos en un contexto similar, en un colegio que contara con las mismas características y debiera completar el mismo currículo al pertenecer al (IBO) y tener el (PD). Sin embargo, como se mencionó antes, las condiciones de la pandemia provocaron cambios en los currículos y en las metodologías, dando prioridad a otros contenidos. A causa de esto, fue necesario buscar un grupo de control con el que se pudiera trabajar de manera virtual y voluntaria. Para ello se tuvo presente únicamente la participación de tres estudiantes de un colegio similar que estuvieron conectados durante cinco sesiones para poder abordar la temática sin la aplicación del módulo didáctico, o sea, de modo magistral y tradicional.

3.5 Instrumentos de recolección de datos

Para recolectar los datos derivados de esta investigación, se utilizarán tres instrumentos, con el propósito de aplicar una triangulación acertada. A continuación, se resumen cada uno de ellos:

3.5.1 Notas de campo

“Las notas, o notas de campo como a menudo se refieren en investigación cualitativa, son descripciones y relatos de eventos en el contexto de investigación”, Burns (2005). Las notas de campo permiten recopilar temas específicos en menos tiempo que usando diarios. “Generalmente incluyen informes de información no verbal, entornos físicos, estructuras verbales y registros” Burns, A. (2005). Sin embargo, es necesario tener cuidado, ser muy organizado, porque si se usan incorrectamente, pueden convertirse en un aspecto limitante. Las notas de campo ayudan a analizar la relación de una de las preguntas de investigación con el entorno y las observaciones que hará el profesor.

3.5.2 Entrevistas

De acuerdo con Kvale (1996: 14), citado en Cohen, Manion y Morrison (2017): “Una entrevista, un intercambio de opiniones entre dos o más personas sobre un tema de interés mutuo, ve la centralidad de la interacción humana para la producción de conocimiento, y enfatiza la situación social de los datos de investigación”.

A partir de las entrevistas que se les realizarán a los estudiantes, se espera encontrar las percepciones, respecto a la motivación que se pretende generar con las estrategias didácticas, diseñadas para la enseñanza de la física de partículas.

3.5.3 Pruebas escritas

Se usarán pruebas en tres diferentes oportunidades, una prueba diagnóstica, una prueba al inicio y una prueba al final. Estas pruebas se basarán en preguntas prescritas, diseñadas por el IBO, e irán alineadas con la prueba uno y dos que los estudiantes deben presentar al finalizar el segundo año del DP. Las pruebas son instrumentos que permiten medir de

manera cuantitativa resultados de cualquier investigación. “Los investigadores tienen a su disposición un poderoso método de recopilación de datos, una impresionante variedad de pruebas para recopilar datos de tipo numérico en lugar de verbal” (Cohen, Manion y Morrison, 2017).

4. Módulo didáctico

Teniendo en cuenta la descripción del problema y la justificación, antes descritas, es evidente la necesidad de buscar una forma distinta de enseñar la física de partículas a un nivel de educación media, es decir en grado 11. A diferencia del contexto universitario, en la mayoría de los modelos educativos en los colegios, no se les permite elegir necesariamente a los estudiantes las asignaturas y temas que quieren trabajar y desarrollar, lo cual muchas veces hace que el interés que presentan por determinados contenidos no sea el más alto. La física de partículas no es la excepción, pues al ser abstracta y poco tangible, dificulta su comprensión y entendimiento. Esto genera desmotivación, desinterés y, por supuesto, un casi nulo aprendizaje perdurable y significativo. Considerando esta problemática, en esta propuesta se ha diseñado un módulo didáctico que rompa estas barreras frente a la enseñanza y el aprendizaje de este tema.

De acuerdo con Peña (2021), “Los módulos son una herramienta válida para la organización del proceso enseñanza-aprendizaje, con las cuales se aprende más eficazmente a través de estrategias adecuadas al propósito del docente, a la realidad del alumno y a la naturaleza del conocimiento”. Dentro del módulo elaborado para la enseñanza de la física de partículas, se combinaron experiencias de creación propia de los alumnos, en las que resaltaban su creatividad e ingenio, con experiencias que se fundamentan en el juego a través de un material diseñado e impreso.

4.1 Material didáctico diseñado:

El material creado consistió en una caja didáctica con tres elementos:

4.1.1 Elemento 1

El elemento 1 del material creado comprende un set de cartas inspiradas en el juego de los años 80 de la marca Ronda, llamado Super Triumph. En este caso, en vez de tener aviones, carros o helicópteros, tiene partículas. De igual manera, el trabajo mencionado previamente por Pavlidou & Lazzeroni, (2016), motiva este elemento del material, aunque el diseño que plantean las autoras es más simple y sencillo, pues está enfocado en niños más pequeños, particularmente de primaria.

El set creado tiene en total 38 cartas, entre las que encontramos seis quarks, seis antiquarks, seis leptones, seis antileptones, cinco portadores de fuerza, ocho partículas compuestas y una carta con instrucciones. Los quarks, antiquarks, leptones, antileptones y las partículas compuestas poseen la siguiente estructura y las subsecuentes características:

Figura 4-1: Ejemplo de las características que se observan en las cartas diseñadas para los quarks y los leptones.



Las partículas portadoras de fuerza, en cambio, tienen estas otras características:

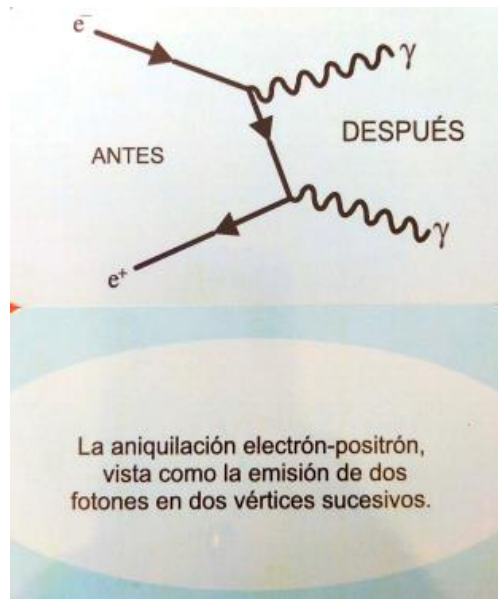
Figura 4-2: Ejemplo de las características que se observan en las cartas diseñadas para los portadores de fuerza.



4.1.2 Elemento 2

El elemento 2 que tiene el material es otro set de cartas basadas en los Diagramas de Feynman. En total son 36 cartas que se dividen en dos, 18 cartas con diferentes ejemplos de Diagramas de Feynman y las otras 18, con las explicaciones o descripciones correspondientes a dichos diagramas. Este elemento tiene como objetivo jugar a la tradicional actividad de hacer parejas. Estas pueden entregarse con las cartas boca arriba o boca abajo, dependiendo de la dificultad que se les quiera dar. Se diseñaron para ser el paso intermedio, antes de crear diagramas desde cero, pues al hacer parejas se permite relacionar patrones e identificar las principales características sin necesidad de una explicación previa.

Figura 4-3: Ejemplo de las cartas diseñadas y creadas de los Diagramas de Feynman.



4.1.2 Elemento 3

El elemento número 3, de nuevo está enfocado en los Diagramas de Feynman; sin embargo, en este caso el material diseñado se enfoca en la creación del diagrama desde cero, siguiendo una descripción, una explicación o una ecuación que represente una desintegración. Este material consta de un tablero magnético, con una serie de fichas, también magnéticas que representan los elementos que contienen estos diagramas.

Figura 4-4: Tablero magnético diseñado y creado para representar Diagramas de Feynman



4.2 Sesiones del módulo

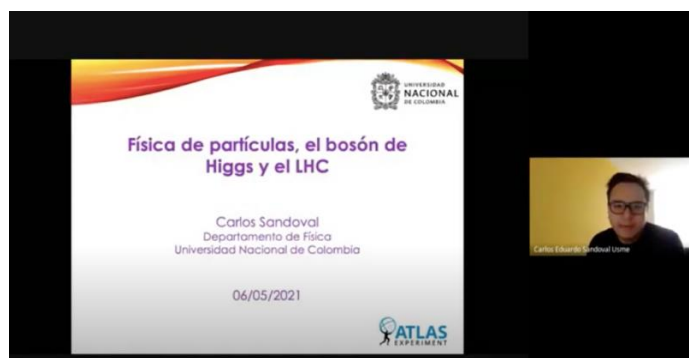
El módulo contó con nueve sesiones, actividades o fases conectadas y entrelazadas unas con otras, siguiendo los principios de la gamificación, antes descrita, aplicada a la educación. Las nueve sesiones fueron desarrolladas de la siguiente manera:

- **Sesión 1:**

Durante esta sesión se efectuaron dos actividades esenciales; la primera, evaluar los conocimientos anteriores de los estudiantes a partir de una prueba diagnóstica. Esta actividad se realizó con un formulario *Google Forms* que fue compartido a los estudiantes mediante un correo electrónico. Es pertinente precisar que cuando la prueba fue aplicada, la mayoría de las instituciones todavía se encontraban en alternancia debido a la pandemia ocasionada por el Covid-19 y, en el momento en que los estudiantes la presentaron estaban en la casa. Esta prueba fue hecha tanto por los estudiantes del grupo principal, como por los tres estudiantes del grupo de control.

La segunda actividad, durante la primera sesión, fue una charla con un invitado externo. El profesor Carlos Eduardo Sandoval Usme, magíster y doctor en Física, quien –gracias a su alto conocimiento de la física de partículas– compartió una charla introductoria con los estudiantes. La exposición se desarrolló de manera virtual, vía Meet y tuvo una duración de cerca de 45 minutos.

Figura 4-5: Pantallazo de la charla introductoria con el profesor Carlos Eduardo Sandoval Usme.



- **Sesión 2:**

La segunda sesión, al igual que la primera, se dividió en dos partes. Durante el primer momento, con esta herramienta de trabajo grupal, los estudiantes hicieron una lluvia de ideas sobre lo aprendido en la charla y luego tres voluntarios las socializaron. Como ya fue comentado antes, la estructura del módulo se basó en la gamificación aplicada en el aprendizaje de la física de partículas, por lo que los estudiantes que completaron esta fase, recibieron la instrucción para hacer la siguiente actividad, desarrollada en la segunda parte de la segunda sesión. Esto quiere decir que, para continuar el juego, era indispensable completar la primera tarea.

En la segunda parte de la segunda sesión, los estudiantes tenían como tarea crear su avatar. De acuerdo con la Real Academia Española (RAE), 'avatar' es una "representación gráfica de la identidad virtual de un usuario en entornos digitales" (Avatar, 2021).

Figura 5-6: Ejemplos de posibles avatares



Fuente: es.dreamstime.com

Como la definición lo advierte, esta representación se convertiría en propia durante todo el módulo o juego, así que debían hacerla muy bien. Las condiciones para escogerla fueron con base en una lista de partículas que les fue dada. Con la partícula escogida, ellos debían apoyarse en sus características principales para armarla y a continuación sustentar cómo la habían hecho y por qué la habían hecho de esa manera. Esta actividad tenía como objetivo principal *identificar las características principales de una partícula*. Sin duda, esta tarea podría hacerse de una manera tradicional y simple como decirles que solamente investigaran sobre dichas características; no obstante, el módulo buscaba tener un activador en cada sesión que permitiera motivar y suscitar interés por el aprendizaje.

Para concluir la sesión, después de que cada estudiante sustentó y presentó su avatar, tomaron una fotografía que subieron a un Padlet que fue creado con el fin de recolectar todas las evidencias requeridas para recorrer el camino del módulo. Asimismo, este permitió valorar el resultado de cada sesión o con el número de estrellas, que serían contabilizadas al final de todo el módulo.

Figura 4-7: Ejemplo de Padlet para valorar a partir de estrellas.



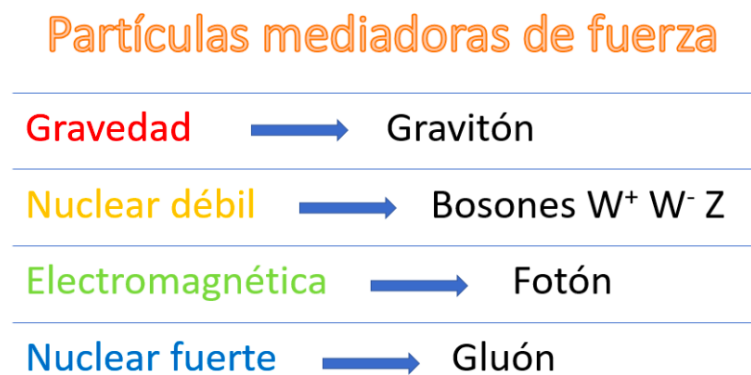
- **Sesión 3:**

Después de que se verificó que los estudiantes subieran la foto de su avatar al Padlet, se procedió a darles la pista correspondiente para la sesión 3 (Figura 4-8) y a que empezaran la actividad.

- **Sesión 4:**

En esta sesión se comparó el orden de magnitud de las fuerzas fundamentales. El objetivo principal de esta fase fue *comparar las intensidades de interacción de las fuerzas fundamentales, incluida la gravedad*. En principio se estipuló que debían compararla con longitudes en metros, de tal manera que se pudiera confrontar cómo es la gravedad comparada con la fuerza nuclear fuerte. Ahora bien, como los estudiantes estaban en alternancia no hubo la posibilidad de hacerlo con longitudes muy grandes; por lo cual los estudiantes se vieron obligados a realizarlo con objetos que tenían en su casa; comparando no en metros, sino en centímetros. Para finalizar la sesión, los estudiantes debieron tomar una foto, subirla al Padlet y, seguidamente, socializar sus hallazgos. Cuando terminaron la socialización, a cada uno les fue entregada la siguiente pista:

Figura 4-10: Pista número 3 para desarrollar el reto de la sesión 5



- **Sesión 5:**

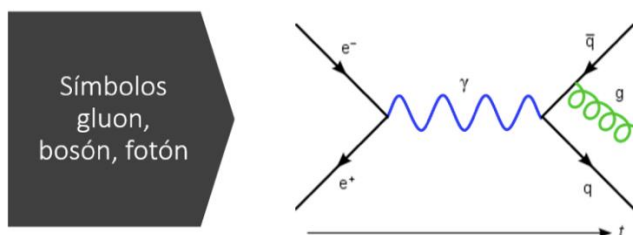
Para la sesión 5, los estudiantes debían crear una infografía con el propósito de *describir la actuación de las fuerzas fundamentales a través de las partículas de intercambio*. Para ello podían utilizar las cartas que contenían a los portadores de fuerza y la pista que anteriormente se les dio. Cada estudiante creó su infografía y la subió al Padlet. Como en

las demás sesiones, se socializó y todos los estudiantes aportaron comentarios constructivos frente a lo que observaban en cada una de ellas. Tal como se hizo en las otras sesiones, al culminar el reto y cumplirlo por parte de los estudiantes, se les proporcionó la pista siguiente, la cual, en este caso, se refirió únicamente a señalarles las cuatro leyes de conservación que trabajaríamos durante la próxima sesión, la ley de conservación de la carga, la ley de conservación de la extrañeza, la ley de conservación del número bariónico y la ley de conservación del número leptónico.

- **Sesión 6:**

El objetivo de esta sesión fue *aplicar las leyes de conservación en reacciones de las partículas*. Para cumplir con esta meta, se usó de nuevo el elemento 1 del material didáctico. En este caso se les mostraba una ecuación que representaba una interacción y ellos debían representarla utilizando las cartas. Cada carta era una partícula. Una vez que armaban la representación respectiva, usando las características de las cartas, verificaban si las leyes de conservación eran válidas o no para determinar si la interacción planteada era posible o no. A medida que iban terminando de armar y analizar la interacción, tomaban de nuevo foto y la subían al Padlet, afirmando si era o no posible. Si lo hacían de forma correcta, se les daba valoración por hacerlo más rápido que los otros estudiantes. Al terminar esta sesión, se les facilitó la pista correspondiente para la sesión posterior:

Figura 4-11: Pista número 5 para desarrollar el reto de la sesión 7.



- **Sesión 7:**

En esta sesión se usó el elemento 2 del material didáctico. El objetivo que planteó para esta sesión fue *dibujar aproximadamente e interpretar diagramas sencillos de Feynman*. Teniendo en cuenta que este es uno de los subtemas más complejos para los estudiantes en la física de partículas, se diseñó este material con el fin de que, al hacer parejas, conectando la carta del respectivo diagrama con la correspondiente descripción, se identificaran patrones y convenciones. De esta manera, en la primera parte de la sesión, los estudiantes se dedicaron a jugar. En este caso, por estar en presencialidad se permitió trabajar en grupos de a dos. Estos, debían organizar las cartas de manera correcta; es decir, cada diagrama con su correspondiente explicación o descripción. Además de hacerlo en el menor tiempo posible, debían tener la mayor cantidad de parejas correctas.

Después de que todos los grupos finalizaron, los estudiantes corrigieron el ejercicio del grupo del lado para tener otra oportunidad de repasar y de practicar.

Para terminar, cada grupo de trabajo debió escribir en el cuaderno la mayor cantidad de patrones que identificó al jugar con el elemento 2, para, acto seguido, compartirlo con el grupo y construir entre todos las reglas o convenciones principales y necesarias para dibujar Diagramas de Feynman. Como pista para la siguiente sesión, fueron entregados diversos ejemplos de los Diagramas de Feynman, distintos a los que se encontraban en las cartas.

- **Sesión 8:**

Para la penúltima sesión de trabajo se avanzó con el mismo objetivo planteado para la sesión 7, *dibujar aproximadamente e interpretar diagramas sencillos de Feynman*. Sin embargo, en este caso la dinámica cambió, pues se utilizó el elemento 3 del material didáctico. Este se usó con el fin de que los estudiantes construyeran el Diagrama de

Feynman desde cero a partir, primero de la ecuación correspondiente a la interacción y más adelante de la descripción. En esta ocasión se trabajó en grupos de tres personas, dado que de nuevo los estudiantes se encontraban en presencialidad, lo que facilitó el intercambio de ideas y la comprensión del tema. Al terminar la sesión se hizo conteo de todas las valoraciones correspondientes que tenían estrellas en el Padlet y se revisó su proceso y participación en el módulo. Esta evaluación determinó que alumnos merecieron puntos extra en la prueba tanto formativo y sumativo.

- **Sesión 9:**

Para cerrar el módulo, la última sesión se dividió en dos partes. En la primera, se desarrolló la evaluación formativa a manera de taller individual. En este caso no podían usar ningún elemento del material, sino que la hoja del cuadernillo de datos que el Bachillerato Internacional da como herramienta en los exámenes (Anexo B). Una vez terminado el ejercicio formativo (Anexo E) se corrigió y se revisó, junto con los estudiantes, lo que no estuvo bien, con la intención que identificaran las fortalezas y opciones de mejora.

En la segunda parte, los estudiantes desarrollaron la evaluación sumativa (Anexo F). En este caso se hizo de manera presencial e individual.

4.3 Descripción de las sesiones con el grupo de control

Debido a que el procedimiento fue diferente, las sesiones con el grupo control fueron solo 6. Esto debido a que fueron sesiones magistrales donde se exponían a través de diapositivas PowerPoint los temas. La conversación fue el 95% unidireccional, pues era completamente narrativo por parte del docente.

Los estudiantes pudieron en momentos escasos hacer preguntas y resolver dudas. Al igual que el grupo focal, los estudiantes pertenecientes al grupo control, llenaron el formulario diagnóstico y desarrollaron la evaluación formativa y sumativa.

5. Resultados y análisis

A pesar de las dificultades que se presentaron en el año 2020, debido al surgimiento de la pandemia por el Covid-19, se logró aplicar el módulo didáctico. En realidad, estaba presupuestado haberlo hecho en el segundo semestre del año 2020, pero ante el cierre de colegios y demás entidades fue completamente imposible. En el año 2020, en el momento de cierre, la educación pasó a ser virtual, en algunos casos de manera sincrónica, pero en otros a partir de guías de trabajo, entre otros. Los objetos y el diseño del módulo didáctico establecido en este trabajo nunca tuvieron en cuenta todo este tipo de situaciones, ya que fueron diseñados antes. Universidades y colegios tuvieron que aplazar y reorganizar la enseñanza.

Como los objetivos iniciales se mantuvieron, fue necesario esperar un tiempo mientras se lograba normalizar un poco más la situación. En el caso de la aplicación del módulo, solo se logró hasta finales del primer semestre del año 2021. Como todavía no había el 100% de presencialidad, fue necesario enviar el material didáctico diseñado a los participantes a través de correo. Algunas de las sesiones, como ya se mencionó antes, se pudieron hacer de manera presencial y otras sí fue necesario hacerlas de manera virtual sincrónica. A continuación, se describe brevemente cómo fue el desenlace de cada sesión y se especifica la modalidad bajo la cual fue necesaria desarrollarla. Asimismo, se indican detalles frente a las actitudes de los estudiantes durante el desarrollo de cada parte del plan.

5.1 Resultados

5.1.1 Resultados grupo focal

- **Sesión 1 (06/05/2021) – Modalidad virtual:**

Esta sesión fue una de las más significativas por cuanto fue el momento de comenzar el módulo didáctico. Como ya se resaltó, la sesión fue virtual, pero sincrónica. Al inicio de la clase, los estudiantes contestaron una encuesta de *Google Forms* para conocer un poco más sobre sus conocimientos anteriores. Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 5-1: Resultados pregunta 1 conocimientos previos

| Pregunta # 1 | Respuestas |
|--|---------------------------------------|
| Indica las partículas más pequeñas que conozcas. | Electrón. |
| | Protones, electrones y neutrones. |
| | Quarks. |
| | Quarks, fotones, bosones. |
| | Quarks, leptones. |
| | ¿Neutrino? La verdad no sé. |
| | Quark. |
| | Los átomos. |
| | La partícula más pequeña es el átomo. |
| | Electrones |
| | Electrones. |
| | Electrones. |
| | No sé. |
| | Protones y neutrones. |
| <p>Observaciones: Como se puede advertir, son pocos los estudiantes que conocen los términos de quarks, leptones o neutrinos. En su mayoría piensan que la partícula más pequeña es el electrón. Sorprende que un estudiante piense que lo más pequeño es un átomo. Asimismo, otro de los estudiantes contestó que no sabe.</p> | |

Tabla 5-2: Resultados pregunta 2 conocimientos previos.

| Pregunta # 2 | Respuestas |
|--|---|
| Describe el interior de un átomo. | Un núcleo de protones y neutrones. Por fuera contiene electrones. |
| | El núcleo del átomo está dividido por protones y neutrones. Por fuera contiene electrones. |
| | Un átomo consiste del núcleo, que está compuesto por protones y neutrones, y de los niveles de electrones que orbitan alrededor del núcleo. |
| | Tiene un núcleo, compuesto por neutrones y protones (creo que son bariones (partículas compuestas por tres quarks)). y en sus órbitas tienen electrones. |
| | Núcleo, y electrones unidos al núcleo. El núcleo está compuesto por protones y neutrones. |
| | Un átomo está compuesto por un núcleo, el cual tiene uno o más electrones dentro. También tiene uno o más protones, y un número relativamente similar de neutrones. El conjunto de protones y neutrones es llamado nucleones. |
| | Átomo: electrones unidos al núcleo. el núcleo está compuesto de uno o más protones y un número similar de neutrones. |
| | Está constituido por el núcleo, protones, neutrones y electrones. |
| | Neutrón, electrón y protón. |
| | Núcleo compuesto por nucleones y afuera del núcleo, niveles de energía por donde pasan los electrones. |
| | Núcleo, nucleoides con protones electrones y neutrones. |
| | Núcleo formado por protones y neutrones y los electrones orbitan al núcleo. |
| | Una combinación de núcleo, protones, neutrones y electrones. |
| <p>Observaciones: Casi todos los estudiantes tienen claro que el átomo tiene un núcleo que está compuesto por protones y neutrones y de igual manera que en el exterior se encuentran los electrones. Sin embargo, hubo al menos un estudiante que comentó la formación de los protones y neutrones a partir de los quarks. Asimismo, los llamó bariones.</p> | Está compuesto de un núcleo, el cual contiene protones y carga eléctrica positiva. |

Tabla 5-3: Resultados pregunta 3 conocimientos previos.

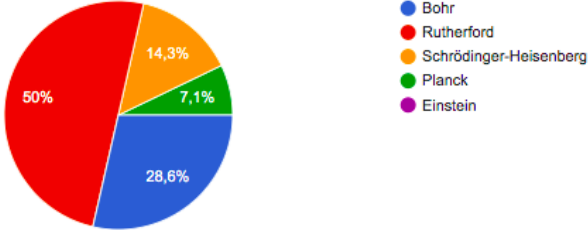
| Pregunta # 3 | Respuestas | | | | | | | | | | | | |
|---|---|--------|------------|------------|-----|------|-------|------------------------|-------|--------|------|----------|----|
| <p>¿Cuál de los siguientes nombres corresponde al científico que planteó el modelo actual del átomo? Posibles respuestas (Bohr, Rutherford, Schrödinger-Heisenberg, Planck, Einstein)</p> |  <table border="1"> <caption>Data for Pie Chart: Question 3</caption> <thead> <tr> <th>Nombre</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rutherford</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td>Bohr</td> <td>28,6%</td> </tr> <tr> <td>Schrödinger-Heisenberg</td> <td>14,3%</td> </tr> <tr> <td>Planck</td> <td>7,1%</td> </tr> <tr> <td>Einstein</td> <td>0%</td> </tr> </tbody> </table> | Nombre | Porcentaje | Rutherford | 50% | Bohr | 28,6% | Schrödinger-Heisenberg | 14,3% | Planck | 7,1% | Einstein | 0% |
| Nombre | Porcentaje | | | | | | | | | | | | |
| Rutherford | 50% | | | | | | | | | | | | |
| Bohr | 28,6% | | | | | | | | | | | | |
| Schrödinger-Heisenberg | 14,3% | | | | | | | | | | | | |
| Planck | 7,1% | | | | | | | | | | | | |
| Einstein | 0% | | | | | | | | | | | | |
| <p>Observaciones: La mayoría de estudiantes reconocen a Rutherford como autor del modelo actual, seguido de Bohr. Solo dos estudiantes reconocen los verdaderos autores del modelo que utilizamos hoy en día. Extrañamente un estudiante relaciona a Max Planck.</p> | | | | | | | | | | | | | |

Tabla 5-4: Resultados pregunta 4 conocimientos previos.

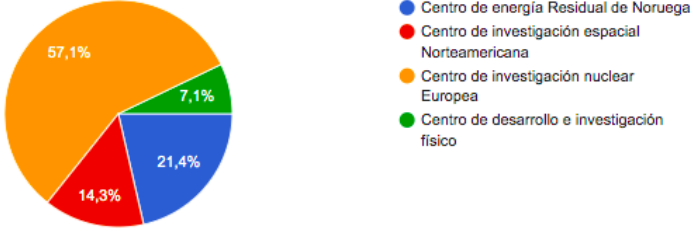
| Pregunta # 4 | Respuestas | | | | | | | | | | |
|--|--|--------|------------|---|-------|---------------------------------------|-------|---|-------|---|------|
| <p>El CERN es el ...</p> |  <table border="1"> <caption>Data for Pie Chart: Question 4</caption> <thead> <tr> <th>Nombre</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Centro de investigación nuclear Europea</td> <td>57,1%</td> </tr> <tr> <td>Centro de energía Residual de Noruega</td> <td>21,4%</td> </tr> <tr> <td>Centro de investigación espacial Norteamericana</td> <td>14,3%</td> </tr> <tr> <td>Centro de desarrollo e investigación físico</td> <td>7,1%</td> </tr> </tbody> </table> | Nombre | Porcentaje | Centro de investigación nuclear Europea | 57,1% | Centro de energía Residual de Noruega | 21,4% | Centro de investigación espacial Norteamericana | 14,3% | Centro de desarrollo e investigación físico | 7,1% |
| Nombre | Porcentaje | | | | | | | | | | |
| Centro de investigación nuclear Europea | 57,1% | | | | | | | | | | |
| Centro de energía Residual de Noruega | 21,4% | | | | | | | | | | |
| Centro de investigación espacial Norteamericana | 14,3% | | | | | | | | | | |
| Centro de desarrollo e investigación físico | 7,1% | | | | | | | | | | |
| <p>Observaciones: Aunque la mayoría de los estudiantes reconocen qué es el CERN, por sus conversaciones posteriores en clase, se observó que casi ninguno sabía lo que allí se estudia.</p> | | | | | | | | | | | |

Tabla 5-5: Resultados pregunta 5 conocimientos previos.

| Pregunta # 5 | Respuestas |
|--|---|
| <p>¿Qué fue lo primero que se creó tras el Big Bang?</p> | |
| | La luz. |
| | Se creó la materia, que está compuesta por las partículas. |
| | Partículas y cantidades de energía que en años se convertiría en estrellas, planetas y cometas. |
| | La energía. |
| | Los quarks. |
| | La energía. |
| | El universo. |
| | Un átomo. |
| | El mar. |
| | La materia. |
| | . (un punto) |
| | Los quarks. |
| | Toda la materia. |
| Los primeros átomos. | |
| <p>Observaciones: Las ideas previas de los estudiantes no son del todo incorrectas; sin embargo, no es claro si quienes colocaron materia o átomos, por ejemplo, entienden qué pasó previamente para que estos se formaran. Asimismo, se advierte que hay dos estudiantes que no tienen conocimiento sobre esto, pues uno contesta, el mar y el otro coloca un punto.</p> | |

Tabla 5-6: Resultados pregunta 6 conocimientos previos.

| Pregunta # 6 | Respuestas |
|---|--|
| ¿Qué entiendes por antipartícula? | Una partícula opuesta a su contraparte con una carga diferente. |
| | Sería lo opuesto a una partícula o una partícula negativa. |
| | Una partícula de antimateria. |
| | Que es el opuesto a la partícula establecida. Como que tenga las mismas propiedades, pero las antipartículas tienen la carga opuesta o algo así. |
| | Es una partícula que tiene propiedades contrarias a una partícula normal. |
| | Una antipartícula es aquella que tiene las propiedades contrarias a la partícula. |
| | Es como una partícula cualquiera, pero tiene propiedades contrarias a la otra. |
| | Lo que destruye la materia. |
| | Una pequeña partícula de una carga opuesta. |
| | Una partícula que en estructura es opuesta a la partícula. |
| | No recuerdo. |
| | Algo que no es una partícula. |
| | ?? |
| | No sé. |
| Observaciones: Los conocimientos no son nulos, aunque no lo tienen del todo claro la mayoría de estudiantes. | |

Tabla 5-7: Resultados pregunta 7 conocimientos previos.

| Pregunta # 7 | Respuestas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--------|---|---|---|---|---|-------|---|---|---|---|---|--------|---|---|---|---|---|--------|---|---|---|---|---|----------|---|---|---|---|---|----------|---|---|---|---|---|
| Organiza del más pequeño al más grande; siendo 1 el más pequeño y 5 el más grande. | <p>The bar chart displays the number of students who ranked each entity from 1 (smallest) to 5 (largest). The x-axis lists the entities: Átomo, Célula, Protón, Molécula, and Neutrino. The y-axis represents the number of students. The legend shows five levels: 1 (blue), 2 (red), 3 (orange), 4 (green), and 5 (purple).</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Entity</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Átomo</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>4</td> <td>2</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Célula</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Protón</td> <td>2</td> <td>4</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Molécula</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Neutrino</td> <td>4</td> <td>2</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table> | Entity | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Átomo | 1 | 1 | 4 | 2 | 0 | Célula | 0 | 0 | 0 | 1 | 5 | Protón | 2 | 4 | 1 | 0 | 0 | Molécula | 0 | 1 | 2 | 3 | 0 | Neutrino | 4 | 2 | 0 | 0 | 1 |
| Entity | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Átomo | 1 | 1 | 4 | 2 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Célula | 0 | 0 | 0 | 1 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Protón | 2 | 4 | 1 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Molécula | 0 | 1 | 2 | 3 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Neutrino | 4 | 2 | 0 | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Observaciones: La mayoría de estudiantes reconocen como el más pequeño al neutrino y como el más grande a la célula. Solo unos pocos creen que el más pequeño es el átomo o el protón. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |


Después de haber contestado el formulario, los estudiantes tuvieron la oportunidad de estar en la charla o *master class* con el profesor Carlos Sandoval. Algunos de los estudiantes demostraron cordialidad e interés con su cámara prendida y su participación dentro de la charla formulando sus inquietudes y preguntas. La *master class* con el profesor, fue una completa y pequeña introducción a lo que se desarrollaría en el módulo. Los principales temas que se trabajaron fueron: Motivación (por qué estudiar física de partículas), partículas elementales y sus interacciones, el modelo estándar de partículas, el Large Hadron Collider (LHC), la búsqueda del Bosón de Higgs y, por último, charlar que hay después del modelo estándar.

- **Sesión 2 (11/05/2021) – Modalidad virtual:**

Durante la segunda sesión los estudiantes participaron activamente en la lluvia de ideas sobre lo aprendido en la charla. Algunos de los comentarios mencionados fueron relacionados con la curiosidad que provocó en algunos el hecho de la existencia de partículas más pequeñas que lo que ellos ya reconocían, otros se refirieron e hicieron preguntas sobre el objetivo de los aceleradores de partículas, a otros les llamó la atención la organización por medio del modelo estándar. En general se observó interés y participación.

Respecto a la segunda parte de la sesión, una muestra de los resultados al construir su avatar fueron los siguientes:

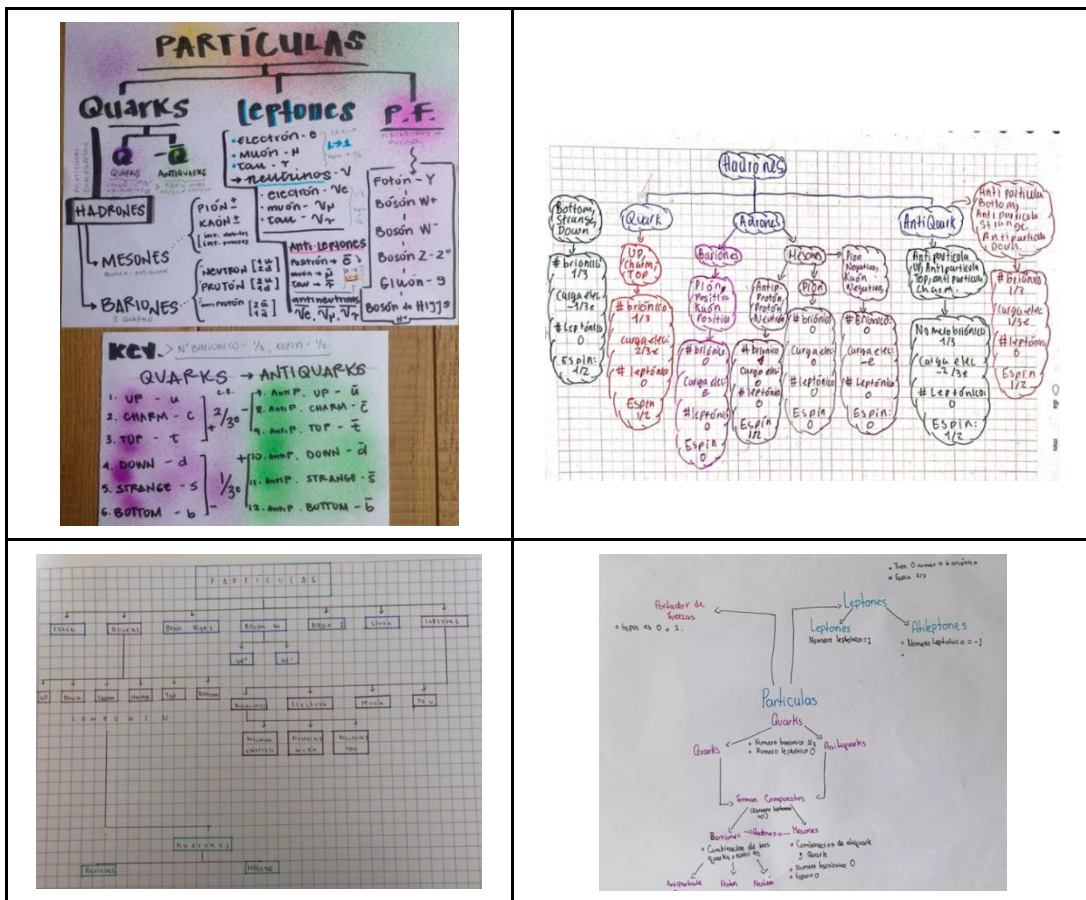
Tabla 5-8: Ejemplos de avatares creados por los estudiantes.

| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| Quark extraño | Antipartícula protón | Pión negativo | Quark charm |

En la imagen anterior, se contempla que después de haber tenido la oportunidad de manipular el material únicamente a partir del juego, lograron recordar varias ideas y características de las partículas. Es interesante ver cómo sin esa intencionalidad, logran mantener algunos detalles en su memoria a corto plazo y convertirla en memoria de trabajo.

Después de pasados los 15 minutos, se les pidió que, de manera individual, desarrollaran un mapa con la clasificación de las partículas. La condición que este debía tener, era que debía incluir las palabras, dadas en la pista entregada, es decir Hadrones, bariones y mesones. Algunos de los resultados los podemos ver a continuación:

Tabla 5-9: Ejemplo de mapas conceptuales creados por los estudiantes, resumiendo las familias de partículas existentes.



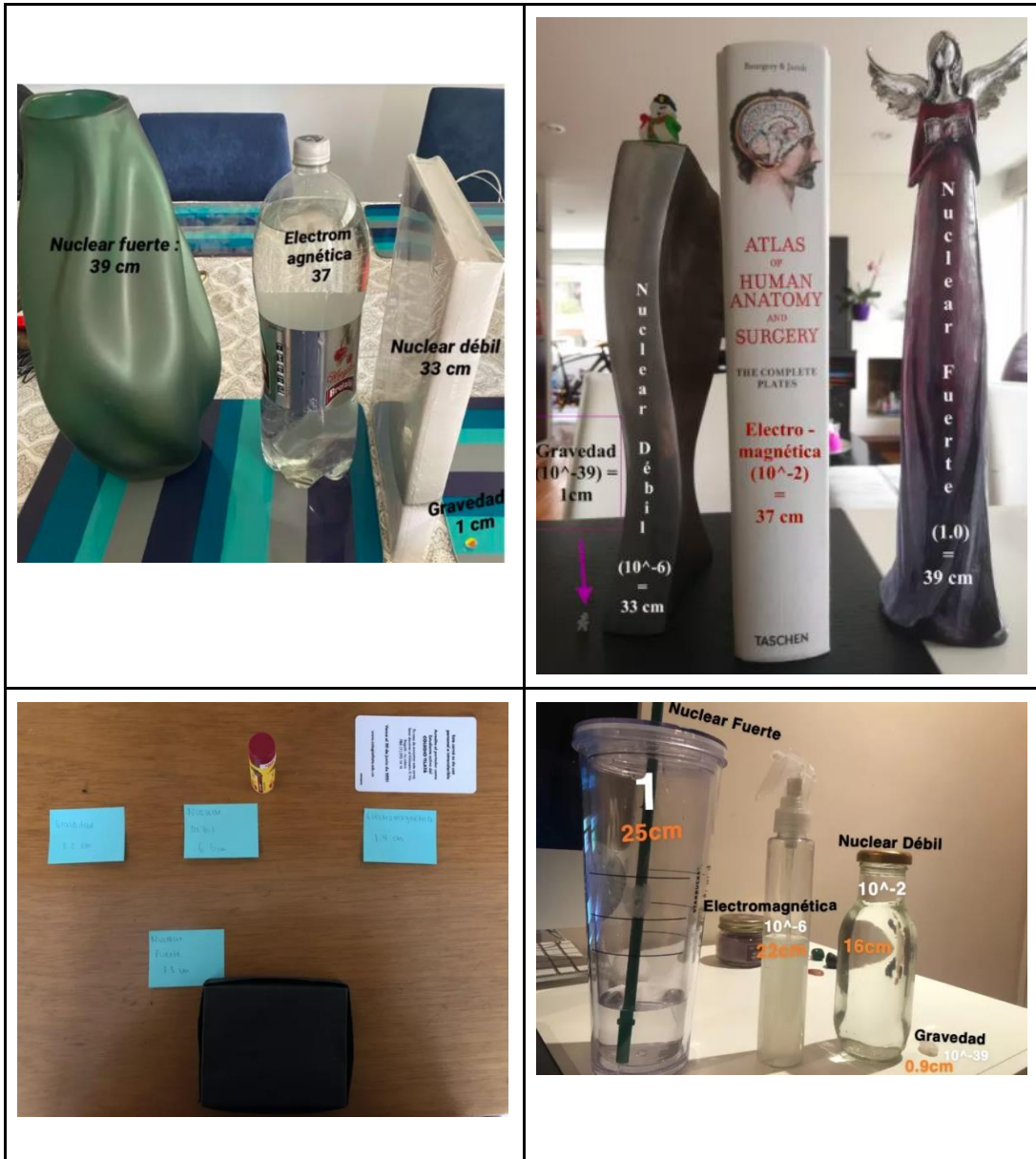
Los resultados en general fueron muy positivos, dado que los estudiantes reconocieron que el manejo del material didáctico y los datos que este contenía fueron muy valiosos para construir el mapa y poder entender mejor las familias de partículas, al igual que sus características.

- **Sesión 4 (18/05/2021) – Modalidad virtual:**

Durante esta sesión se compararon las intensidades de las fuerzas fundamentales a partir de las longitudes conocidas. Como se mencionó en el capítulo anterior; inicialmente, estas comparaciones se habían diseñado para hacerlas con longitudes, utilizando la unidad de metros, con base en mediciones que se hicieron en el colegio usando odómetros. Sin embargo, la situación de pandemia no lo permitió y debieron hacerlo en casa.

Ellos solos generaron estas comparaciones, a partir de la pista suministrada y únicamente con esa información. Después de encontrar los objetos pertinentes, los socializaron y explicaron. Una muestra de los resultados se observa a continuación:

Tabla 5-10: Ejemplos de los estudiantes, sobre la comparación de intensidades de las fuerzas.



De nuevo, en general, el resultado fue muy satisfactorio. Teniendo en cuenta que las clases virtuales durante la pandemia fueron realmente difíciles por la necesidad de romper la monotonía, hacer que los estudiantes prendieran la cámara y participaran, la actividad resultó enriquecedora, pues los hizo levantarse de la silla, interactuar con sus compañeros y, además aprender con base en sus mediciones hechas en casa con los materiales disponibles.

Las afirmaciones, por parte de ellos frente a la actividad, fueron bastante positivas, pues indicaron cómo, mediante esas comparaciones, entendían más fácilmente la diferencia entre el orden de magnitud de cada una de las intensidades, sobre todo entre la más alta (nuclear fuerte) y la más pequeña (gravedad). Asimismo, les sorprendió pensar que, si la gravedad para ellos era tan fuerte, no creían que existiera un fenómeno natural muchísimo mayor.

- **Sesión 5 (20/05/2021) – Modalidad virtual:**

Durante esta sesión, los estudiantes diseñaron la infografía que relaciona las partículas portadoras de fuerza con las fuerzas fundamentales de la naturaleza. Para ello, usaron la pista dada para esta sesión (mostrada en el capítulo anterior), el elemento didáctico, los libros y el computador sí fueron necesarios. Tal vez no fue la actividad que mayor interés les causó, puesto que en realidad algunos opusieron cierta resistencia. Se observó que los estudiantes, al no estar acostumbrados a construir su propio aprendizaje y ser dueños de su camino, prefieren que el profesor les entregue todo. Los resultados en algunos casos fueron adecuados y en otros, aunque pudieron ser mejores, se observó esfuerzo y trabajo.

Tabla 5-11: Ejemplo 1 de infografía de los estudiantes, relacionando las fuerzas fundamentales con los portadores de fuerza.

1. Gravitón
Teóricamente, es el componente cuántico de la gravedad. Se supone que es la partícula elemental que media la fuerza de la gravedad.

GRAVITACIONAL
Se dice que Carga: $0e$ -
Espín: 2

2. Bosones W+ y Z
Los bosones W+ y Z son partículas de la fuerza nuclear débil. Son muy grandes y son las que cambian los tipos de los neutrones y los protones. El bosón W+ es antipartícula del W-; mientras que el Z es neutro y es su propio antipartícula.

NUCLEAR DÉBIL
Símbolos: W+ - Carga: e - Masa: 80.385Gev - Espín 1
W- - Carga: $-e$
Z - Carga: 0 - Masa: 91.188Gev

3. Gluón
El gluón es un bosón que constituye la fuerza nuclear fuerte entre los quarks. Se llama gluón como "glue" ya que es cómo el levanta que une a los quarks, que se vuelven en protones y neutrones.

NUCLEAR FUERTE
Símbolo: g - Carga: 0 -
Masa: 0 - Espín 1

4. Fotón
Se considera partícula elemental. El fotón es cuántico del campo electromagnético, entonces constituye la luz, ondas de radio, entre otros. Ya que no tiene masa, se mueve a la velocidad de la luz en el vacío.

ELECTROMAGNÉTICA
Símbolo: γ - Carga: 0 - Masa: 0
- Espín 1

Tabla 5-12: Ejemplo 2 de infografía de los estudiantes, relacionando las fuerzas fundamentales con los portadores de fuerza.



- **Sesión 6 (25/05/2021) – Modalidad virtual:**

En esta sesión –después de socializar la existencia de las leyes de conservación en una interacción (carga, extrañeza, número bariónico, número leptónico) como pista dada a los que cumplieron el reto anterior– se procedió a aplicar la estrategia del aprendizaje a través del juego. En este caso, la modalidad fue virtual: entonces se debió adaptar lo que estaba planeado inicialmente. Como todos tenían previamente los elementos didácticos en casa, el juego se desarrolló de manera individual. Cada estudiante debía construir la interacción utilizando las cartas del elemento didáctico 1, de acuerdo con la ecuación dada, y así

confirmar si era posible o no, conforme a las leyes de conservación antes mencionadas. Como fue un juego adaptado, cada estudiante usó una flecha creada por ellos mismos para representar la ecuación de manera completa. Ahora, para ganar, ellos debían tomar foto del resultado y afirmar porqué razón era, o no era posible. El que lo conseguía primero de manera correcta, obtenía más puntaje o más estrellas y, a medida que lo iban logrando, –aunque obtenían puntos–, estos iban disminuyendo. A continuación, se observan algunas muestras de las fotos subidas por ellos al Padlet.

Tabla 5-13: Ejemplos de interacciones creadas usando las cartas del elemento didáctico 1.



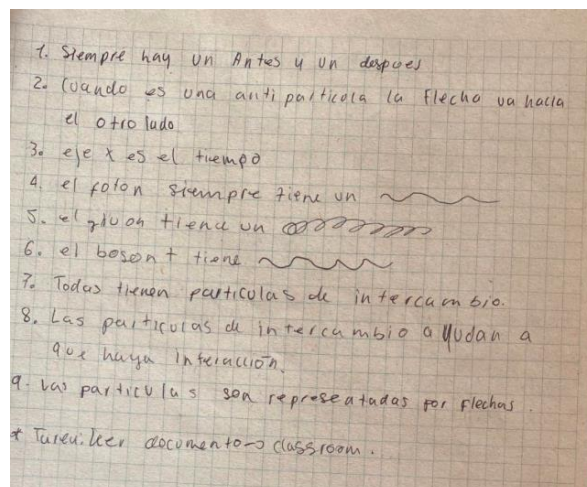
En general durante esa sesión se observó mucho entusiasmo e interés. Los estudiantes participaron activamente y se divertieron mucho. Fue un ambiente de confianza en el que todos pudieron opinar, ganar puntos y aprender.

- **Sesión 7 (27/05/2021) – Modalidad presencial:**

En esta sesión, después de entregar la pista –como se acostumbró durante todo el módulo– se utilizó el material didáctico número 2. En este caso como se vio en el Capítulo 3, la pista estuvo enfocada a introducir algunas convenciones importantes para los Diagramas de Feynman y, de igual manera, el material didáctico diseñado se enfocó también en comprender este método de representación. De acuerdo con las reglas estipuladas para el juego, se conformaron grupos a los cuales se les entregó un juego de cartas. Cada grupo organizó las parejas tratando de conectar la explicación con el correspondiente diagrama. Como en este caso, la alternancia permitió hacer la sesión presencial, se observó a los estudiantes participando en grupo, discutiendo, y construyendo conocimiento. No se trataba qué grupo terminara primero, sino que se les dieron 20 minutos para armar las parejas. Una vez terminaban, dejaban las parejas propuestas en la mesa y rotaban al grupo del lado para hacer una coevaluación. Solo un grupo tuvo todas las parejas correctas y fue el que apoyó a los demás. No obstante, los otros grupos alcanzaron entre 9 y 13 parejas correctas.

Al terminar las correcciones, cada grupo escribió en el cuaderno la mayor cantidad de patrones o convenciones que recordaron. Esto, además de la cantidad de parejas correctas, también les dio puntos o estrellas a la suma total que llevaban.

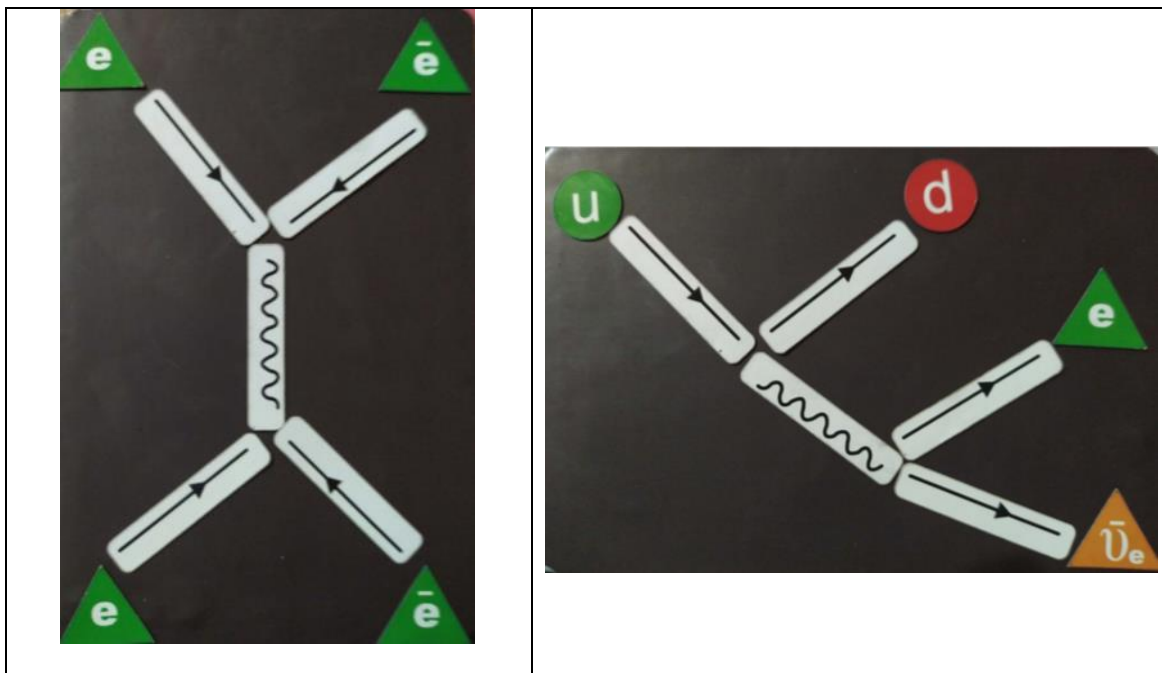
Figura 5-2: Evidencias de las convenciones que recordaron únicamente a través del juego con el elemento didáctico 2



- **Sesión 8 (02/06/2021) – Modalidad presencial:**

Después de entregar los ejemplos asignados como última pista del juego completo, los estudiantes aclararon sus dudas y procedieron a usar el elemento didáctico 3 del material diseñado. En esta oportunidad, debían construir el Diagrama de Feynman a partir de la situación descrita o de la ecuación dada.

Tabla 5-14: Ejemplo de Diagramas de Feynman contruidos por los estudiantes usando el elemento didáctico 3.



Lo más sobresaliente de esta sesión fue la dificultad que se evidenció en la creación de los diagramas correspondientes; a pesar de que trabajaron en grupo, no les fue fácil hacer los diagramas desde cero. De hecho, se puede afirmar que fue el ejercicio o la sesión que más dificultades les generó.

- **Sesión 9 (04/06/2021) y (09/06/2021)– Modalidad presencial:**

Esta sesión se dividió en dos etapas, la formativa y la sumativa, como se describió en el Capítulo 3. Estas actividades consistieron en exámenes escritos que hicieron de manera individual y autónoma. El examen formativo contenía 27 preguntas abiertas que debían realizar con su cuadernillo de ecuaciones y su calculadora. Fue válido hacer preguntas y aclarar dudas. El examen sumativo tenía 27 marcas o puntos, 5 de preguntas de selección y 22 de preguntas de carácter abierto y extenso. En esta ocasión no era permitido hacer preguntas y de nuevo solo se permitió usar el cuadernillo y la calculadora. Los resultados para la evaluación formativa del grupo focal fueron en promedio 17 de 27 y para la sumativa fueron 19.3 de 27. Se observó que una de las posibles razones por las cuales no les pudo ir mejor, fue porque no se generó la transición adecuada de las cartas al cuadernillo de datos para todos los estudiantes. Aunque algunos lo hicieron solos y de manera sencilla, muchos otros, en el momento de los exámenes (Anexo E y F), solicitaron la posibilidad de sacar las cartas (Anexo C) y no el cuadernillo (Anexo B) que es lo permitido por la Organización del Bachillerato Internacional. Cuando se les motivó a usar el cuadernillo, se observó, que no sabían interpretarlo y aplicarlo en el uso de las pruebas escritas dadas.

5.1.2 Resultados grupo control

Las sesiones del grupo control como ya se mencionó antes, fueron completamente magistrales, usando diapositivas y generando las explicaciones por parte del docente.

En general, la receptividad de los estudiantes estuvo bastante baja. Como todas las sesiones fueron virtuales, solo existió una en que todos prendieron la cámara; es decir, la primera. A medida que iban pasando los temas y las sesiones iban terminando, su interés y ánimo iban disminuyendo. Como se mencionó anteriormente, en todas las clases, se utilizó la misma metodología, a excepción de las dos últimas en las cuales ellos desarrollaron tanto la prueba formativa como la sumativa. A continuación, un pequeño resumen de que se trabajó en cada sesión.

- **Sesión 1 (27/04/2021)-Modalidad virtual:**

Durante la sesión 1 se realizó el contexto de toda la investigación y se les explicó el objetivo de su participación. De igual manera, tuvieron 10 minutos para contestar la encuesta diagnóstica y luego se empezó a desarrollar el tema. Durante esa ocasión, solo se alcanzó a abordar las características de las partículas y sus familias. En general, se percibió interés en la sesión, debido a las preguntas que los estudiantes generaron.

- **Sesión 2 (29/04/2021)-Modalidad virtual:**

La sesión 2 comenzó con un recuento de lo que se trabajó en la clase anterior. Se hicieron algunas preguntas sobre las clasificaciones y familias y se procedió a seguir con la explicación referente a las comparaciones de las intensidades de las fuerzas fundamentales para así introducir las partículas portadoras de fuerza y su función. En este caso, se generaron pequeños cuestionamientos frente a la comparación de la fuerza nuclear fuerte y de la gravedad, pero la curiosidad de los estudiantes no pasó de allí.

- **Sesión 3 (03/05/2021)-Modalidad virtual:**

Durante la sesión 3, se trabajaron las leyes de conservación, una vez reconocidas todas las partículas y sus características. Fue bastante complejo que generaran la explicación, pues no tenían conocimientos previos sobre las desintegraciones beta y alfa que se trabajaron en el tema anterior. De esta manera no reconocían ni siquiera las ecuaciones básicas que describen una fusión o una fisión.

- **Sesión 4 y 5 (06/05/2021)-Modalidad virtual:**

Las sesiones 5 y 6 se debieron llevar a cabo el mismo día. Teniendo en cuenta la disponibilidad de los estudiantes, ya que al ser de otro colegio y tener sus propias responsabilidades fue difícil organizar las sesiones de acuerdo con sus tiempos. Sin

embargo, se generó un espacio de intermedio entre las dos horas de clase para poder mantener un poco más su atención. Esta sesión fue la más difícil, pues los estudiantes ya estaban cansados y fue complejo trabajar con ellos. En efecto, uno de ellos llegó media hora tarde. Durante esta sesión se trabajó en los Diagramas de Feynman y sus convenciones y características. Aunque se trabajaron diversos ejemplos, no fue tan comprensible para ellos. En el caso de describirlos y explicarlos, se lograron avances, pero en el caso de empezarlos desde cero, fue prácticamente nulo la ganancia.

- **Sesión 6 (10/05/2021)-Modalidad virtual:**

Durante la antepenúltima sesión se desarrolló la evaluación formativa. Esta se hizo de manera individual. Aunque se exigió prender cámaras no siempre fue posible porque los estudiantes en algunos momentos manifestaron baja calidad de internet. Se respondieron preguntas, y se generó espacio de confianza por si tenían dudas. Estas al terminar la sesión fueron corregidas por el docente y fueron enviadas para poder generar la evaluación sumativa en la siguiente sesión. Los resultados fueron bastante regulares, pues en promedio de 27 preguntas solo tuvieron 8 correctas.

- **Sesión 7 (18/05/2021)-Modalidad virtual:**

La última sesión se realizó después de una semana con el objetivo de que pudieran entender y revisar las correcciones realizadas. En este caso, se repitió la metodología de la sesión anterior, donde se les pidió que encendieran las cámaras y contestaran en examen. En este caso no se les respondió ninguna pregunta. Como el grupo focal. Estaban autorizados para usar el cuadernillo de datos, (Anexo B) y su calculadora. De nuevo los resultados fueron bastante bajos, ya que el promedio de puntos obtenido fue de 6,5.

5.2 Análisis

Después de hacer el recuento de resultados, se procedió a analizarlos. Para esto, se produjeron las siguientes categorías, basadas en la pregunta de investigación. A partir de cada patrón se contrastó muestras de las evidencias recolectadas en los tres instrumentos de recolección de datos planteados, con el propósito de generar una correcta triangulación.

Tabla 5-15: Categorías de investigación estipuladas para el análisis.

| <i>¿Qué estrategias didácticas se pueden implementar para el aprendizaje significativo de la física de partículas en estudiantes de grado once?</i> | |
|--|--|
| CATEGORÍAS | PATRONES |
| Aprendizaje centrado en los estudiantes | <ol style="list-style-type: none"> 1. Los estudiantes demuestran habilidades en la construcción colectiva del aprendizaje. 2. Los estudiantes toman el liderazgo de su propio aprendizaje. |
| Revelaciones de aprendizaje significativo | <ol style="list-style-type: none"> 1. Formación de nuevo conocimiento a partir de los conocimientos previos. 2. Comprensión de los conceptos y contenidos propuestos. |
| Percepción positiva de los estudiantes frente al conocimiento | <ol style="list-style-type: none"> 1. Interés hacia el aprendizaje. 2. Participación activa. |

5.2.1 Categoría de investigación 1: Aprendizaje centrado en los estudiantes

Parte del enfoque pedagógico en el que está basado el módulo didáctico es en el aprendizaje centrado en los estudiantes, donde ellos son los protagonistas de su propio proceso y el docente es apenas una guía, como se manifestó en el capítulo 2. Asimismo, el aprendizaje basado en el juego, y en la aplicación de la gamificación, en la educación es una muestra de ello o una de las posibles estrategias en las cuales podemos ver evidencia de esta metodología pedagógica.

- **Los estudiantes demuestran habilidades en la construcción colectiva del aprendizaje.**

La construcción colectiva es una de las características más importantes del aprendizaje centrado en el estudiante, por lo cual se designó como un patrón dentro de esta primera categoría de investigación. Para todos los patrones, el recuadro rosado denota la evidencia recogida a través de las notas de campo; el recuadro azul, las evidencias recogidas a través de las entrevistas y el recuadro verde, las encontradas en los exámenes, test o documentos de los estudiantes.

Objetivo de la clase: Identificar las familias de acuerdo con sus características

Después de verlos jugar con las cartas del elemento 1, los estudiantes deben hacer su mapa conceptual sobre las características de las familias. Se les indica que inicialmente pueden socializar en grupos de a tres las características que recuerdan. Se observa que inicialmente les cuesta organizarse y hasta discuten por cómo generar este recuento. Algunos escriben en los cuadernos, otros no le prestan seriedad inmediatamente, pero aproximadamente después de seis minutos, el primer grupo toma la iniciativa de hacer su recuento en el tablero, el segundo lo hace en el tablero inteligente y el tercero, en una hoja blanca. Es positivo ver como se empiezan a integrar las ideas en cada grupo y se observan productos de la colaboración de todos. Se perciben entusiasmados y hasta el ver a los otros grupos les genera cierta competencia que los obliga a organizar mejor sus ideas.

(Segmento Nota de campo numero 3 - 13/05/2021)

Entrevista a estudiante del grupo focal:

Docente: ¿Qué es lo que más te ha gustado de las sesiones en las cuales hemos hecho la aplicación del módulo?

Estudiante: Me ha parecido muy 'bacano' jugar y aprender de esa manera. Creo que ninguna de nuestras clases tenemos estas actividades como juegos, o competencias o concursos y aunque parecería imposible aprender un tema difícil sobre todo en física, lo hemos hecho jugando. Otra cosa que me ha gustado mucho es poder aprender de mis compañeros, porque cuando estamos jugando aprendemos todos y a mí me queda más fácil aprender así. Deberíamos ver todos los temas así jugando y haciendo actividades en grupo.

(Entrevista número 1 - 13/05/2021)

Los estudiantes trabajaron en grupo durante la sesión 7

Después de jugar a hacer parejas con el elemento didáctico 2 y de corregir las parejas establecidas por el grupo del lado, los estudiantes trabajaron en grupo recordando la mayor cantidad de características o convenciones que recordaban de los Diagramas de Feynman. Aunque en este caso no fue una prueba como tal, el trabajo durante las clases es considerado siempre de carácter formativo. Por eso se eligió la evidencia referenciada previamente en el capítulo como la Figura 5-2. Pues ver la construcción colectiva directamente no es posible en una prueba de carácter individual.

(Muestra de evaluación formativa durante clase (Figura 5-2), 27/05/2021)

- **Los estudiantes toman el liderazgo de su propio aprendizaje.**

Una de las características, rasgos o representaciones más importantes del aprendizaje centrado en el estudiante, si no la más valiosa, es que los estudiantes se apropien de su propio proceso y tomen el liderazgo de su aprendizaje. Es debido a esto que fue uno de los dos patrones escogidos dentro de esta categoría. A continuación, las evidencias que se encontraron en cada instrumento para demostrar la triangulación:

Objetivo de la clase: comparar las intensidades de interacción de las fuerzas fundamentales, incluida la gravedad.

Cuando nos dicen por primera vez como docentes que los estudiantes pueden ser quienes construyen su propio aprendizaje, nos parece una locura y creemos que no será posible. Mucho menos con temas complejos como el de partículas. Sin embargo, hoy me he dado cuenta de que no he participado casi nada en la clase. Los estudiantes la han construido. Ellos han revisado la pista, han buscado información, han buscado objetos para poder representar, socializar y sustentar lo que representan en su foto o producto subido al Padlet. Asimismo, ellos son los que han hecho preguntas a sus demás compañeros sin ni siquiera pedírselas. En realidad, ha sido muy positivo ver como están enganchados en el aprendizaje y yo solo he jugado el papel de moderadora de la charla y de socializadora.

(Segmento Nota de campo número 4 - 18/05/2021)

Entrevista a estudiante del grupo focal:

Con las cartas pude entender cómo las partículas, en sus respectivos grupos, y ya conociéndolas de esa manera, podía comprender cómo trabajar con el booklet, (cuadernillo de datos-Anexo B), que es al final la herramienta más útil, pero podía comprender ese booklet, gracias a las cartas.

(Entrevista número 2 - 28/05/2021)

Evidencias sobre el liderazgo que tomaron los estudiantes a través de todo el módulo la verdad, son muchas; sin embargo, acá puedo citar las tablas 5-8, 5-9, 5-11, 5-12, 5-13.

En general a través de sus productos se observa cómo los estudiantes se apropiaron de su proceso, jugaron y complementaron las pistas dadas a través de la investigación.

(Diversas muestras de evaluación formativa durante las clases. Periodo comprendido entre 11/05/2021 y 25/05/2021)

5.2.2 Categoría de investigación 2: Revelaciones de aprendizaje significativo

Dentro del planteamiento inicial se expresó la importancia de evaluar si, a través del módulo didáctico que se empleó, es posible generar un proceso de aprendizaje significativo. De acuerdo con esto y con la pregunta de investigación planteada, se vio la necesidad de generar una categoría que permitiera a partir de los siguientes patrones, analizar esto.

- **Formación de nuevo conocimiento a partir de los conocimientos previos.**

Como se mencionó en el apartado 2.2.4 del marco teórico, los conocimientos previos se convierten en los subsensores que permiten el anclaje y la formación del nuevo conocimiento para que pueda llegar a ser significativo. Por ello es fundamental recolectar la evidencia que sugiere que a través de módulo esto se pueda generar.

Objetivo de la clase: Identificar las familias de partículas de acuerdo con sus características.

Los estudiantes de uno de los grupos al socializar las características que recordaban (después de jugar con el elemento didáctico 1) acudieron a generar una “tabla periódica de partículas”. Pude observar allí que sus conocimientos previos sobre la tabla periódica permitieron organizar mejor las características que recordaban. Aunque, por supuesto, el producto fue muy diferente de lo que es una tabla periódica, su organización de acuerdo con los números cuánticos fue similar. Al parecer fue más sencillo para ellos acudir a este elemento porque no partieron de cero en el modelo y pudieron recurrir a algo ya conocido.

(Segmento Nota de campo numero 3 - 13/05/2021)

Entrevista a estudiante del grupo focal:

Si en química en años pasados ya habíamos tocado obviamente los protones, los electrones y eso, obviamente esto ya fue mucho más avanzado, pero inicialmente ya sabía un poco cómo funcionaban las partículas y la estructura del átomo.

(Entrevista número 2 - 28/05/2021)

Evidencias generadas a partir de la evaluación diagnóstica

A través de las tablas 5-1, 5-2, 5-3 se observa cómo al tener ciertos conocimientos previos sobre el átomo y su composición se pudieron formar ideas nuevas a su vez de la composición de las partículas que forman esos elementos del átomo y de allí partir para entender las familias y sus características. Entendiendo que el electrón es diferente al protón, se pueden comprender cómo se forman las distintas familias.

(Evaluación diagnóstica o de conocimientos previos (Tablas 5-1, 5-2, 5-3),

- **Comprensión de los conceptos y contenidos propuestos.**

Una gran evidencia sobre el aprendizaje significativo, definitivamente es la comprensión de los conceptos y contenidos, por lo que se estableció como patrón determinante para demostrar aprendizaje significativo. Aunque sería mucho mejor haberlo podido medir después de pasado un tiempo, los procesos exigieron que se valorará durante el módulo y, sobre todo, al finalizar el proceso o la aplicación del módulo.

Objetivo de la clase: Aplicar las leyes de conservación en reacciones de las partículas a las familias de partículas de acuerdo con sus características.

A medida que los estudiantes subían las fotos al Padlet, podía observar cómo iban comprendiendo cada vez más los conceptos y las leyes de conservación asociadas. En un principio algunos planteaban bien la interacción y su análisis frente a la posibilidad de cumplirse de acuerdo con las leyes de conservación. Sin embargo, al final todos lo hicieron muy bien. Estaban muy emocionados pudiendo armar la ecuación con las cartas. Fue muy difícil identificar quién subía la foto primero, así que me tocó darles estrellas a todos casi por igual.

(Segmento Nota de campo número 6 - 25/05/2021)

Entrevista a estudiante 1 del grupo focal:

Al final, comprendí el uso del cuadernillo. Cuando entendí eso, ya pude hacer todos los ejercicios, porque no necesariamente me tenía que saber de memoria cada partícula, sino saber como digamos por los grupos qué número leptónico y qué número ta ta ta, entonces; así como entenderlas no como individuales sino como en estructura, me ayudó mucho.

Entrevista a estudiante 2 del grupo focal:

Siento que fue un tema que al principio lo vimos un poco más difícil, porque pues estamos acostumbrados, ya como que estábamos viendo como más teorías de fórmulas y cosas por el estilo como ya era movimiento, mecánica y todo esto y cuando nos introdujeron que íbamos a empezar a ver física nuclear y especial partículas como que, y que la mayoría lo cogimos como un tema muy complicado. Al principio estábamos muy confundidos, pero creo que el hecho de tener las cartas y hacer el ejercicio como más interactivo y más entre nosotros nos hizo hacerlo más sencillo y al final terminó siendo un tema relativamente fácil y a la mayoría de nosotros fue uno de los temas que más claro nos quedó.

(Entrevista número 3 - 10/05/2021)

Resultados de la prueba escrita formativa y sumativa: grupo focal vs grupo control.

La diferencia entre los resultados promedio del grupo focal y el grupo control, fueron bastante dicientes. Mientras el grupo control obtuvo como promedio 8 de 27 preguntas correctas, el promedio del grupo focal fue de 17 de 27. Cabe resaltar que en la prueba escrita formativa podían hacer preguntas y aclarar dudas.

Respecto a la sumativa, los resultados también fueron muy diferentes, pues mientras el grupo control tuvo como promedio 6.5 marcas o puntos de 27, el grupo focal obtuvo 19.3.

(Prueba escrita formativa y sumativa, aplicadas al grupo control 10/05/2021 y 18/05/2021 respectivamente. Al grupo focal fueron aplicadas el 04/06/2021 y 09/06/2021.

5.2.3 Categoría de investigación 3: Percepción positiva de los estudiantes frente al conocimiento

Otra de las condiciones primordiales. mas no obligatorias del aprendizaje significativo, es la motivación o percepción que los estudiantes tengan hacia su aprendizaje y proceso de construcción de conocimiento. Debido a esto se generó esta categoría de investigación junto con los patrones que la evidencian. A continuación, las evidencias encontradas en cada instrumento de recolección de datos de acuerdo con los patrones establecidos.

- **Interés hacia el aprendizaje.**

Es claro que cuando se observa interés en el aprendizaje se puede afirmar que existe una percepción positiva mediada por una motivación de los estudiantes hacia el aprendizaje.

Objetivo de la clase: Dibujar aproximadamente e interpretar diagramas sencillos de Feynman.

Los estudiantes arman los diagramas de Feynman establecidos. Se les han dado cuatro diagramas y la clase está por terminar. Ellos insisten en que les dé más y más ejercicios para poder practicar más. Se observa que se sienten cada vez más cómodos y con más confianza, porque reciben una retroalimentación positiva. Hace pensar que quieren retarse con ejercicios cada vez más complejos. Sin embargo, debido a que la clase ya casi se va a acabar, no me es posible darles un ejercicio más. Es motivante verlos interesados en seguir con la actividad planeada.

(Segmento Nota de campo número 8 - 02/06/2021)

Entrevista a estudiante 1 del grupo focal:

Este tema me pareció un tema normal, ni fácil ni difícil, pero me gustó. Aprender jugando me pareció algo como muy nuevo, fuera como de lo normal, pero me ayudó mucho porque uno aprecia las cartas y se aprende más o menos como todo... o sea tiene como una imagen más gráfica de lo de la información y todo eso, y me ayudó mucho como a memorizar las clasificaciones y las características de las partículas.

Entrevista a estudiante 2 del grupo focal:

Siento que en un principio el tema se veía difícil, pero con las cartas, por ejemplo, fue una gran ayuda para entender más cómo los componentes de cada partícula. Podría decir que sí es un tema difícil, pero con los diferentes métodos de cómo se estudió, fue fácil.

(Entrevista número 3 - 10/05/2021)

Evidencias a partir de los documentos formativos de los estudiantes.

En las tablas 5-11 y 5-12 se puede evidenciar una muestra del interés, por parte de los estudiantes, hacia el aprendizaje. Estos productos los diseñaron y desarrollaron ellos de tal manera que pudieran complementar lo que han suministrado en la pista. Efectivamente, los resultados sorprenden, ya que demuestran el compromiso por su aprendizaje.

(Muestras de infografías desarrolladas por los estudiantes (Tablas 5-1, 5-2, 5-3), 20/05/2021)

- **Participación activa.**

Además del interés, la percepción positiva se puede valorar a partir del ambiente de aprendizaje que se genera. La participación activa es uno de esos indicadores significativos.

Objetivo de la clase: Identificar las familias de partículas de acuerdo con sus características.

Los estudiantes están muy emocionados de estar jugando y participando. Ha sido realmente sorprendente que se hayan inventado características para jugar, como el número de letras del nombre de la partícula. Aunque pensé en un inicio, qué tan significativo puede ser que jueguen con esto, creo que les ayuda a recordar la partícula. Mientras juegan, algunos se asombran de la diferencia entre las masas, las cargas. Algunos leen la leyenda que tiene cada carta. En general se observa muchísima participación y motivación.

(Segmento Nota de campo número 3 - 13/05/2021)

Entrevista a estudiante del grupo focal:

Me gustó mucho aprender cómo son las partículas, para qué son estas partículas, por qué sí pueden estar una con la otra, o no ésta con ésta y cómo que otras cosas más grandes generaban estas partículas, porque yo antes tenía esta idea del átomo y de los protones, electrones y neutrones, pero no sabía que cosas pequeñas hacían estas otras cosas más grandes que igual son muy chiquitas.

Lo que más me sirvió para aprender fue participar mucho en las actividades. Igual tú sabes que a mí me gusta, digamos, participar mucho, pero obvio con este tema me gustó más, pues era jugar y seguir jugando, jajaja.

(Entrevista número 3 - 10/05/2021)

Evidencias generadas a partir de la construcción del avatar

A partir de la sesión donde se construyó el avatar se evidencia que los estudiantes se apropiaron de esa identidad durante todo el módulo. Participaron activamente en la construcción de conocimiento. Una de las evidencias más grandes fue precisamente el producto que se logró en esta segunda sesión.

(Producto formativo generado a partir de la segunda sesión al desarrollar el avatar 11/05/2021)

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

Se identificaron seis habilidades disciplinares como las requeridas por el Programa del Diploma para todos aquellos estudiantes que cursan este currículo. Estas se pueden observar en la tabla 2-4, expuesta en el capítulo 2. Sin embargo, se diseñó el módulo únicamente teniendo en cuenta las primeras cinco. Para poder generar el proceso correcto de enseñanza y aprendizaje de la primera habilidad planteada, se requirió inicialmente trabajar en identificar las características de una partícula, clasificarlas de acuerdo con sus familias y de esta manera poder aplicar las leyes de conservación en diversas reacciones de partículas.

Entre de los conocimientos previos identificados a través del formulario de Google diseñado, o la llamada evaluación diagnóstica, se observó que conocer previamente los componentes internos del átomo, facilitó la construcción de conocimiento nuevo. Aunque no todos lo recordaban correctamente o en forma completa, este se convirtió en el principal subsunor de anclaje para la construcción de aprendizaje significativo.

Se diseñó e implementó un módulo didáctico que contenía nueve sesiones atractivas, interesantes y retadoras, las cuales motivaron a los participantes del proyecto a ser los protagonistas de su propio proceso de aprendizaje dentro de un enfoque constructivista, bajo la modalidad de aprendizaje centrado en el estudiante. La estrategia utilizada fue la gamificación aplicada en la educación y el aprendizaje basado en el juego. Los estudiantes afirmaron haber aprovechado y disfrutado la metodología que les permitía aprender de

manera dinámica y diferente. Asimismo, como consecuencia, una gran mayoría expresó haber escogido el tema de la física de partículas como uno de sus preferidos.

Dentro de los hallazgos más significativos se encontró que lo que más valoraron y lo que más recordaron, fue aprender a distinguir las características de las partículas, las familias y las leyes de conservación usando las cartas diseñadas, dado que reconocieron este recurso visual como un material didáctico determinante para poder comprender más fácil, simple y de manera atractiva estos temas, que para algunos eran abstractos y complejos.

El tema que los estudiantes reconocieron como el más difícil de entender, a pesar de trabajarlo con elementos didácticos, fue el de la representación de interacciones a partir de los Diagramas de Feynman. Afirmaron que cuando ya se mezclaban las diversas representaciones de muchas partículas, esto lo hacía más abstracto. Se observó dentro de las actividades desarrolladas, que, para ellos, relacionar las explicaciones con el diagrama correspondiente no representaba mayor dificultad, al igual que describir o explicar uno ya dibujado. Sin embargo, cuando era necesario empezar desde cero dicho diagrama, la mayoría no tenía el conocimiento o la práctica suficiente.

El aprendizaje basado en el juego y la gamificación aplicada en la educación, generó un proceso de aprendizaje positivo, interés y participación activa por parte de los estudiantes. Esto permitió construir y posibilitar el aprendizaje significativo, anclando nuevos conocimientos a estos subsunores o conocimientos previos ya establecidos.

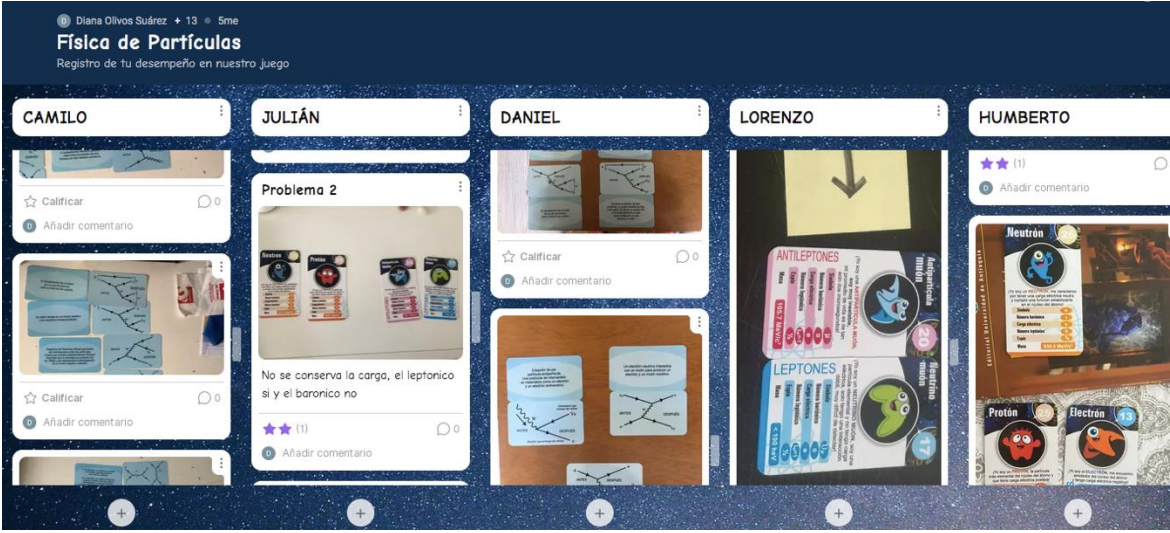
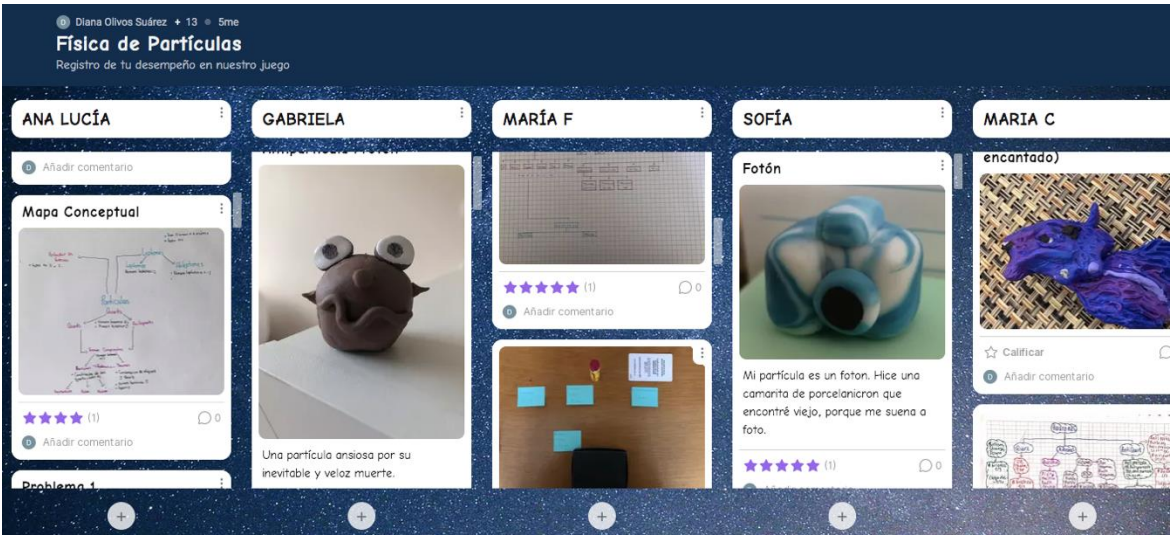
6.2 Recomendaciones

Se identificó que para que la aplicación del módulo sea más efectiva, se debe dedicar mucho más tiempo a las actividades. Es posible que se pueda ampliar de nueve a 15 sesiones. Los estudiantes señalaron la necesidad de trabajar mucho más, por ejemplo, en los Diagramas de Feynman.

Se debe tener en cuenta que no todos los estudiantes tienen la misma forma de aprender, puesto que en el caso de la aplicación del módulo se evidenció que una estudiante del grupo focal manifestó la dificultad para aprender de esta manera. Ella solicitó que le prestaran las cartas para poder organizar sus apuntes y efectuar una mejor comprensión del tema. De esta manera se recomienda generar dinámicas alternas a la hora de aplicar las actividades, enfocadas en este tipo de estudiantes que necesitan otras dinámicas para comprender mejor.

Asimismo, se aconseja generar una mejor introducción o conexión del uso de las cartas y el cuadernillo de datos, porque no se puede dar por hecho que los estudiantes lo hagan de manera automática. Se deben destinar una o varias sesiones en donde, además de las cartas, usen el cuadernillo y de esta forma no sea nuevo a la hora de tener una prueba escrita.

A. Anexo: Muestra del Padlet construido por los estudiantes.



B. Anexo: Fragmento de física de partículas en el cuadernillo suministrado a los estudiantes por el IB.

| Subtema 7.3: La estructura de la materia | | | | | | | | | |
|---|---|----------------------|---|----------------------|--|-------------------------|-----------|-----------------------|--|
| Carga | | Quarks | | Número bariónico | Carga | | Leptones | | |
| $\frac{2}{3}e$ | u | c | t | $\frac{1}{3}$ | -1 | e | μ | τ | |
| $-\frac{1}{3}e$ | d | s | b | $\frac{1}{3}$ | 0 | ν_e | ν_μ | ν_τ | |
| Todos los quarks tienen un valor de extrañeza de 0 excepto el quark extraño que tiene extrañeza de -1 | | | | | Todos los leptones tienen un número leptónico de 1 y los antileptones tienen un número leptónico de -1 | | | | |
| | | Fuerza gravitacional | | Fuerza nuclear débil | | Fuerza electromagnética | | Fuerza nuclear fuerte | |
| Partículas afectadas | | Todas | | Quarks, leptones | | Cargadas | | Quarks, gluones | |
| Partículas mediadoras | | Gravitón | | W^+, W^-, Z^0 | | γ | | Gluones | |

C. Anexo: Elemento didáctico 1

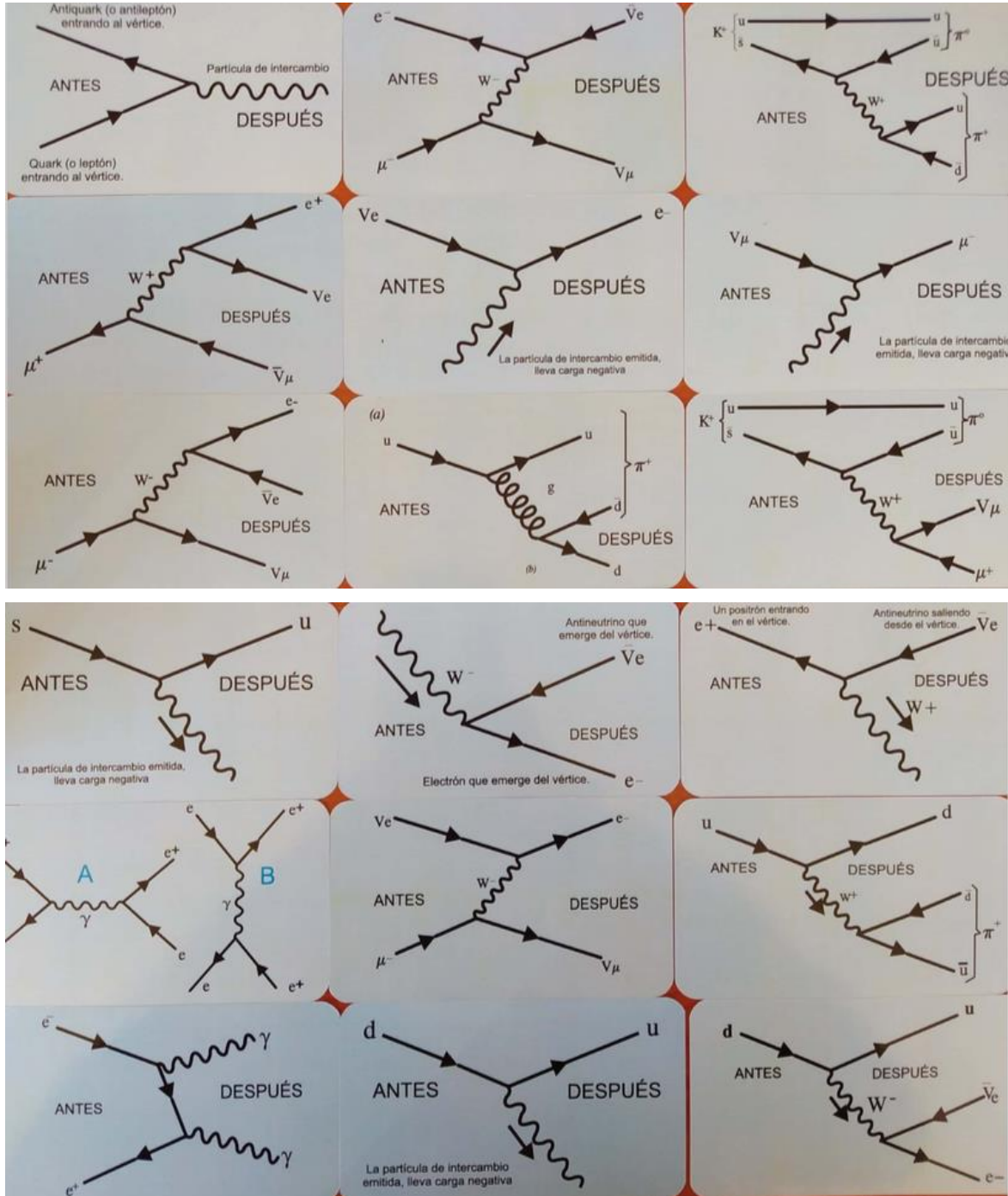
| Up | Charm | Top | Down | Strange | Bottom |
|--|--|--|--|--|---|
| <p>(Yo soy un QUARK UP, soy la partícula más elemental y perteneczo a la primera generación)</p> <p>Símbolo: u Número bariónico: 1/3 Carga eléctrica: 2/3 Número leptónico: 0 Spin: 1/2 Masa: 1.9 MeV/c²</p> | <p>(Yo soy un QUARK CHARM o 'encantado', perteneczo a la segunda generación y revolucioné la ciencia!)</p> <p>Símbolo: c Número bariónico: 1/3 Carga eléctrica: 2/3 Número leptónico: 0 Spin: 1/2 Masa: 1.320 MeV/c²</p> | <p>(Yo soy un QUARK TOP y, hasta la fecha, el más masivo, pero muy inestable!)</p> <p>Símbolo: t Número bariónico: 1/3 Carga eléctrica: 2/3 Número leptónico: 0 Spin: 1/2 Masa: 172.700 MeV/c²</p> | <p>(Yo soy el QUARK DOWN, junto con el UP y los electrones formo toda la materia de la que estamos hechos!)</p> <p>Símbolo: d Número bariónico: 1/3 Carga eléctrica: -1/3 Número leptónico: 0 Spin: 1/2 Masa: 4.4 MeV/c²</p> | <p>(Yo soy el QUARK STRANGE, una partícula elemental y extraña, que tenía una vida media 'suprafamiliar' superior a la esperada!)</p> <p>Símbolo: s Número bariónico: 1/3 Carga eléctrica: -1/3 Número leptónico: 0 Spin: 1/2 Masa: 87 MeV/c²</p> | <p>(Yo soy el QUARK BOTTOM, perteneczo a la tercera generación y soy el segundo más masivo, con una masa cuatro veces la del protón!)</p> <p>Símbolo: b Número bariónico: 1/3 Carga eléctrica: -1/3 Número leptónico: 0 Spin: 1/2 Masa: 4.240 MeV/c²</p> |
| Antipartícula Up | Antipartícula Charm | Antipartícula Top | Antipartícula Down | Antipartícula Strange | Antipartícula Bottom |
| <p>(Yo soy una ANTIQUARK UP de la primera generación y constituyo la materia común!)</p> <p>Símbolo: \bar{u} Número bariónico: -1/3 Carga eléctrica: -2/3 Número leptónico: 0 Spin: 1/2 Masa: 1.9 MeV/c²</p> | <p>(Yo soy una ANTIQUARK CHARM, tengo carga anticolor y experimento una interacción fuerte!)</p> <p>Símbolo: \bar{c} Número bariónico: -1/3 Carga eléctrica: -2/3 Número leptónico: 0 Spin: 1/2 Masa: 1.320 MeV/c²</p> | <p>(Yo soy una ANTIQUARK TOP y fui el último de los quarks descubiertos, en 1995!)</p> <p>Símbolo: \bar{t} Número bariónico: -1/3 Carga eléctrica: -2/3 Número leptónico: 0 Spin: 1/2 Masa: 172.700 MeV/c²</p> | <p>(Yo soy una ANTIQUARK DOWN, no actúo sola, sino que me asocio con uno o dos quarks más!)</p> <p>Símbolo: \bar{d} Número bariónico: -1/3 Carga eléctrica: 1/3 Número leptónico: 0 Spin: 1/2 Masa: 4.4 MeV/c²</p> | <p>(Yo soy una ANTIQUARK STRANGE, tengo carga anticolor, interacción fuerte y una vida muy corta!)</p> <p>Símbolo: \bar{s} Número bariónico: -1/3 Carga eléctrica: 1/3 Número leptónico: 0 Spin: 1/2 Masa: 87 MeV/c²</p> | <p>(Yo soy una ANTIQUARK BOTTOM, ayudé a la desintegración del histórico bosón de Higgs!)</p> <p>Símbolo: \bar{b} Número bariónico: -1/3 Carga eléctrica: 1/3 Número leptónico: 0 Spin: 1/2 Masa: 4.240 MeV/c²</p> |

| Electrón | Muón | Tau | Neutrino electrón | Neutrino muón | Neutrino tau |
|--|---|--|---|---|---|
| <p>(Yo soy el ELECTRÓN, me encuentro alrededor del núcleo del átomo y tengo carga eléctrica negativa!)</p> <p>Símbolo: e Número bariónico: 0 Carga eléctrica: -1 Número leptónico: L=1 Spin: 1/2 Masa: 0.511 MeV/c²</p> | <p>(Yo soy el MUÓN, tengo carga eléctrica positiva o negativa igual a la del electrón, pero mi masa es 207 veces mayor!)</p> <p>Símbolo: μ Número bariónico: 0 Carga eléctrica: -1 Número leptónico: L=1 Spin: 1/2 Masa: 105.7 MeV/c²</p> | <p>(Yo soy el TAU, una partícula elemental masiva y tengo una vida media muy corta y fui detectado por el colisionador de Stanford!)</p> <p>Símbolo: τ Número bariónico: 0 Carga eléctrica: -1 Número leptónico: L=1 Spin: 1/2 Masa: 1.780 MeV/c²</p> | <p>(Yo soy un NEUTRINO ELECTRÓN, no tengo carga eléctrica, pero sí una masa muy pequeña y me muevo a una velocidad cercana a la de la luz!)</p> <p>Símbolo: ν_e Número bariónico: 0 Carga eléctrica: 0 Número leptónico: L=1 Spin: 1/2 Masa: < 1 eV</p> | <p>(Yo soy un NEUTRINO MUÓN, soy una partícula elemental y no tengo carga eléctrica, solo tengo una interacción débil, muy difícil de detectar!)</p> <p>Símbolo: ν_μ Número bariónico: 0 Carga eléctrica: 0 Número leptónico: L=1 Spin: 1/2 Masa: < 190 keV</p> | <p>(Yo soy un NEUTRINO TAU, soy una partícula elemental, tengo masa pequeña, pero no carga eléctrica, casi no me distingo de los otros dos neutrinos!)</p> <p>Símbolo: ν_τ Número bariónico: 0 Carga eléctrica: 0 Número leptónico: L=1 Spin: 1/2 Masa: < 18.2 MeV</p> |
| Positrón | Antipartícula muón | Antipartícula tau | Antipartícula Neutrino electrón | Antipartícula Neutrino muón | Antipartícula Neutrino tau |
| <p>(Yo soy un POSITRÓN, no soy materia, sino antimateria y me utilizan en medicina nuclear!)</p> <p>Símbolo: e^+ Número bariónico: 0 Carga eléctrica: +1 Número leptónico: L=-1 Spin: 1/2 Masa: 0.511 MeV/c²</p> | <p>(Yo soy una ANTIQUARK MUÓN, soy muy inestable, mi promedio de vida es de tan solo dos microsegundos!)</p> <p>Símbolo: $\bar{\mu}$ Número bariónico: 0 Carga eléctrica: +1 Número leptónico: L=-1 Spin: 1/2 Masa: 105.7 MeV/c²</p> | <p>(Yo soy una ANTIQUARK TAU, tengo una vida media muy corta y soy el único leptón con masa necesaria para desintegrarse!)</p> <p>Símbolo: $\bar{\tau}$ Número bariónico: 0 Carga eléctrica: +1 Número leptónico: L=-1 Spin: 1/2 Masa: 1.780 MeV/c²</p> | <p>(Yo soy una ANTIQUARK NEUTRINO ELECTRÓN, tengo una masa una diez mil veces menor que la del electrón!)</p> <p>Símbolo: $\bar{\nu}_e$ Número bariónico: 0 Carga eléctrica: 0 Número leptónico: L=-1 Spin: 1/2 Masa: < 1 eV</p> | <p>(Yo soy una ANTIQUARK NEUTRINO MUÓN y tengo carga nula, por lo cual tanto el neutrino como el antineutrino podría indicar que ambas son en realidad la misma partícula!)</p> <p>Símbolo: $\bar{\nu}_\mu$ Número bariónico: 0 Carga eléctrica: 0 Número leptónico: L=-1 Spin: 1/2 Masa: < 190 keV</p> | <p>(Yo soy una ANTIQUARK NEUTRINO TAU, con una masa un millón de veces menor que la del electrón, pero no nula!)</p> <p>Símbolo: $\bar{\nu}_\tau$ Número bariónico: 0 Carga eléctrica: 0 Número leptónico: L=-1 Spin: 1/2 Masa: < 18.2 MeV</p> |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------------------------|-----------|------------------|----------|-----------------|----------|------------------|----------|-------|------------|------|--------------------------------|--|---------|----------------------|------------------|----------|-----------------|----------|------------------|----------|-------|------------|------|--------------------------------|---|---------|----------------------|------------------|----------|-----------------|----------|------------------|----------|-------|----------|------|--------------------------------|--|---------|----------------------|------------------|----------|-----------------|----------|------------------|----------|---|----------|----------------------|--------------------------------|---|---------|----------------------|------------------|---------------------------------|-----------------|----------|------------------|----------|-------|----------|------|--------------------------------|
| <h3>Protón</h3>  <p>¡Yo soy un PROTON, la partícula más elemental del núcleo del átomo y que tiene carga eléctrica positiva!</p> <table border="1"> <tr><td>Simbolo</td><td>p</td></tr> <tr><td>Número bariónico</td><td>1</td></tr> <tr><td>Carga eléctrica</td><td>+</td></tr> <tr><td>Número leptónico</td><td>0</td></tr> <tr><td>Espin</td><td>1/2</td></tr> <tr><td>Masa</td><td>938.3 MeV/c²</td></tr> </table> | Simbolo | p | Número bariónico | 1 | Carga eléctrica | + | Número leptónico | 0 | Espin | 1/2 | Masa | 938.3 MeV/c² | <h3>Neutrón</h3>  <p>¡Yo soy un NEUTRON, me caracterizo por tener una carga eléctrica neutra y cumplo una función estabilizante en el núcleo del átomo!</p> <table border="1"> <tr><td>Simbolo</td><td>n</td></tr> <tr><td>Número bariónico</td><td>1</td></tr> <tr><td>Carga eléctrica</td><td>0</td></tr> <tr><td>Número leptónico</td><td>0</td></tr> <tr><td>Espin</td><td>1/2</td></tr> <tr><td>Masa</td><td>939.6 MeV/c²</td></tr> </table> | Simbolo | n | Número bariónico | 1 | Carga eléctrica | 0 | Número leptónico | 0 | Espin | 1/2 | Masa | 939.6 MeV/c² | <h3>Pión</h3>  <p>¡Yo soy un PIÓN, estoy compuesto por un quark y un antiquark y soy el más ligero de todos los mesones!</p> <table border="1"> <tr><td>Simbolo</td><td>π⁰</td></tr> <tr><td>Número bariónico</td><td>0</td></tr> <tr><td>Carga eléctrica</td><td>0</td></tr> <tr><td>Número leptónico</td><td>0</td></tr> <tr><td>Espin</td><td>0</td></tr> <tr><td>Masa</td><td>134.9 MeV/c²</td></tr> </table> | Simbolo | π⁰ | Número bariónico | 0 | Carga eléctrica | 0 | Número leptónico | 0 | Espin | 0 | Masa | 134.9 MeV/c² | <h3>Pión positivo</h3>  <p>¡Yo soy un PIÓN POSITIVO, estoy compuesto por un quark up y uno antidown!</p> <table border="1"> <tr><td>Simbolo</td><td>π⁺</td></tr> <tr><td>Número bariónico</td><td>0</td></tr> <tr><td>Carga eléctrica</td><td>+</td></tr> <tr><td>Número leptónico</td><td>0</td></tr> <tr><td>Espin</td><td>0</td></tr> <tr><td>Masa</td><td>139.6 MeV/c²</td></tr> </table> | Simbolo | π⁺ | Número bariónico | 0 | Carga eléctrica | + | Número leptónico | 0 | Espin | 0 | Masa | 139.6 MeV/c² | <h3>Pión negativo</h3>  <p>¡Yo soy un PIÓN NEGATIVO, estoy compuesto por un quark down y uno antiup!</p> <table border="1"> <tr><td>Simbolo</td><td>π⁻</td></tr> <tr><td>Número bariónico</td><td>0</td></tr> <tr><td>Carga eléctrica</td><td>-</td></tr> <tr><td>Número leptónico</td><td>0</td></tr> <tr><td>Espin</td><td>0</td></tr> <tr><td>Masa</td><td>139.6 MeV/c²</td></tr> </table> | Simbolo | π⁻ | Número bariónico | 0 | Carga eléctrica | - | Número leptónico | 0 | Espin | 0 | Masa | 139.6 MeV/c² |
| Simbolo | p | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Número bariónico | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Carga eléctrica | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Número leptónico | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Espin | 1/2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Masa | 938.3 MeV/c² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Simbolo | n | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Número bariónico | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Carga eléctrica | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Número leptónico | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Espin | 1/2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Masa | 939.6 MeV/c² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Simbolo | π⁰ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Número bariónico | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Carga eléctrica | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Número leptónico | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Espin | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Masa | 134.9 MeV/c² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Simbolo | π⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Número bariónico | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Carga eléctrica | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Número leptónico | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Espin | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Masa | 139.6 MeV/c² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Simbolo | π⁻ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Número bariónico | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Carga eléctrica | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Número leptónico | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Espin | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Masa | 139.6 MeV/c² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <h3>Antipartícula protón</h3>  <p>¡Yo soy una ANTIPARTÍCULA PROTÓN, estable, de vida muy corta, porque con cualquier colisión me aniquilan!</p> <table border="1"> <tr><td>Simbolo</td><td>p̄</td></tr> <tr><td>Número bariónico</td><td>0</td></tr> <tr><td>Carga eléctrica</td><td>-</td></tr> <tr><td>Número leptónico</td><td>0</td></tr> <tr><td>Espin</td><td>1/2</td></tr> <tr><td>Masa</td><td>938.3 MeV/c²</td></tr> </table> | Simbolo | p̄ | Número bariónico | 0 | Carga eléctrica | - | Número leptónico | 0 | Espin | 1/2 | Masa | 938.3 MeV/c² | <h3>Kaón positivo</h3>  <p>¡Yo soy un KAÓN POSITIVO y me caracterizo por tener un quark strange!</p> <table border="1"> <tr><td>Simbolo</td><td>k⁺</td></tr> <tr><td>Número bariónico</td><td>0</td></tr> <tr><td>Carga eléctrica</td><td>+</td></tr> <tr><td>Número leptónico</td><td>0</td></tr> <tr><td>Espin</td><td>0</td></tr> <tr><td>Masa</td><td>493.7 MeV/c²</td></tr> </table> | Simbolo | k⁺ | Número bariónico | 0 | Carga eléctrica | + | Número leptónico | 0 | Espin | 0 | Masa | 493.7 MeV/c² | <h3>Kaón negativo</h3>  <p>¡Yo soy un KAÓN NEGATIVO y tengo un quark strange y un antiquark arriba!</p> <table border="1"> <tr><td>Simbolo</td><td>k⁻</td></tr> <tr><td>Número bariónico</td><td>0</td></tr> <tr><td>Carga eléctrica</td><td>-</td></tr> <tr><td>Número leptónico</td><td>0</td></tr> <tr><td>Espin</td><td>0</td></tr> <tr><td>Masa</td><td>497.7 MeV/c²</td></tr> </table> | Simbolo | k⁻ | Número bariónico | 0 | Carga eléctrica | - | Número leptónico | 0 | Espin | 0 | Masa | 497.7 MeV/c² | <h3>Fotón</h3>  <p>¡Yo soy un FOTÓN, soy la única partícula elemental visible al ojo humano!</p> <table border="1"> <tr><td>Simbolo</td><td>γ</td></tr> <tr><td>Carga eléctrica</td><td>0</td></tr> <tr><td>Espin</td><td>1</td></tr> <tr><td>Masa</td><td>0</td></tr> </table> <p>PORTADORES DE FUERZA</p> | Simbolo | γ | Carga eléctrica | 0 | Espin | 1 | Masa | 0 | <h3>Bosón W+</h3>  <p>¡Yo soy un BOSÓN W y tengo carga eléctrica positiva!</p> <table border="1"> <tr><td>Simbolo</td><td>W⁺</td></tr> <tr><td>Carga eléctrica</td><td>+</td></tr> <tr><td>Espin</td><td>1</td></tr> <tr><td>Masa</td><td>80.385 GeV/c²</td></tr> </table> <p>PORTADORES DE FUERZA</p> | Simbolo | W⁺ | Carga eléctrica | + | Espin | 1 | Masa | 80.385 GeV/c² | | | | | | | | |
| Simbolo | p̄ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Número bariónico | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Carga eléctrica | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Número leptónico | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Espin | 1/2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Masa | 938.3 MeV/c² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Simbolo | k⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Número bariónico | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Carga eléctrica | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Número leptónico | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Espin | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Masa | 493.7 MeV/c² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Simbolo | k⁻ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Número bariónico | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Carga eléctrica | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Número leptónico | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Espin | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Masa | 497.7 MeV/c² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Simbolo | γ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Carga eléctrica | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Espin | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Masa | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Simbolo | W⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Carga eléctrica | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Espin | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Masa | 80.385 GeV/c² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------------------------|----------------------|-----------------|----------|-------|----------|------|---------------------------------|--|---------|----------------------|-----------------|----------|-------|----------|------|---------------------------------|--|---------|----------|-----------------|----------|-------|----------|------|----------|---|---------|----------------------|-----------------|----------|-------|----------|------|---------------------------------|
| <h3>Bosón W-</h3>  <p>¡Yo soy un BOSÓN W y tengo carga eléctrica negativa!</p> <table border="1"> <tr><td>Simbolo</td><td>W⁻</td></tr> <tr><td>Carga eléctrica</td><td>-</td></tr> <tr><td>Espin</td><td>1</td></tr> <tr><td>Masa</td><td>80.385 GeV/c²</td></tr> </table> <p>PORTADORES DE FUERZA</p> | Simbolo | W⁻ | Carga eléctrica | - | Espin | 1 | Masa | 80.385 GeV/c² | <h3>Bosón Z</h3>  <p>¡Yo soy un BOSÓN Z y no tengo carga eléctrica.</p> <table border="1"> <tr><td>Simbolo</td><td>Z⁰</td></tr> <tr><td>Carga eléctrica</td><td>0</td></tr> <tr><td>Espin</td><td>1</td></tr> <tr><td>Masa</td><td>91.188 GeV/c²</td></tr> </table> <p>PORTADORES DE FUERZA</p> | Simbolo | Z⁰ | Carga eléctrica | 0 | Espin | 1 | Masa | 91.188 GeV/c² | <h3>Gluón</h3>  <p>¡Yo soy un GLUÓN y soy lo que sostiene los átomos unidos!</p> <table border="1"> <tr><td>Simbolo</td><td>g</td></tr> <tr><td>Carga eléctrica</td><td>0</td></tr> <tr><td>Espin</td><td>1</td></tr> <tr><td>Masa</td><td>0</td></tr> </table> <p>PORTADORES DE FUERZA</p> | Simbolo | g | Carga eléctrica | 0 | Espin | 1 | Masa | 0 | <h3>Bosón de Higgs</h3>  <p>¡Yo soy un BOSÓN DE HIGGS y llevo el nombre de Peter Higgs, ganador del Premio Nobel en 2013!</p> <table border="1"> <tr><td>Simbolo</td><td>H⁰</td></tr> <tr><td>Carga eléctrica</td><td>0</td></tr> <tr><td>Espin</td><td>0</td></tr> <tr><td>Masa</td><td>125.09 GeV/c²</td></tr> </table> <p>PORTADORES DE FUERZA</p> | Simbolo | H⁰ | Carga eléctrica | 0 | Espin | 0 | Masa | 125.09 GeV/c² |
| Simbolo | W⁻ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Carga eléctrica | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Espin | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Masa | 80.385 GeV/c² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Simbolo | Z⁰ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Carga eléctrica | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Espin | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Masa | 91.188 GeV/c² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Simbolo | g | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Carga eléctrica | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Espin | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Masa | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Simbolo | H⁰ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Carga eléctrica | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Espin | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Masa | 125.09 GeV/c² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

D. Anexo: Elemento didáctico 2



| | | |
|---|--|--|
| <p>A. Un electrón y un positrón se aniquilan en un fotón, que luego produce otro electrón y positrón.</p> <p>B. Un electrón y un positrón interactúan enviando un fotón entre ellos. Este es definitivamente un proceso diferente, ya que el electrón y el positrón nunca se tocan, a diferencia del primer diagrama.</p> | <p>Un neutrino muón interactúa con una partícula de intercambio y se convierte en un muón.</p> | <p>Durante la colisión de dos protones, un quark cambia de tipo o de sabor. Se libera un bosón W^+ y se materializa en un par quark-antiquark, lo que produce un pión.</p> |
| <p>Durante una colisión de dos protones, se libera un gluón y luego se materializa en un par quark-antiquark del mismo tipo o sabor. Esto produce un pión, que es una partícula elemental del grupo de los mesones, cuya masa es unas 270 veces la del electrón.</p> | <p>La aniquilación electrón-positrón, vista como la emisión de dos fotones en dos vértices sucesivos.</p> | <p>Un electrón neutrino interactúa con un muón para producir un electrón y un muón neutrino.</p> |
| <p>Diagrama de desintegración beta estándar. Esta es una combinación de un vértice quark-quark y un vértice leptón-leptón.</p> | <p>Un electrón neutrino interactúa con una partícula de intercambio y se vuelve un electrón.</p> | <p>Decaimiento positivo de un muón.</p> |
| <p>Un quark extraño emite una partícula de intercambio y se convierte en un quark up. Este es un cambio de tipo o sabor "diagonal", donde un quark se transforma en un miembro de una generación vecina.</p> | <p>Un kaón decae en un muón positivo y su neutrino correspondiente.</p> | <p>Diagrama de Feynman (dibujo que ilustra las interacciones entre las partículas, creado por el físico estadounidense Richard Feynman que lo introdujo por primera vez en 1948) y que representa la desintegración de un muón negativo ordinario.</p> |
| <p>El decaimiento de un kaón en un par de piones, visto a nivel de los quarks.</p> | <p>Creación de par partícula-antipartícula. Una partícula de intercambio se materializa como un electrón y un electrón antineutrino.</p> | <p>Un quark down emite una partícula de intercambio para convertirse en un quark up.</p> |
| <p>Aniquilación partícula-antipartícula, vista como un vértice con una partícula de intercambio emergente.</p> | <p>Una interacción entre un positrón y un muón da como resultado la aparición de un neutrino muón y un antineutrino electrón.</p> | <p>Un positrón entra en un vértice, emite una partícula de intercambio y emerge como un antineutrino.</p> |

E. Anexo: Examen formativo aplicado



NAME: _____

The following questions are about elementary particles.

1. State what is meant by an elementary particle, and what are the three types?

2. List the four forces, and their carriers. What are their relative strengths, and their ranges?

3. List which forces electrons are influenced by. _____

4. List which forces quarks are influenced by. _____

The following questions are about hadrons.

5. List the two types of hadron . _____

6. What is the quark makeup of a baryon? Use the symbol "q" for quark and \bar{q} for antiquark.

7. What is the quark makeup of a meson? Use the symbol "q" for quark and \bar{q} for antiquark.

A particle has the quark combo of (uds).

8. What type of hadron is this particle? _____

9. What is its charge? _____

The following questions are about the standard model.

10. State the three-family structure of quarks in the standard model. Be sure to list the family number and the particles within that family.

11. State the three-family structure of leptons in the standard model. Be sure to list the family number and the particles within that family.

12. What is the Higgs particle (or Higgs boson)?

13. What is the significance of the Higgs boson in the context of the standard model?

The following questions are about conservation.

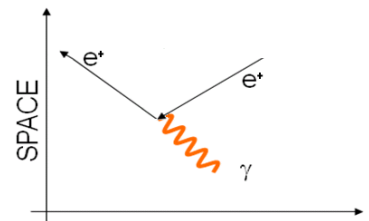
14. Is lepton number conserved in total, like baryon number, or is it conserved in another way? How is it conserved?

15. Use conservation principles to find out if the following reactions are possible:

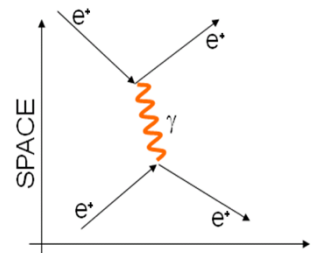
- | | |
|---|---|
| (a) $p + e^- \rightarrow n + \nu_e$ | (e) $e^- + e^+ \rightarrow \gamma + \gamma$ |
| (b) $p + p \rightarrow p + p + \bar{p} + e^+ + \nu_e$ | (f) $e^- + e^+ \rightarrow n + \gamma$ |
| (c) $p + \bar{p} \rightarrow p + \bar{p} + \pi^0$ | (g) $p + \bar{p} \rightarrow n + \bar{\nu}$ |
| (d) $p + \bar{p} \rightarrow \pi^0 + \pi^0$ | (h) $e^- + \mu^+ \rightarrow \gamma + \gamma$ |

The following questions are about Feynman diagrams.

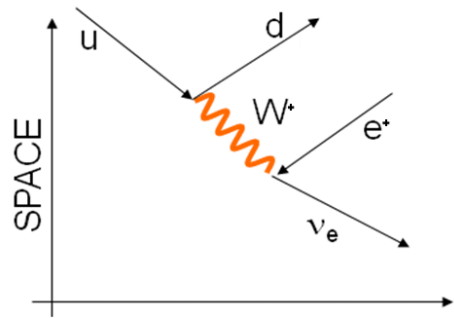
16. Explain what is happening in this Feynman diagram.



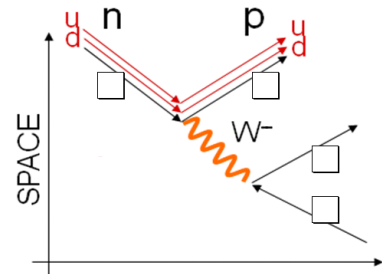
17. Explain why this Feynman diagram, showing a positron repelling a positron, is incorrectly drawn.



18. Explain what is happening in this Feynman diagram. What kind of decay is illustrated? Add two quarks to complete the top of the diagram so that it shows the common particles in the reaction.



19. Fill in the boxes with the particles that are not identified in the Feynman diagram.

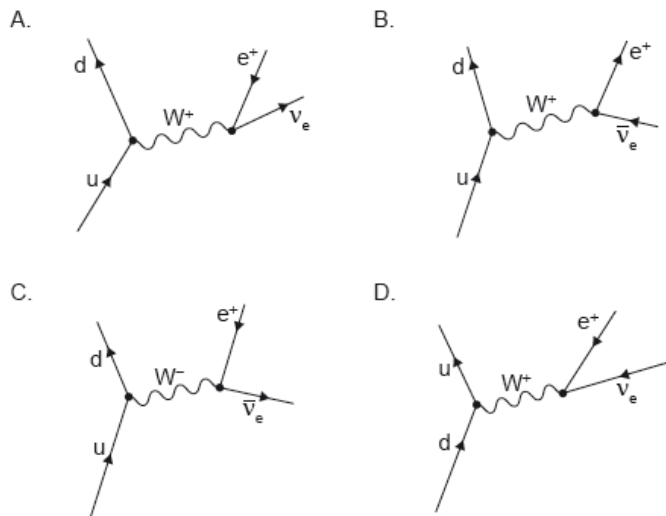


F. Anexo: Examen sumativo aplicado



NAME: _____

1. Which Feynman diagram shows beta-plus (β^+) decay?



2. Which of the following lists three fundamental forces in increasing order of strength?

- A. electromagnetic, gravity, strong nuclear
- B. weak nuclear, gravity, strong nuclear
- C. gravity, weak nuclear, electromagnetic
- D. electromagnetic, strong nuclear, gravity

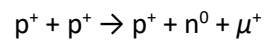
3. Which of the following is a correct list of particles upon which the strong nuclear force may act?

- A. protons and neutrons
- B. protons and electrons
- C. neutrons and electrons
- D. protons, neutrons and electrons

4. What is correct about the Higgs Boson?

- A. It was predicted before it was observed.
- B. It was difficult to detect because it is charged.
- C. It is not part of the Standard Model.
- D. It was difficult to detect because it has no mass.

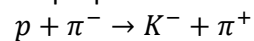
5. Identify the conservation law violated in the proposed reaction.



- A. Strangeness
- B. Lepton number
- C. Charge
- D. Baryon number

6. This question is about strangeness.

The following particle interaction is proposed.



In this interaction, charge is conserved.

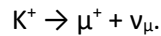
State, in terms of baryon and strangeness conservation, whether the interaction is possible.

.....
.....
.....
.....

(2)

7. This question is about a K meson decay.

The positive kaon K^+ has a strangeness of +1. It can decay through the interaction



Charge, energy and momentum are conserved in this decay.

a. State the quark structure of the K^+ .

(i)

(1)

b. Deduce one further quantity in this decay that is

(i)

(1)

(ii)

(1)

8. This question is about fundamental interactions.

(a) State an exchange particle for

(i) the weak interaction.

.....

(1)

(ii) the electromagnetic interaction.

.....

(1)

(b) Comment, with reference to the mass of the exchange particles, on the range of the weak and electromagnetic interactions.

.....

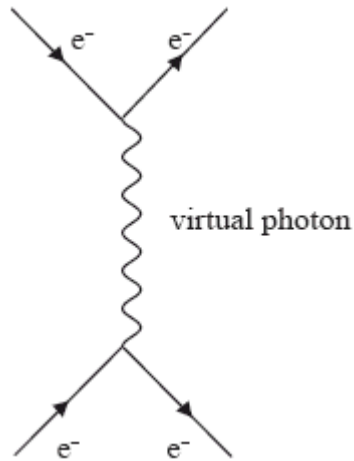
.....

.....

.....

(2)

(c) Describe the process represented by the Feynman diagram below.



.....

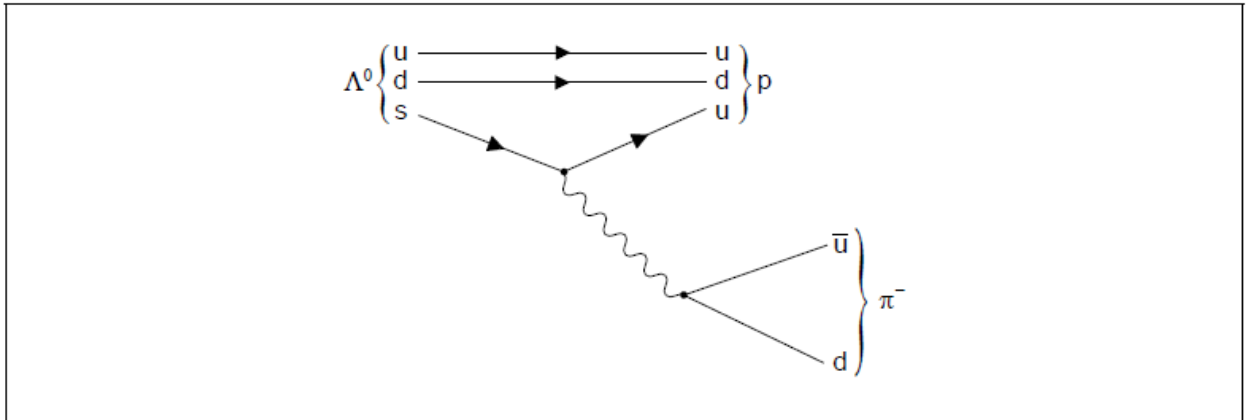
.....

.....

.....

(3)

9. A possible decay of a lambda particle Λ^0 is shown by the Feynman diagram.



a. State the quark structures of a meson and a baryon.

(2)

Meson:

.....

Baryon:

.....

b.i. Explain which interaction is responsible for this decay.

.....

.....

(2)

b.ii. Draw arrow heads on the lines representing \bar{u} and d in the π^- .

(1)

b.iii. Identify the exchange particle in this decay.

.....

.....

(1)

c. Outline one benefit of international cooperation in the construction or use of high-energy particle accelerators.

.....

.....
.....
.....

(1)

10. Draw the corresponding Feynman Diagram for a β^- decay:

(3)

Bibliografía

Avatar. Real Academia Española. (2021). Retrieved 11 November 2021, from <https://dle.rae.es/avatar>.

Berg, E., & Hoekzema, D. (2005). Teaching conservation laws, symmetries and elementary particles with fast feedback. *Physics Education*, 41(1), 47-56.

Burns, A. (2005). *Collaborative action research for English language teachers*. Cambridge: Cambridge University Press.

CERN. (2021). *CERN and the rise of the Standard Model* [Video]. Ginebra, Suiza.

Coloma, C., & Tafur, R. (1999). El constructivismo y sus implicancias en educación, *Vol. VIII*. (No 16), 219.

Cukierman, U. (2018) Aprendizaje centrado en el estudiante: Un enfoque imprescindible para la educación en Ingeniería. UTN- FRBA.

Charles, H. (2013). Constructivism in the Elementary Music Classroom. *Kodaly Envoy*, Vol. 39 (Issue 4), 4.

Datos y cifras. (2019). Retrieved 10 November 2019, from <https://ibo.org/es/about-the-ib/facts-and-figures/>

Delgado Martínez, L. (2019). Aprendizaje centrado en el estudiante, hacia un nuevo arquetipo docente. *Enseñanza & Teaching: Revista Interuniversitaria De Didáctica*, 37(1), 139. doi: 10.14201/et2019371139154

Ebner, M., & Holzinger, A. (2007). Successful implementation of user-centered game based learning in higher education: An example from civil engineering. *Computers & Education*, 49(3), 873-890. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2005.11.026>

Educación 3.0. 2021. *¿En qué se diferencian la gamificación y el Aprendizaje Basado en Juegos?* [online] Available at:

<<https://www.educaciontrespuntocero.com/noticias/gamificacion-y-aprendizaje-basado-en-juegos/>> [Accessed 24 July 2021].

Falguera, A. (2020). Aprendizaje basado en el juego y gamificación en el aula [TV]. Tekman education.

Find an IB World School. (2021). Retrieved 30 March 2021, from <https://www.ibo.org/programmes/find-an-ib-school/?SearchFields.Region=&SearchFields.Country=CO&SearchFields.Keywords=&SearchFields.Language=&SearchFields.BoardingFacilities=&SearchFields.SchoolGender=>

Gallego, F., Molina, R., & Llorens, F. (2014). Gamificar una propuesta docente diseñando experiencias positivas de aprendizaje. En: *Jornadas sobre la enseñanza Universitaria de la informática*. Oviedo. Retrieved 8 August 2021, from.

Gimeno, S. (2017). El círculo mágico [Blog]. Retrieved 9 August 2021, from <https://www.torresburriel.com/weblog/2017/04/03/buenas-ideas-diseno-juegos-gamificacion/>.

Griffiths, D. (2011). *Introduction to elementary particles*. Weinheim: Wiley-VCH.

Gourlay, H. (2018). Using concept mapping to learn about A level physics students' understandings of particle physics. *EPJ Web Of Conferences*, 182, 02050. doi: 10.1051/epjconf/201818202050

Guía de física, primeros exámenes 2016. (2019). [Ebook] (p. 66). Ginebra. Retrieved from <https://ibphysics.org/wp-content/uploads/2016/01/ib-physics-syllabus.pdf>

Hill, I. (2003). The history of international education: an international baccalaureate perspective, from https://www.researchgate.net/publication/283344961_The_history_of_international_education_an_International_Baccalaureate_perspective

International Baccalaureate Organization. (2017). *The history of the IB*. Presentation.

Kirk, T., & Hodgson, N. (2012). *Physics*. Oxford University Press.

López García, M. S. (2018). El aprendizaje significativo. *Revista Digital Docente*, 10, 30-31. Retrieved 22 August 2021, from <https://www.campuseducacion.com/revista-digital-docente/numeros/10/files/assets/basic-html/page-30.html>

Logatt Grabner, C. (2016). ¿Cómo influyen las emociones en el aprendizaje? *Revista Gratuita De Neurociencias Y Neurosicoeducación*, 83, (6-7). Retrieved from <https://www.upla.cl/inclusion/wp-content/uploads/2016/05/Descubriendo el cerebro y la mente n83.pdf>

Muhajirah, M. Universidad Estatal Islámica de Alauddin, Indonesia (2020). Basic of Learning Theory. *International Journal of Asian Education*, 1(1), 37-42. doi: 10.46966/ijae.v1i1.23

NellieMaeEdFdn. (2015). *Transformation* [Video].

Organización del Bachillerato Internacional (2007). Organización del bachillerato internacional. *Learner-Centered Instruction*.

Organización del bachillerato internacional 2014. (2014). *Physics data booklet* [Ebook] (2nd ed., p. 8). Retrieved 13 October 2021, from <http://www.ibo.org>.

Organización del Bachillerato Internacional (2014). *El programa de los años intermedios: de los principios a la práctica* [Ebook] (pp. 105-109). Retrieved 7 August 2021, from.

Organización del bachillerato internacional. (2016). *Informe de noviembre de 2016, Física*. Retrieved from https://resources.ibo.org/data/d_4_physi_sur_1611_1_s.pdf

Organización del bachillerato internacional. (2019). *The IB Diploma Programme Statistical Bulletin* (p. 21). United Kingdom. Retrieved from <https://www.ibo.org/contentassets/bc850970f4e54b87828f83c7976a4db6/dp-statistical-bulletin-may-2018-en.pdf>

Ortiz Granja, D. (2015). El constructivismo como teoría y método de enseñanza. *Sophía*, 1(19), 98. doi: 10.17163/soph.n19.2015.04

Our history. (2021). Retrieved 29 March 2021, from <https://www.cambridgeinternational.org/about-us/our-history/>

Parker, R., & Thomsen, B. (2019). *Learning through play at school* [Ebook] (1st ed.). Lego foundation. Retrieved from <https://www.legofoundation.com/media/1687/learning-through-play-school.pdf>

- Passon, O., Zügge, T., & Grebe-Ellis, J. (2018). Pitfalls in the teaching of elementary particle physics. *Physics Education*, 54(1), 015014. doi: 10.1088/1361-6552/aadbc7
- Pavlidou, M., & Lazzeroni, C. (2016). Particle physics for primary schools—enthusing future physicists. *Physics Education*, 51(5), 054003. doi: 10.1088/0031-9120/51/5/054003
- Peña, D. (2021). *Aprendizaje Significativo*. Educación inicial. Retrieved 1 October 2021, from <https://www.educacioninicial.com/c/001/451-aprendizaje-significativo/>.
- Rodríguez Henao, J. (2018). *Enseñanza de la Genética mediada por herramientas TIC para alcanzar un aprendizaje significativo*. Universidad Nacional de Colombia.
- Rodrigues Moura, S. (2018). Física de partículas en la enseñanza secundaria: análisis de elementos de alfabetización científica y técnica. *Revista De Enseñanza De La Física*, 30(1), 93-94.
- Rosler, R. (2016). Clases cerebralmente amigables para que sus alumnos recuerden lo que usted les enseña. *Asociación Educar Para El Desarrollo Humano*.
- Sears, F., & Zemansky. (2011). *Física universitaria con física moderna*. Pearson Educación de México S.A. de C.V.
- Serrano, J., & Pons, R. (2011). El constructivismo hoy: enfoques constructivistas en educación. *Revista electrónica de investigación educativa*, Vol. 13(Núm. 1).
- Serin, H. (2018). A Comparison of Teacher-Centered and Student-Centered Approaches in Educational Settings. *International Journal of Social Sciences & Educational Studies*, 5(1). doi: 10.23918/issues, v 5i1p164
- Serrano, J., & Pons, R. (2011). El constructivismo hoy: enfoques constructivistas en educación. *Revista electrónica de investigación educativa*, Vol. 13 (Núm. 1).
- Singh, N. (2011). Student- centered learning (SCL) in classrooms — A comprehensive overview. *Educational Quest*, Vol 2(No 2 August), 280.
- The Higgs boson, 2021) *The Higgs boson*. CERN. (2021). Retrieved 15 October 2021, from <https://home.cern/science/physics/higgs-boson>.
- Tünnermann Bernheim, C. (2011). El constructivismo y el aprendizaje de los estudiantes. *Universidades*, núm. 48(enero-marzo), 21-32.

Tsokos, K., & Farrington, M. (2016). *Physics for the IB diploma*.

Velásquez, J. (2016). *Bem behavioral experiential meaningful gamification* [PDF] (pp. 1-2). Free to play. Retrieved 7 August 2021, from.