

Universidad Nacional de La Plata

Facultad de Ciencias Exactas

Departamento de Física



Tesis de Maestría

Maestría en Física Contemporánea

Incorporación de la Física Contemporánea en el nivel medio de la educación formal

Prof. Mabel Rosa Aloy

Director: Dr. Carlos García Canal

La Plata, Mayo de 2017

Indice

RESUMEN	9
SECCION 1 ^{ra}	12
Introducción	12
CAPITULO 1	13
Antigua Grecia	14
Teoría atómica de Dalton	15
Modelo Atómico de Thomson (1904)	17
Experimento de Rutherford	18
Modelo atómico de Rutherford (sistema planetario)	19
Otras partículas	20
Radiación alfa (α)	22
Radiación gamma (γ)	22
Radiación beta (β)	22
Síntesis del capítulo	23
CAPITULO 2	25
Mecánica Clásica	25
Radiación de un cuerpo negro	27
Efecto fotoeléctrico	28
Hacia un nuevo modelo atómico.	28
Modelo Atómico de Bohr	29
Principio de Exclusión de Pauli	30
Dualidad onda-partícula (Louis de Broglie)	30
Mecánica Cuántica	31
Principio de incerteza de Heisenberg (1927)	32
Modelo Atómico de Schroedinger (1926)	33
Paul Dirac (1928)	34
Antimateria	34
Propiedades de la antimateria	35
Síntesis del capítulo	35
CAPITULO 3	36
Nuevas partículas. Un “zoo” de partículas	36
Nuevas partículas. Clasificación	36
Clasificación de acuerdo al espín – Bosones y Fermiones	37
Clasificación de acuerdo a la masa - Leptones y Hadrones	37
Inicialmente se clasificó a las partículas conocidas en: “leptones” (las más leves) y “hadrones” (las más pesadas). Actualmente estos términos se asignan según los tipos de interacciones en que participan	37
Algunas partículas y su clasificación	38
Piones (π)	38
Muones (μ)	38
Neutrinos y antineutrinos (ν)	39
Tau (τ)	39
Murray Gell Mann. Quarks	40

Síntesis del capítulo.....	42
CAPITULO 4	42
Fuerzas e Interacciones.....	42
¿Qué mantiene unido al Universo?.....	42
Fuerza gravitacional	44
Fuerza electromagnética.....	44
Fuerza “fuerte” (nuclear)	45
Fuerza fuerte	46
Fuerza Débil.....	46
CAMPOS	47
Teoría Cuántica de Campos.....	48
Síntesis del capítulo.....	48
CAPITULO 5	48
El Modelo Estándar de las Interacciones fundamentales	48
Modelo Estándar	49
Campo de Higgs.....	49
LEPTONES y QUARKS.....	50
Leptones.....	51
Quarks	51
Hadrones.....	52
Bariones.....	53
Mesones	53
TRES GENERACIONES	53
Síntesis del capítulo.....	58
SECCION 2^{da}	60
Introducción.....	60
Objetivos	62
Objetivo General	62
Metodología.....	62
Resultados esperados:	65
Implementación de la propuesta	65
Intervención en 2º año.....	66
Noción de Elementalidad – Interacciones - Mediadores	66
Elementalidad	66
Interacciones - Mediadores	68
Intervención en 3er año.....	70
Principio de exclusión. Principio de incerteza. Interpretación sencilla de la ecuación de Schroedinger. Fermiones y Bosones.	70

Intervención en 5º año.....	71
Noción de “Campos”	71
1ª Etapa: “Interacción Gravitatoria”	72
2da etapa: “Interacción Electromagnética”	72
Intervención en 6to año	73
Pre-actividad.	73
ACTIVIDAD 1 – INTRODUCCION AL MODELO ESTANDAR	74
ACTIVIDAD 2 – INTERPRETACION DEL MODELO ESTANDAR.....	74
RESULTADOS	75
CONCLUSIONES.....	75
DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES CON LOS ALUMNOS.....	78
2º NIVEL.....	78
3er NIVEL.....	82
PRINCIPIOS DE EXCLUSION Y DE INCERTEZA.....	82
ECUACION DE SCHROEDINGER: INTERPRETACION SENCILLA	82
FERMIONES Y BOSONES	82
EVALUACION	83
5to NIVEL.....	83
CAMPOS E INTERACCIONES	83
EVALUACION	85
6to NIVEL.....	86
MODELO ESTÀNDAR DE LAS INTERACCIONES FUNDAMENTALES	86
EVALUACION	87
Apéndice 1.....	88
Encuestas. Tablas y gráficos.....	88
Apéndice 2	95
Programas de contenidos de la currícula del Liceo Víctor Mercante. UNLP.....	95
Texto extraído del libro “¿Qué es el bosón de Higgs?” M. T. Dova	103
Referencias bibliográficas	104

Agradecimientos

- A la amiga y colega Rosalía Attili por impulsarme a emprender la “aventura” de realizar la maestría.
- A los profesores de la maestría por su compromiso, generosidad y dedicación, en especial al Dr. Carlos García Canal por sus valiosas sugerencias, paciencia y apoyo en la elaboración del trabajo de tesis.
- A mis compañeras del Liceo Víctor Mercante por su predisposición, colaboración y aportes enriquecedores.
- A Ceci, Juan, Juli y Enrique por su apoyo incondicional.

«El conocimiento no se conserva mejor que el pescado», hay que utilizarlo y renovarlo. En este sentido, sorprende asimismo el modo en que algunos se aferran a lo que aprendieron antaño, cuando se sabe que gran parte de ese conocimiento ha sido revisado, completado, modificado o incluso corregido. Entender, conocer, saber, necesitan una curiosidad ilimitada e intemporal, y por ello necesitan también el buen aprendizaje a lo largo de toda la vida.

Alfred N. Whitehead

(filósofo y matemático británico)

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados alcanzados al estudiar y evaluar la posibilidad de incorporar la enseñanza de la Física Contemporánea en el nivel medio de educación.

Partiendo de la base que resulta dificultoso decidir qué aspectos de la Física Contemporánea debemos enseñar y hasta dónde podemos llegar en sus explicaciones, seleccionamos el tema Física de partículas elementales para indagar en la posibilidad de su inserción en el currículo de la enseñanza de la Física en el nivel medio, tratando de arribar a conclusiones que nos guíen en la selección de contenidos.

Los temas de Física para el nivel secundario tienen un alto contenido de Física Clásica en la mayoría de los programas; algunos incluyen temas de Física Moderna, pero muy pocos de Física Contemporánea y, por diferentes motivos, estos últimos no se imparten adecuadamente o no son desarrollados. Se trata de intentar una “incorporación” significativa, es decir que supere una simple “incorporación” de unidades de contenidos en los programas, que terminan siendo ignoradas, dictadas de manera somera o aislada e inconexa del resto de los contenidos.

Consideramos importante e imprescindible la enseñanza de la Física Clásica pero, ante el avance vertiginoso de la ciencia, opinamos que es relevante incluir conocimientos del último siglo en los programas escolares, ya que éste es un ámbito propicio para llevar a cabo una alfabetización científica y desarrollar la capacidad de comprender y actualizarse.

Esta propuesta pretendió encontrar puntos del plan de estudios en los que sea posible intervenir e incorporar contenidos de Física Contemporánea respetando, adaptando y complementando los parámetros curriculares. La

propuesta consiste en la introducción, en los diferentes niveles de la enseñanza de tópicos simples pero relacionados con el resto de los contenidos del programa de nivel, para que en el último nivel (6º año), los educandos cuenten con ideas previas, puntos de anclaje para desarrollar e interpretar significativamente el Modelo Estándar de las Interacciones Fundamentales. La intención es que a través de sencillas actividades, los alumnos se familiaricen con términos, conceptos y, en lo posible, con el lenguaje formal.

Tenemos presente que el desarrollo riguroso de la física contemporánea requiere del manejo de instrumentos matemáticos cuyo nivel escapa a los impartidos en nivel medio y a la capacidad madurativa de los alumnos para interpretarla, por lo que opinamos que la introducción de la temática de Física Contemporánea debe poner énfasis en la discusión conceptual, dar menos importancia a los cálculos pero, de ninguna manera, separarse o prescindir de ellos.

Para el desarrollo del trabajo se toman en cuenta las Teorías del Aprendizaje Significativo de Ausubel (1963) y la Teoría del aprendizaje significativo crítico de Moreira (2005) que se describirán brevemente en la sección correspondiente.

El trabajo constará de dos secciones.

La primera sección consistirá en un desarrollo teórico de los principales pasos realizados por los científicos en la construcción del conocimiento que condujo al actual Modelo Estándar de las Interacciones Fundamentales. El propósito es brindar material de apoyo para su posible uso en clases destinadas al nivel medio, por lo que se tratará de expresar los conceptos fundamentales de manera que puedan ser comprendidos por una población de alumnos de nivel medio. Por ese motivo se tratará de evitar el uso de cálculos matemáticos complejos y se recurrirá al uso de analogías para la interpretación de los conceptos.

Se recreará la evolución del conocimiento íntimo de la materia desde la Antigua Grecia hasta el actual Modelo Estándar de las Interacciones Fundamentales.

Para ello se mencionarán los experimentos realizados, sus interpretaciones y las teorías propuestas.

En la segunda sección se describirá el desarrollo de la implementación de los temas en el nivel medio que se llevó a cabo en el Liceo Víctor Mercante de la Universidad Nacional de La Plata, en grupos de alumnos cuyas edades están comprendidas entre 13 y 17 años. Se detallarán las actividades realizadas, las evaluaciones y conclusiones a las que se arribó.

En el apéndice se incluirán el detalle de las actividades realizadas en el aula, evaluaciones, tablas, gráficos y sugerencias de textos, videos y otros materiales de apoyo para el docente.

SECCION 1^{ra}

Introducción

Todo lo que hay en el Universo se manifiesta a nuestros ojos e instrumentos en dos formas: la materia y la energía, dos nociones que la Teoría de la Relatividad las unió en la famosa ecuación $E=mc^2$. Este hecho simple ha dado lugar a numerosas discusiones científicas, filosóficas e incluso teológicas a lo largo de la historia. Pero, ¿Qué son? ¿Cuál es su naturaleza? ¿Por qué están ahí?

El hombre y en especial los científicos han buscado siempre la respuesta a dos preguntas:

¿Cuáles son los bloques fundamentales o comunes a partir de los cual se construye la materia?

¿Qué mantiene unidos a esos bloques?

En la búsqueda de respuestas a estos interrogantes se recorrió un camino en el que se plantearon teorías, realizaron experimentos y se encontraron respuestas que condujeron a nuevas preguntas y así sucesivamente.

La interacción entre teorías y experimentos, el método de prueba y error, los postulados de ideas que serán avaladas, modificadas o desechadas por experimentos fue fundamental para avanzar en la búsqueda del conocimiento. Actualmente hay una teoría llamada “Modelo Estándar” que nos acerca a la respuesta buscada.

El Modelo Estándar describe la materia y las fuerzas existentes justificando su existencia sobre la base de sólo unas pocas “partículas” e interacciones fundamentales.

En los capítulos siguientes intentaremos interpretar el Modelo Estándar, realizando un recorrido por las principales ideas, teorías, experimentos, pensamientos que condujeron a postularlo.

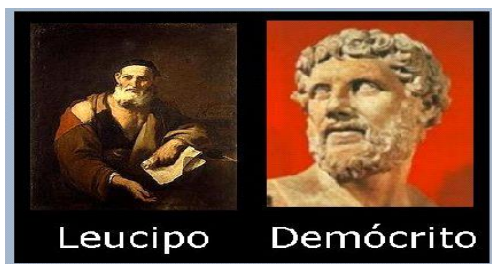
CAPITULO 1

En este capítulo presentaremos las principales ideas elaboradas por el hombre en la búsqueda de los bloques fundamentales constituyentes de la materia, desde las nociones en la Antigua Grecia (siglo V.a.C.) hasta los conocimientos alcanzados en la primera mitad del siglo XX.

Se describirán:

- Antigua Grecia. Escuela de Empédocles. Teoría atomista de Demócrito y seguidores.
 - Teoría Atómica de Dalton.
 - Thomson. Descubrimiento del electrón. Modelo atómico del budín de pasas.
 - Rutherford. Experimento. Modelo Atómico planetario.
 - Chadwick. Descubrimiento del neutrón.
 - Radiaciones (alfa, beta y gamma).
 - Descubrimiento del neutrino.
-

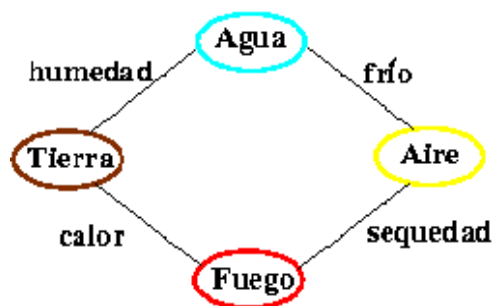
Antigua Grecia



Los griegos elaboraron sus teorías a través del razonamiento, es decir, usando el pensamiento lógico. No contrastaban sus conclusiones con experimentos, pero consideraban que las respuestas a sus preguntas debían encontrarlas en la naturaleza.

En el siglo V a.C. había dos tendencias o escuelas. Una de ellas representada por Empédocles y sus discípulos; la otra, por Demócrito y sus seguidores.

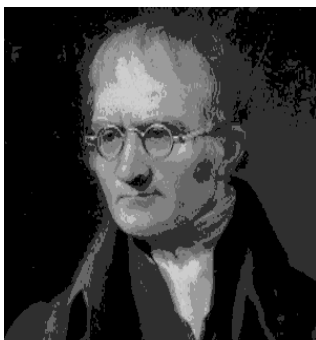
La escuela de Empédocles consideraba que las sustancias fundamentales son cuatro: Agua, Tierra, Fuego, Aire. Todo se forma por distintas combinaciones de ellas en diferentes proporciones. Tales sustancias tienen una distribución continua, es decir, ocupan todo el espacio.



Demócrito desarrolló una teoría concebida por Leucipo, en la que sugiere que toda la materia está formada por partículas indivisibles a las que llamo átomos (del gr. indivisibles). Opinaba que las propiedades de la materia varían según el agrupamiento de los átomos que se mueven en el vacío. Hay infinitos tipos de átomos. Estas ideas, lograron sobrevivir unos dos mil años y fueron precursoras de teorías científicas.

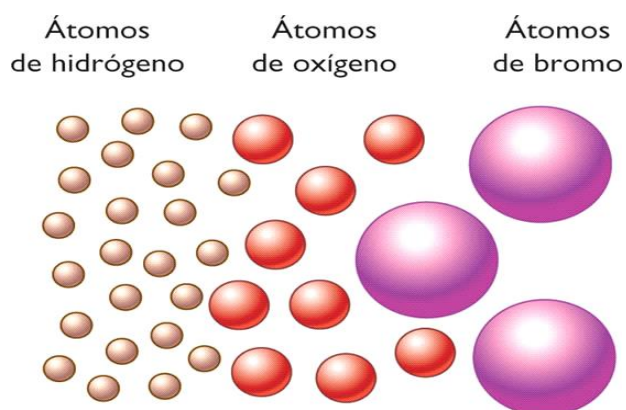
Casi veinte siglos más tarde reaparece la mención de átomo en la teoría atómica de Dalton.

Teoría atómica de Dalton. Propuesta entre 1803 y 1807



Aparece acá el uso de la experimentación como manera de preguntar a la naturaleza. Dalton realizó experimentos estudiando las proporciones en que reaccionaban y se combinaban diferentes sustancias, encontrando siempre relaciones de números enteros. En base a ello postuló:

- La materia está formada por partículas pequeñas llamadas átomos.
- Los átomos de una misma sustancia son iguales entre si y se diferencian de los de otras sustancias solo por su masa.
- Los átomos se combinan para formar compuestos químicos en relaciones numéricas simples.



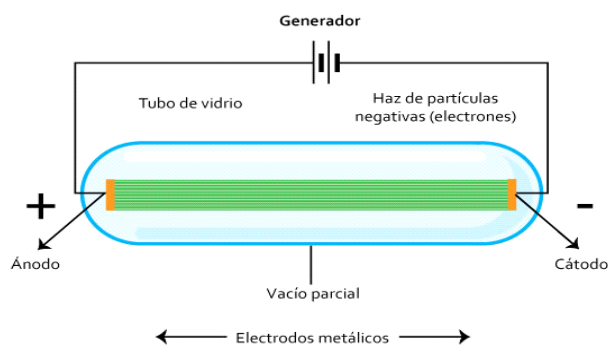
Este modelo no fue cuestionado durante décadas, pero presentaba la desventaja que no podía explicar las regularidades periódicas en las propiedades de los elementos ni los experimentos realizados sobre rayos

catódicos, que sugerían que los mismos contenían partículas cargadas eléctricamente. Ignoraba la estructura interna de los átomos.

1897 – Descubrimiento del electrón- Thomson



Thomson estudió el electrón investigando los rayos beta o rayos catódicos en el año 1897 y, en base a ese descubrimiento, propuso un Modelo Atómico. Los rayos beta o catódicos se producen en tubos llamados catódicos. Son tubos de vidrio con vacío en su interior, terminales positivas y negativas en lados opuestos (ánodo y cátodo). Se llenaban con un gas puro y se lo excitaba eléctricamente aplicando una diferencia de potencial. Se observaba emisión de luz de acuerdo al gas presente en el tubo.



Estos rayos se conocían gracias a los descubrimientos de Becquerel en la segunda mitad del siglo XIX. Se sabía que tenían carga eléctrica y se desviaban con la presencia de campos magnéticos.

Thomson, estudiando sus propiedades encontró que estos rayos tenían una velocidad diez veces menor que la de la luz y que el resultado del cociente entre la carga y la masa es de 0.568×10^{-4} Kg./c. Descubrió partículas 1840 veces menores que el átomo, (los electrones), pero para confirmar el hallazgo era necesario medir la carga.

En 1909, Millikan logró determinar la carga del electrón (1.6×10^{-19} coulomb), confirmando el descubrimiento de Thomson.

Actualmente, el electrón puede considerarse una partícula puntual sin dimensiones, ya que los experimentos son compatibles con la ausencia de estructura interna.

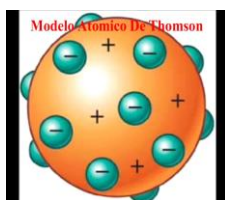
Este descubrimiento condujo a las preguntas:

- Si los átomos son neutros, ¿Cómo el electrón es parte de ellos? ¿Tendrá el átomo carga positiva que compense la negativa de sus electrones?
- Si el electrón tiene tan poca masa, ¿Qué aporta la mayor parte de ella?

Modelo Atómico de Thomson (1904)

Tratando de dar respuesta a las preguntas anteriores Thomson propuso el modelo llamado “budín de pasas”.

Postuló que los electrones se distribuyen uniformemente incrustados en una masa esférica de carga positiva es decir consideraba al átomo como una esfera de carga positiva con electrones repartidos como pasas en un budín.



El modelo explica la presencia de cargas eléctricas compensadas en los átomos, pero no logra explicar la frecuencia de la luz emitida en los tubos catódicos, que no coincide con la frecuencia de oscilación de los electrones esperada de acuerdo al modelo ni explica la regularidad periódica de la tabla de Mendeleiev.

La explicación de estas anomalías fue propuesta por Ernest Rutherford en su modelo atómico.



Rutherford y sus colaboradores, alrededor de 1908, estudiaron la radiación alfa (α) y la usaron intentando investigar el interior de átomo.

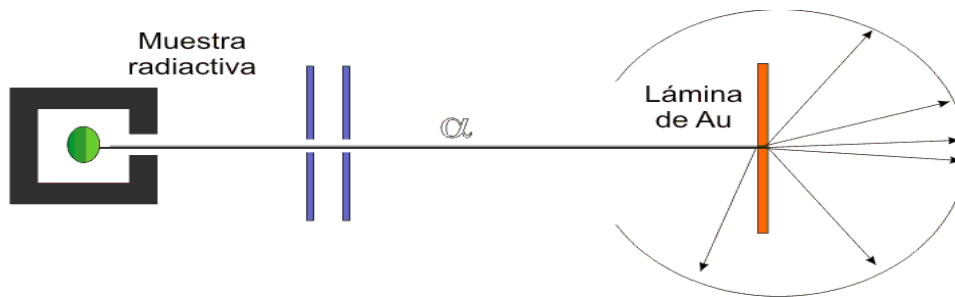
Demostraron, primero que las partículas alfa son átomos de helio (He) completamente ionizadas (sin sus electrones), con carga positiva (+2), es decir la carga es el doble de la del electrón y de signo opuesto. La masa es ocho mil veces mayor que la del electrón.

Experimento de Rutherford

Rutherford, junto con sus discípulos Geiger y Marsden, bombardeó átomos de oro (Au) con rayos alfa y registró los resultados en una pantalla llamada centellador. Usó, como fuente de radiación alfa Polonio (Po), que es una sustancia radiactiva, e hizo incidir los rayos sobre una lámina muy delgada de oro.

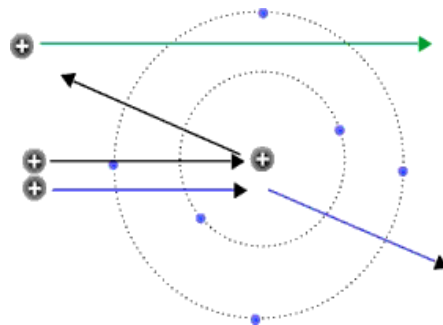
Las partículas dispersadas al colisionar en el centellador, emitían un destello de luz.

Rutherford analizó el número y la posición de las partículas alfa en el centellador después de pasar por el blanco.



Las observaciones de los resultados fueron:

- La mayoría de las partículas atravesaba la lámina sin desviar su trayectoria.
- Algunas sufrían una pequeña desviación.
- Muy pocas rebotaban o se desviaban en ángulos mayores de 90°. Este comportamiento condujo a pensar que existe carga positiva concentrada en una región del interior de los átomos (el núcleo).



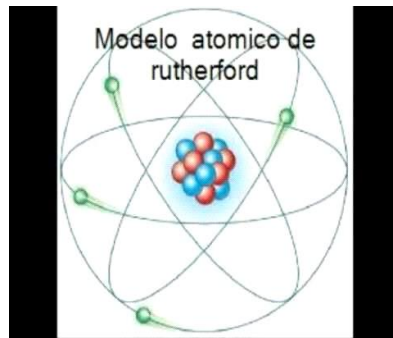
Apoyándose en estas observaciones propuso el siguiente modelo atómico:

Modelo atómico de Rutherford (sistema planetario)

El átomo consta de: un núcleo con protones de carga positiva que concentra casi toda la masa del átomo.

Alrededor del núcleo giran electrones como en un sistema planetario.

Interpretó que el núcleo, concentrado en una pequeña región con cargas positivas, impedía el paso sin cambio de trayectoria de las partículas alfa. La fracción apreciable de partículas rebotadas sirvió para estimar el tamaño del núcleo que resultó ser cien mil veces más pequeño que el diámetro atómico, es decir que el átomo en su mayor parte es vacío y que la concentración de la carga positiva está en el centro del átomo.



El Modelo Atómico de Rutherford propone por primera vez la existencia de un núcleo atómico y conduce a los siguientes cuestionamientos:

- ¿Cómo un conjunto de cargas positivas, que deberían repelerse, podrán mantenerse unidas en un volumen tan pequeño?
- Si los electrones se están moviendo, según la electrodinámica clásica, deberían producir radiación electromagnética, perdiendo energía y finalmente cayendo sobre el núcleo.

Otras partículas

Rutherford, luego de proponer el sistema planetario, siguió utilizando partículas alfa para investigar más sobre el núcleo. Realizó experimentos junto a James Chadwick que mostraron que los núcleos tenían estructura interna.

Rutherford propuso que debía existir una partícula componente fundamental del núcleo a la que denominó protón.

Los protones tienen una carga eléctrica igual y opuesta a la de los electrones, tienen masa alrededor de 1840 veces la masa de los electrones.

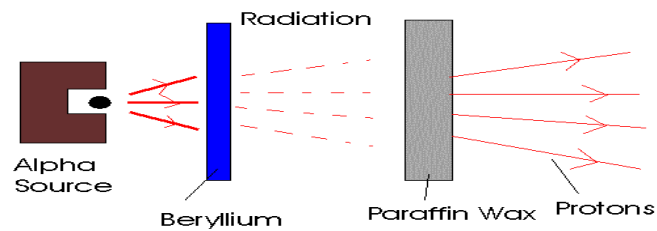
Aun quedaba un problema por resolver:

Si el átomo de hidrógeno (el átomo más sencillo) contenía sólo un protón y el átomo de helio tenía dos protones, la relación entre sus masas debía ser 2:1, sin embargo los resultados de los experimentos arrojaban una relación 4:1, por lo que propuso que debía existir otro tipo de partícula subatómica en el núcleo.

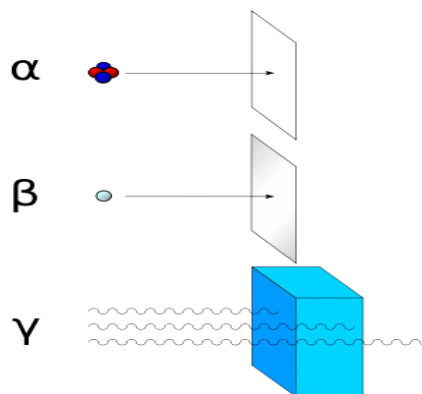
En 1932, El físico James Chadwick probó su existencia bombardeando una delgada lámina de berilio (Be) con partículas alfa.

Observó que el metal emitía una radiación de muy alta energía. Experiencias posteriores demostraron que los rayos constaban de otro tipo de partículas subatómicas que Chadwick llamó neutrones.

Demostró que eran eléctricamente neutras, con una masa ligeramente mayor a la masa de los protones. Esto explicó la relación de masas entre los átomos de Helio y los de Hidrógeno, justificándose la observación experimental de 4:1.



Hemos visto hasta aquí el empleo de la radiación para investigar el interior del átomo. Se conocen tres tipos de radiaciones producidas por núcleos inestables que se desintegran espontáneamente mediante la emisión de partículas. En todos los casos, los núcleos excitados (con energía mayor a la mínima posible) pasan a un estado de menor energía. Las radiaciones se denominan: alfa, beta y gamma.



Radiación alfa (α)

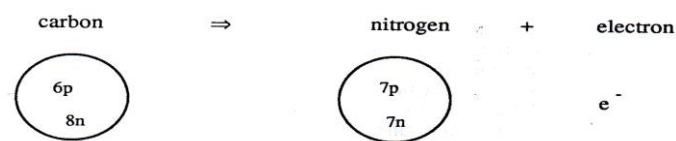
Las partículas alfa, justamente, las utilizadas en los experimentos de Rutherford; son núcleos de helio (dos protones y dos neutrones).

Radiación gamma (γ)

Es una radiación de alta energía que se produce cuando un núcleo en estado excitado emite radiación electromagnética.

Radiación beta (β)

Consiste en la emisión de un electrón, pero no se trata de los electrones que están fuera del núcleo, sino que se crea por decaimiento de un neutrón. Por ejemplo en la emisión de partículas beta por el átomo de carbono.

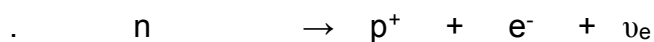


En este proceso el número total de protones y el número total de neutrones no se conservan por separado y aparentemente no se conservaba la energía ni el impulso.

Esto condujo a Wolfgang Pauli a proponer una nueva partícula que llamó neutrino (ν).

Pauli propuso que los neutrinos no debían tener carga eléctrica, poca o ninguna masa y el mismo espín que electrones y protones (más adelante se explicará el concepto de espín).

La existencia del neutrino fue confirmada en 1956.



Síntesis del capítulo

Realizando una síntesis de este capítulo podemos advertir que, a principios del siglo XX, se conocía que:

El átomo está formado por un núcleo que contiene la mayor parte de la masa y la carga eléctrica positiva, con electrones de carga eléctrica negativa alrededor del núcleo.

El núcleo atómico está formado por partículas llamadas protones (de carga positiva +1) y masa 1 UMA y neutrones, sin carga eléctrica y con masa levemente mayor a la del protón.

(UMA: Unidad de masa atómica = $1.66 \times 10^{-27} \text{kg}$)

También mencionamos la existencia de otra partícula: el neutrino.

Partimos del concepto de átomos como “partícula” fundamental e indivisible y arribamos al conocimiento de “partículas” más pequeñas, que forman la estructura del átomo.

Hasta este punto conocemos: electrones, protones, neutrones, neutrino. Y también algunas de sus propiedades tales como masa y carga. Observemos la siguiente tabla:

Partícula	Masa (UMA)	Carga eléctrica
Electrón	1/1840	-1
Protón	1	+1
Neutrón	1	0
neutrino	Muy pequeña	0

Describamos somera y cualitativamente los tres tipos de radiación (α , β , γ) que se produce por la desintegración de núcleos atómicos inestables.

Pero, las partículas descubiertas ¿son realmente fundamentales?

¿Cómo permanecen unidas las partículas nucleares, es decir, por qué no se repelen los protones, todos con cargas del mismo signo?

¿Por qué el átomo no colapsa por pérdida de energía de sus electrones al orbitar alrededor del núcleo?

Continuaremos el trayecto y buscaremos las respuestas en el capítulo 2.

CAPITULO 2

En este capítulo continuaremos el recorrido iniciado en el anterior a través del camino de la búsqueda del conocimiento de la estructura de la materia e intentaremos interpretar de manera sencilla los aportes brindados por la Mecánica Cuántica y por la Teoría de la Relatividad.

En primer lugar, citaremos los alcances y límites de la Física Clásica. Luego mencionaremos brevemente la Teoría de la Relatividad especial y también los interrogantes, teorías propuestas y experimentos que condujeron al actual Modelo Atómico.

Mecánica Clásica

La Mecánica Clásica tuvo un sorprendente desarrollo, con Galileo y Newton como pilares. Interpreta las leyes de la naturaleza que rigen los fenómenos a partir del sentido común y dentro de parámetros antropométricos.

Es determinista: puede predecir de manera exacta el estado de un objeto en el futuro o en el pasado conociendo la situación inicial en un instante dado.

El tiempo es absoluto e independiente del observador. El espacio, tridimensional.

Las leyes de la Mecánica Clásica se cumplen en el rango de magnitudes que podemos ver, en el de la cotidianeidad, pero dejan de hacerlo en el mundo subatómico (dimensiones mucho menores a las antropométricas) y tampoco se cumplen a velocidades muy altas, cercanas a las de la luz (300 000 Km./seg.). Cuando las dimensiones son muy pequeñas, es la Mecánica Cuántica quien interpreta el comportamiento de los sistemas y, cuando las velocidades son cercanas a las de la luz, la interpretación es brindada por la Relatividad.

Teoría de la Relatividad Especial. Albert Einstein. 1905

Esta teoría expresa que las leyes de la física, deben ser las mismas para todos los observadores en movimiento relativo con velocidad constante (sistemas inerciales), es decir las leyes de Newton y las del electromagnetismo de Maxwell.

Este postulado tiene dos consecuencias importantes:

- La velocidad de la luz es la misma en todo sistema inercial; ningún objeto puede viajar a una velocidad mayor que la velocidad de la luz.
- La equivalencia entre masa y energía, resumida en la famosa ecuación de Einstein $E=mc^2$

En esta teoría, el tiempo deja de ser absoluto y por ello también la simultaneidad.

Los efectos relativistas se vuelven significativos a medida que aumenta la energía y la velocidad se acerca a la velocidad de la luz.

La ecuación $E=mc^2$ nos dice que la masa es una forma más de energía y viceversa, por lo tanto es posible transformar una en otra.

Mecánica Cuántica

- ¿Por qué el átomo no colapsa? Esto contradice las leyes de Maxwell que explican todos los fenómenos de electricidad y magnetismo y que predijeron las ondas electromagnéticas. Según estas leyes, un electrón acelerado debe emitir radiación electromagnética, perdiendo así energía y caer al núcleo.

La respuesta fue brindada por la Mecánica Cuántica.

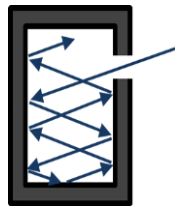
Los experimentos que permitieron seguir avanzando fueron los que estudiaron:

- Radiación de un cuerpo negro
- Efecto fotoeléctrico.

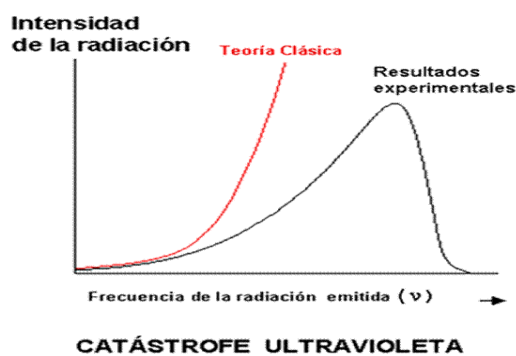
Radiación de un cuerpo negro

Al calentar un objeto este emite radiación en forma de ondas electromagnéticas en una amplia gama de frecuencias y la potencia depende de la temperatura, siendo máxima la intensidad para determinadas frecuencias.

Un cuerpo negro absorbe toda la radiación incidente sobre él y emite energía radiante característica del sistema.



Toma diferentes colores (dependiendo de la frecuencia) a determinadas temperaturas. Los cálculos teóricos basados en la Física Clásica predecían que para altas frecuencias la intensidad de radiación debía aumentar divergiendo al infinito. Este fenómeno es conocido como “catástrofe del ultravioleta”. Experimentalmente se encontró, en cambio, que la intensidad es máxima para determinadas frecuencias y disminuye tanto para altas como para bajas frecuencias.



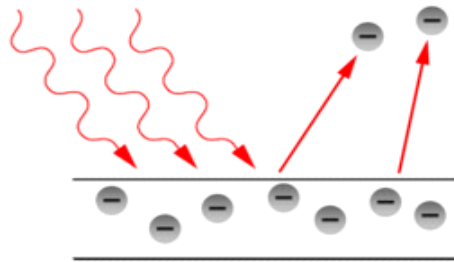
La solución fue encontrada por Max Planck, que en 1900, sugirió que la radiación no se emite de forma continua sino en pequeños paquetes de energía proporcionales a la frecuencia a los que denominó “cuantos” (por eso mecánica cuántica). Actualmente los cuantos de radiación se llaman fotones. La energía de esos cuantos, es proporcional a la frecuencia.

$$E = h\nu$$

h = constante de Planck; $h = 6,6 \times 10^{-34}$ J.seg
E: energía ν : frecuencia

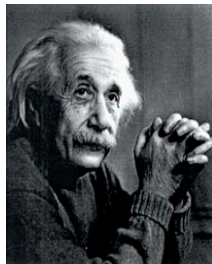
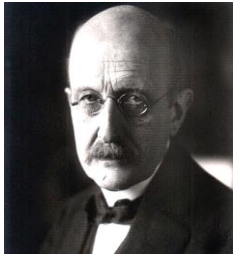
Efecto fotoeléctrico

Al hacer incidir sobre una placa de metal delgada radiación electromagnética de frecuencia conocida, se observó que se arrancaban o emitían electrones cuando la frecuencia de radiación pertenecía al visible o al ultravioleta y que su energía no dependía de la intensidad de la luz incidente.



Einstein propuso, en 1905, que lo que chocaba de la luz con la placa metálica era un paquete de energía, asimilable a una partícula a la que denominó fotón, y cuya energía dependía de la frecuencia (ν) de la luz incidente siendo:

$$E = h\nu$$



Es decir, existe una cuantificación en la producción y en el transporte de energía. La luz puede interpretarse en ciertos problemas, en términos de ondas y, en otros casos, en términos de partículas (los fotones).

Hacia un nuevo modelo atómico.

Niels Bohr (1912)



Utilizando estos conceptos, Bohr buscó la solución al problema del átomo de Rutherford.

Modelo Atómico de Bohr

Niels Bohr postuló que en el átomo debían existir órbitas estables o estados estacionarios en los que los electrones podían permanecer sin emitir radiación electromagnética, es decir los electrones solo podían ocupar ciertas órbitas permitidas. Los electrones podían saltar entre esos estados emitiendo o absorbiendo luz (fotones)

Expresó la relación usando la fórmula de Planck y Einstein en que:

$$v = \Delta E/h$$

Un electrón puede saltar a un estado mayor de energía al ser iluminado solo si absorbe la energía correspondiente a la frecuencia de la fórmula. Las frecuencias donde absorbían se observaban en líneas negras del espectro.

Tomando el criterio de cuantificación de la energía se propuso que el momento angular (L) de los electrones también estaba cuantificado en múltiplos de $h/2\pi$, determinando órbitas estables.

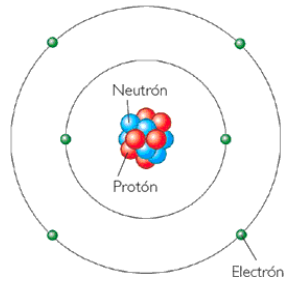
$$L = mvr \quad r: \text{radio de giro}$$

$$L = n \frac{h}{2\pi} \quad n: \text{número de órbita (número entero)}$$

Bohr determinó el radio para la primera órbita ($n=1$), siendo $r = 0.5$ Armstrong y resultando $E_{(n=1)} = 2.2 \times 10^{-18} \text{ J} = 13.6 \text{ eV}$

(1 Armstrong: 10^{-8} cm ; eV: electrón-volt , J:joule)

La existencia de un límite inferior para el radio de las órbitas explicaba porqué el átomo no colapsa.



Pero el Modelo Atómico de Bohr acarreó el siguiente interrogante:

¿Por qué los electrones de átomos complejos no se establecían todos en las órbitas cercanas al núcleo, de menor energía y por lo tanto de mayor estabilidad?

La respuesta fue propuesta por Wolfgang Pauli en su principio de exclusión. Para interpretarlo es necesario mencionar una propiedad de los electrones relacionada a su momento magnético: el espín (espín: rotación). El espín de un electrón toma valores de $\pm\frac{1}{2}$.

Principio de Exclusión de Pauli

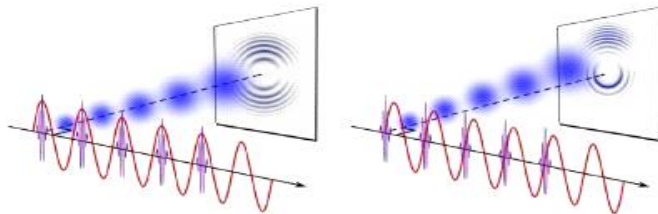
Wolfgang Pauli postuló que cada órbita o estado estacionario solo puede contener hasta dos electrones y estos deben tener espines opuestos. Esto explicó por qué los electrones no pueden amontonarse cerca del núcleo. Se verá más adelante que el Principio es extensivo a todas las “partículas” de espines semienteros como los electrones (fermiones).

Dualidad onda-partícula (Louis de Broglie)

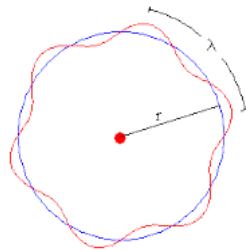


Más adelante otro científico, Louis de Broglie en el año 1926, postuló en su tesis doctoral que, así como luz podía comportarse a veces como una onda y otras como una partícula, esa dualidad también debía ocurrir en partículas

como el electrón, es decir, los electrones podían tener un comportamiento similar al de la luz, es decir comportarse a veces como onda y otras como partícula. Teniendo en cuenta los argumentos de Planck y la relación entre energía y masa de Einstein, propuso que la longitud de onda cuántica debía ser proporcional a la constante de Planck e inversamente proporcional al impulso de la partícula.



Solo ciertas longitudes de onda (λ) están permitidas en el movimiento de los electrones y son las que permiten ajustar un número entero de ondas a lo largo de la órbita del recorrido del electrón.



$$\lambda = h/p \quad p = \text{impulso angular (mv) de la partícula}$$

$$n\lambda = 2\pi r \quad L = n h/2\pi$$

El postulado de de Broglie fue confirmado en 1927 por Georges Thomson, al comprobar la propiedad ondulatoria de los electrones.

Pero, ¿Qué son los electrones? ¿ondas o partículas? o como las denomina el profesor C. García Canal ¿"partindas" u "ondículas"?

Mecánica Cuántica

Surge a fines de la década de 1920 tratando de describir fenómenos a escala microscópica que no puede describir la Física Clásica.

La búsqueda de la respuesta a la pregunta anterior se realizó simultáneamente por tres caminos diferentes. Ellos condujeron a diferentes interpretaciones que luego se complementaron.

- Werner Heisenberg – Principio de incerteza
- Erwin Schroedinger – Interpretación ondulatoria
- Paul Dirac – Ecuación cuántico-relativista

Principio de incerteza de Heisenberg (1927)



El Principio establece que es imposible determinar simultáneamente y con precisión absoluta la posición y la cantidad de movimiento de una partícula.

Para realizar la medida de la posición y la velocidad de un electrón, es necesario que un fotón choque con el electrón, con lo cual modificará su posición y velocidad.

El principio de incerteza establece un límite de aplicabilidad de la Física Clásica en la que es posible determinar la trayectoria, posición y velocidad de una partícula con precisión. Supone un cambio básico en la naturaleza de la física.

Matemáticamente se expresa:

$$\Delta x \Delta p \geq \hbar/2$$

h : constante de Planck; $\hbar = h/2\pi$

posición

Δx : incerteza o error en la medida de la

Δp : incerteza en la cantidad de movimiento

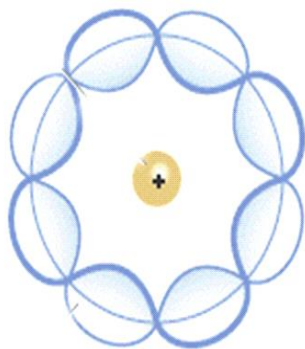
Debido a la pequeñez de h la incertidumbre en el mundo macroscópico es ciertamente despreciable.

Modelo Atómico de Schroedinger (1926)



Erwin Schroedinger realizó una interpretación ondulatoria y propuso un modelo atómico también conocido como ecuación de onda cuya solución se simboliza con la letra griega Ψ .

La ecuación de onda es una fórmula matemática cuya solución expresa la amplitud de la probabilidad de encontrar un electrón (o partícula) en un cierto lugar del espacio en un dado tiempo.



La función de onda dependerá de los valores de números cuánticos (n , l y m). La ecuación propuesta por Schroedinger es válida solo para casos de partículas que se mueven a velocidades pequeñas frente a la velocidad de la luz, es decir presenta limitaciones cuando la velocidad se acerca a 300000 km/seg. Esta limitación relativista que fue solucionada por Paul Dirac.

Paul Dirac (1928)



Dirac desarrolló una versión de la Mecánica Cuántica en la que unía el trabajo de Heisenberg y el de Schroedinger en un único modelo matemático consistente con la Teoría de la Relatividad.

Formuló una ecuación matemática cuántico-relativista (ecuación de Dirac) que describe al electrón y en general a partículas de espín $\frac{1}{2}$, que combina los Principios de Relatividad con los postulados de la Física Cuántica.

Antimateria

La ecuación de Dirac permite predecir la existencia de antimateria, particularmente de una nueva partícula similar al electrón, un antielectrón, al que llamo positrón (e^+), que tiene la misma masa que el electrón pero la carga opuesta. Su existencia fue verificada por observaciones de Anderson en 1932.

Esta predicción generó la propuesta de la existencia de otras antipartículas y su búsqueda. Los primeros experimentos se realizaron analizando rayos cósmicos

que son haces de partículas muy energéticas que provienen de fuentes lejanas como el Sol.

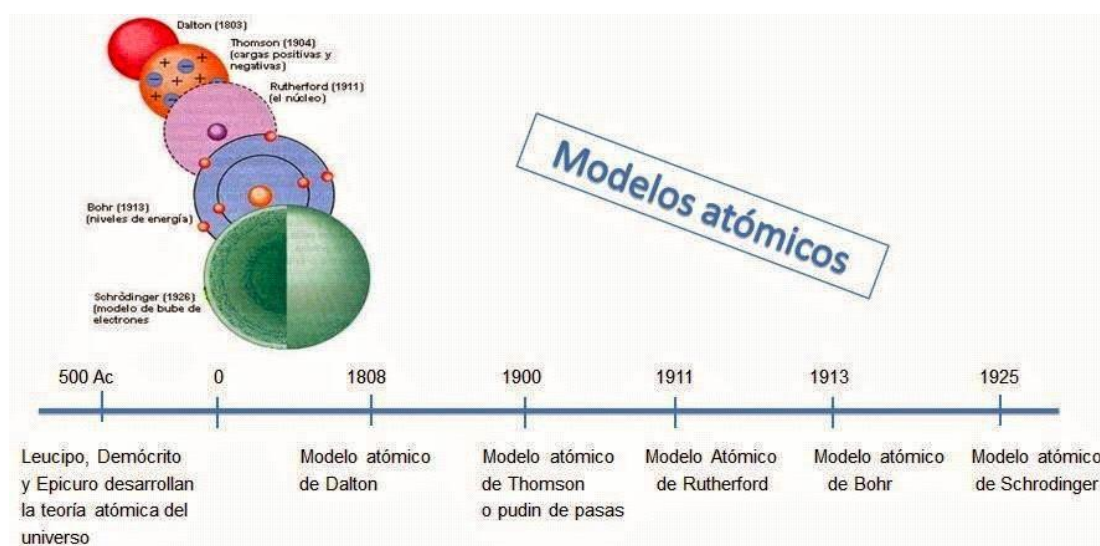
En 1955 fueron descubiertas las antipartículas para el protón y para el neutrón por colisiones de partículas de alta energía. Todas las partículas tienen asociada una antipartícula.

Propiedades de la antimateria

Las antipartículas tienen las mismas propiedades que la partícula correspondiente pero carga eléctrica opuesta.

Cuando una partícula y su antipartícula se encuentran en una reacción pueden aniquilarse. En el caso de una reacción electrón/positrón, pueden emitirse fotones como producto.

En la figura de la siguiente página se resume la evolución de los modelos atómicos que hemos recorrido hasta aquí.



Síntesis del capítulo

En este capítulo identificamos los límites de la Física Clásica, cuando se trata de usarla a escala atómica y que conllevan al surgimiento de la Mecánica Cuántica en el intento de interpretar fenómenos a nivel subatómico.

Explicamos de manera sencilla que los valores de energía que caracterizan a los electrones están cuantizados.

El carácter “ondulatorio” de las “partículas” que implica una indeterminación en la medida simultánea de sus magnitudes (la incerteza introduce predicción probabilística).

La ecuación de Schroedinger describe una onda asociada al electrón no relativista y su solución mide la probabilidad de presencia en algún lugar del espacio en un dado instante (en los lugares en que los valores de la función son más grandes, hay mas probabilidad de encontrar al electrón). En particular, el electrón del átomo de hidrógeno en su estado fundamental tiene probabilidad máxima alrededor del radio de la primera órbita de Bohr.

Mencionamos la ecuación cuántico-relativista de Dirac consistente con la Teoría de la Relatividad y comentamos acerca de su existencia.

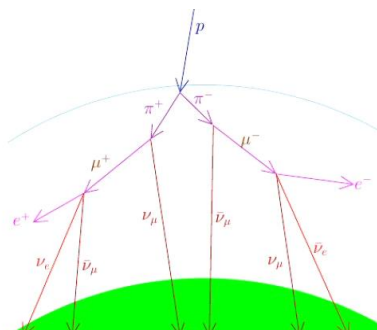
La existencia de antipartículas que implica la Teoría de Dirac.

CAPITULO 3

Nuevas partículas. Un “zoo” de partículas

En este capítulo mencionaremos y describiremos nuevas partículas que se descubrieron en experimentos destinados o no a su búsqueda. Identificaremos sus propiedades para clasificarlas. Redefiniremos espín con criterio cuántico.

Nuevas partículas. Clasificación



La predicción de la existencia del positrón motivó su búsqueda trayendo aparejado el descubrimiento de una multitud de partículas. Era necesario clasificarlas y para ello se debía tener en cuenta sus propiedades.

Una de estas propiedades es el espín. El espín es una propiedad cuántica relacionada con el momento magnético de la partícula. Toma valores discretos, enteros o semienteros, siendo completamente diferentes las propiedades de las partículas de espín entero de las de espín semientero.

A medida que se descubrían nuevas partículas (algunas postuladas previamente) se determinaban sus propiedades tales como espín, masa y tiempo de vida, ya que la mayoría son inestables. En función de estas propiedades fueron clasificadas.

Clasificación de acuerdo al espín – Bosones y Fermiones

A las partículas de espín entero (0,1,2..) se las denominó bosones en honor a Styendra Nath Bose. La característica de ellas es que tantas de ellas como se quiera, pueden ocupar el mismo estado cuántico del sistema y, en particular, el nivel fundamental.

Las partículas de espines semienteros se denominan “fermiones” en homenaje a Enrico Fermi. Los fermiones cumplen con el Principio de Exclusión de Pauli que ya explicamos anteriormente.

Clasificación de acuerdo a la masa - Leptones y Hadrones

Inicialmente se clasificó a las partículas conocidas en: “leptones” (las más leves) y “hadrones” (las más pesadas). Actualmente estos términos se asignan según los tipos de interacciones en que participan.

Todos los leptones tienen espín semientero (son fermiones), mientras que los hadrones de espín semientero son llamados **bariones** (partículas nucleares) y los de espín entero **mesones**.

Algunas partículas y su clasificación

Piones (π)

El físico Hideki Yukawa, en 1930, predijo la existencia de partículas que llamó piones (π) a fin de explicar la interacción nuclear entre protones y neutrones que mantiene unido al núcleo. La masa sería $1/7$ de la del protón y habría tres variedades de carga: positivo, negativo y neutro (π^+ , π^- , π^0).

El pión cargado fue descubierto en 1947 y el neutro en 1950, con la masa que Yukawa propuso. Es importante destacar que Yukawa predijo la existencia de una partícula basada en teorías y que fue subsecuentemente descubierta en experimentos.

Los piones son inestables, es decir viven un corto tiempo y luego, espontáneamente, se degradan en otras partículas.

Símbolo	carga	Masa (respecto la masa del protón)	Tiempo de vida (segundos)
π^+	+1	$1/7$	10^{-18}
π^-	-1	$1/7$	10^{-18}
π^0	0	$1/7$	10^{-16}

Muones (μ)

Hay dos tipos de muones (μ^- , μ^+), son los “primos” pesados del electrón y el positrón (200 veces más masivos).

símbolo	carga	Masa (respecto a la masa del protón)	Tiempo de vida (segundos)
μ^+	+1	$1/9$	10^{-6}
μ^-	-1	$1/9$	10^{-6}

Neutrinos y antineutrinos (ν)

Hay tres tipos de neutrinos.

El primero está ligado a un muón y se llama neutrino muónico, ν_μ .

El segundo está ligado a un electrón, es el neutrino electrónico, ν_e

El tercero (se describe mas adelante), es el neutrino tau, ν_τ

Cada uno de los neutrinos, además tienen un antineutrino correspondiente, simbolizado con una barra arriba.

Tau (τ)

Un “primo” pesado del electrón y el muón, el tau (τ), fue descubierto recientemente en 1995. El tau puede tiene carga eléctrica negativa y tiene una masa casi el doble que el protón. Por supuesto, tiene un neutrino y un antineutrino correspondientes. Entonces hay en total 3 tres neutrinos y tres antineutrinos.

• ν_μ, ν_e, ν_τ

El **electrón, muon, tau**, sus correspondientes **antipartículas**, los **neutrinos**, y los **antineutrinos** son **leptones**.

Los **protones y neutrones** son **bariones**. Los **piones** son **mesones**.

Recordemos que tanto los bariones como los mesones son **hadrones**.

Leptones	Hadrones	
	Mesones	Bariones
<ul style="list-style-type: none">• Electrón• Muón• Tau• Neutrino electrónico• Neutrino muónico• Neutrino tau• Positrón• Muón positivo• Tau positivo• Antineutrino electrónico	<ul style="list-style-type: none">Pión positivoPión negativoPión neutro	<ul style="list-style-type: none">• protón- neutrón

<ul style="list-style-type: none"> • Antineutrino muónico • Antineutrino tau 		
--	--	--

¿Pero, los hadrones, son bloques fundamentales?

Murray Gell Mann. Quarks

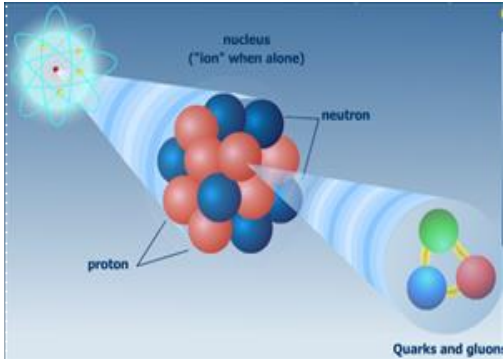


El físico Murray Gell Mann propuso que los hadrones estaban compuestos por partículas más elementales a las que denominó “**quarks**”.

A comienzos de la década del 60, se propuso que los bariones estaban formados por tres quarks y los mesones por un quark y su correspondiente antiquark.

La existencia de los quarks se comprobó experimentalmente en el acelerador de partículas SLAC de California en 1968, bombardeando electrones sobre protones. En el mismo experimento se descubrió que, junto con los quarks se encontraban otras partículas que llamaron gluones.

(SLAC: Acelerador lineal de Stanford)



Una característica de los quarks es que tienen cargas fraccionarias, pero no son observados directamente porque nunca están aislados, existen agrupados con otros quarks formando partículas compuestas: los hadrones. La suma de cargas eléctricas de los quarks que forman un hadrón es siempre un número entero.

A partir de 1968 se fueron hallando experimentalmente los seis tipos de quarks actualmente conocidos y que junto con los leptones son los bloques fundamentales componentes de la materia.

Los seis tipos de quarks se conocen como “**sabores**” y se denominan u,d,c,s,t y b.

.u: up (arriba); **d:** down (abajo);

.c: charm (encanto) **s:** strange (extraño)

.t: top (cima) **b:** bottom (fondo)

Los quarks tienen una propiedad llamada **color** y cada uno puede presentar tres colores: “rojo”, “verde” y “azul”

Solamente los quarks u y d forman parte de la materia del Universo actual. Pero en los comienzos del Universo (hace aproximadamente 14 mil millones de años) los otros quarks formaban parte del mismo y se degradaron a partículas más estables. Actualmente los físicos pueden crear y estudiar esas partículas en laboratorios de alta energía.

QUARKS

Nombre	Símbolo	Masa (Mev/c ²)	Carga eléctrica
Up	.u	310	+2/3
Down	.d	310	-1/3
Charm	.c	1500	+2/3

Strange	.s	505	-1/3
Top	.t	>22500	+2/3
Bottom	.b	5000	-1/3

Síntesis del capítulo

En este capítulo hemos descrito a un “zoo” de partículas que han sido descubiertas en la búsqueda de los “bloques fundamentales” constitutivos de la materia. En los capítulos siguientes intentaremos interpretar su clasificación de acuerdo al Modelo Estándar.

Antes debemos encontrar respuesta a:

¿Qué mantiene unidas a las partículas?

Trataremos de explicarlo en el capítulo siguiente.

CAPITULO 4

Fuerzas e Interacciones

En este capítulo describiremos las interacciones fundamentales que mantienen unidos a los componentes del Universo.

Identificaremos las interacciones y mencionaremos sus principales características.

¿Qué mantiene unido al Universo?

¿Qué ocurre en el mundo subatómico? ¿Cómo se mantienen unidas las partículas? ¿Hay fuerzas que las mantienen ligadas? ¿Cómo interactúan las partículas?

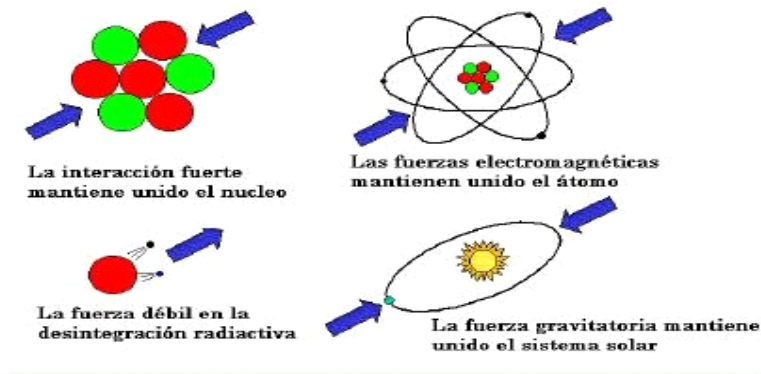
En el mundo subatómico es más adecuado hablar de interacciones en vez de fuerzas aunque, a veces, usamos indistintamente los términos. Las interacciones, en este rango de dimensiones, son transmitidas por el intercambio de partículas intermediarias, mediadoras o portadoras. Cuando dos partículas interactúan lo hacen intercambiando un intermediario de fuerza. Para interpretar este intercambio usemos la siguiente analogía: imaginemos dos personas que juegan intercambiándose una pelota. Los efectos de la pelota sobre cada jugador representa la fuerza, los jugadores las partículas y la pelota el portador de fuerza, es decir, las fuerzas son los efectos causados por las partículas portadoras de fuerza sobre las partículas materiales.

Continuando con la analogía de los jugadores podemos advertir que, cuanto más pequeña sea la pelota, más alejados podrán estar los jugadores y pasarla sin que se les caiga. Esto nos muestra que el rango de acción de la fuerza dependerá inversamente de la masa de la partícula mediadora.

En la actualidad se considera que hay cuatro interacciones fundamentales con sus correspondientes portadores o mediadores.

Las fuerzas consideradas fundamentales son:

- Fuerza gravitacional
- Fuerza electromagnética
- Fuerza fuerte
- Fuerza débil



Fuerza gravitacional



La interacción gravitatoria afecta a la estructura del Universo

La fuerza gravitacional actúa entre todas las partículas que tienen masa. Cada objeto con masa atrae a todo otro objeto con masa con una fuerza que se vuelve más débil si la distancia entre las masas aumenta. La fuerza gravitacional es la fuerza vinculante de planetas, estrellas y galaxias. Es proporcional a la masa de los objetos implicados. Todos los objetos con masa experimentan la fuerza gravitacional, incluso cuando son pequeños. El portador de la fuerza gravitacional es llamado **“gravitón”** pero nunca ha sido observado en un experimento. Es una fuerza de atracción y se ejerce a distancia, es decir, los objetos no necesitan estar en contacto para ejercerla ya que lo hace el Campo. En el mundo subatómico es muy pequeña y se desprecia frente a las otras fuerzas.

Fuerza electromagnética



La fuerza electromagnética actúa entre todos los objetos que tienen carga eléctrica. Por ejemplo el electrón y el protón tienen carga eléctrica mientras que los neutrones y neutrinos no. La fuerza es de atracción entre objetos con cargas opuestas y de repulsión entre objetos con cargas de igual signo. Por lo tanto, dos electrones se repelerán entre sí, y un electrón y un protón se atraerán.

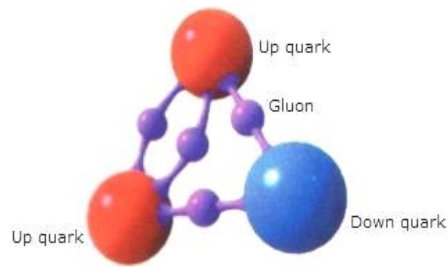
La fuerza electromagnética es la responsable de la atracción entre protones del núcleo y los electrones circundantes, es decir mantiene los electrones ligados al núcleo. Al igual que la fuerza gravitacional, esta fuerza disminuye si aumenta la distancia entre las partículas. Como el neutrino y el neutrón no tienen carga eléctrica, no se ven afectados por la fuerza electromagnética. El portador de esta fuerza es el fotón (γ). Los fotones no tienen masa por lo que el rango de la fuerza electromagnética es infinito.

Fuerza “fuerte” (nuclear)



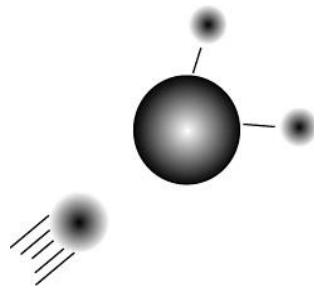
Propuesta en 1935 por el físico Yukawa. Es una fuerza de atracción que actúa entre los protones y neutrones. Es la responsable de que los núcleos de los átomos no se destruyan debido a la fuerza de repulsión entre los protones. Es de atracción para todas las combinaciones de protones y neutrones. Actualmente se comprende que no es una fuerza fundamental, sino que proviene de la auténtica fuerza fuerte entre los quarks que forman los nucleones

Fuerza fuerte



Actúa entre quarks que forman parte de los protones y neutrones. El portador de la fuerza fuerte es llamado “gluón” (g) y hay evidencia experimental de su existencia, como se mencionó en capítulos anteriores. El alcance de la fuerza fuerte no es mayor que el tamaño del núcleo de un átomo.

Fuerza Débil



Es la responsable de la desintegración radiactiva beta. Este proceso involucra a un neutrón que decae en protón, electrón y antineutrino de electrón.



Los neutrinos solamente son afectados por la fuerza débil ya que su masa es muy pequeña y no tienen carga eléctrica. La fuerza fuerte solamente afecta a los quarks y los gluones. Siempre que un neutrino está involucrado en una reacción, ésta procede bajo la fuerza débil. Los portadores de la fuerza débil son los bosones (W^+ , W^- y Z^0). Los W y Z tienen masa casi 100 veces la masa del protón. Al ser tan masivos, su acción se reduce a distancias del orden de $10^{-17}m$. Las interacciones débiles son las responsables de que los quarks y leptones más pesados decaigan produciendo quarks y leptones más livianos.

INTERACCION FUNDAMENTAL	MEDIADOR
Gravitatoria	Gravitón
Electromagnética	Fotón
Fuerte	Gluón
Débil	Bosones W^+ , W^- , Z

CAMPOS

Los físicos, para explicar las acciones a distancia de las interacciones, desarrollaron el concepto de "Campo".

Campo es una magnitud física que tiene un valor definido en cada punto del espacio donde se manifiesta.

Todos los cuerpos masivos son fuente de un Campo Gravitacional.

Una carga eléctrica crea un Campo Electromagnético (si está en reposo se percibe solo el Campo Eléctrico y en movimiento se manifiesta el Campo Electromagnético ya que las corrientes producen campo magnético).

Para interpretar el mundo subatómico fue necesario aplicar el concepto de campo a las partículas cuánticas. Nació de esta manera la Teoría Cuántica de Campos.

Teoría Cuántica de Campos

Esta teoría dice que existe un campo para cada tipo de partícula y un único tipo de partícula para cada campo.

Las “partículas” son perturbaciones localizadas de estos campos, es decir el concepto de partícula queda subordinado al de campo ya que son sus excitaciones.

Recordando las partículas e interacciones explicadas anteriormente, ahora podemos interpretar, por ejemplo, que la excitación localizada de un campo electromagnético es el fotón. El mismo razonamiento se puede aplicar a las demás partículas.

La idea de la Teoría Cuántica de Campos es que los campos cuánticos son los ingredientes básicos del Universo y las “partículas” no son más que paquetes de energía y de cantidad de movimiento de los campos.

Esta teoría nos conduce a una visión más unificada de la naturaleza.

El universo está constituido fundamentalmente de campos. Las “partículas” cuánticas son un producto de esos campos en circunstancias particulares.

Síntesis del capítulo

Hemos descrito en forma sencilla, las interacciones fundamentales y la noción de Campo. Con lo desarrollado hasta acá estamos en condiciones de interpretar el Modelo Estándar que ha sido propuesto por los físicos intentando describir toda la materia y las fuerzas existentes en el Universo. Lo explicaremos en el capítulo siguiente.

CAPITULO 5

El Modelo Estándar de las Interacciones fundamentales

En este capítulo describiremos el Modelo Estándar, que fue postulado como consecuencia de experimentos realizados en los años 70-80. Para interpretar el

modelo hablaremos también del “Campo de Higgs” y retomaremos los conceptos de bloques e interacciones fundamentales tratados en capítulos anteriores. Intentaremos obtener una comprensión más profunda de lo detallado anteriormente.

Modelo Estándar

Este modelo justifica la existencia de cientos de partículas como compuestos de unos pocos tipos de constituyentes elementales y explica las interacciones fundamentales entre estas últimas. Es decir identifica los bloques básicos y especifica cómo interactúan. Todo lo que pasa en nuestro mundo y en todo el Universo (excepto los efectos gravitatorios) es resultado de las “partículas” del Modelo Estándar interactuando de acuerdo a sus reglas.

Los físicos consideran que pueden explicar todos los tipos de materia observados utilizando seis “sabores” de quarks (que al presentar tres variedades de “color” son dieciocho), y seis clases de leptones. Como vimos en el capítulo anterior atribuyen todas las fuerzas observadas a cuatro fuerzas fundamentales, cada una de las cuales tiene asociada su “partícula” mediadora.

Campo de Higgs

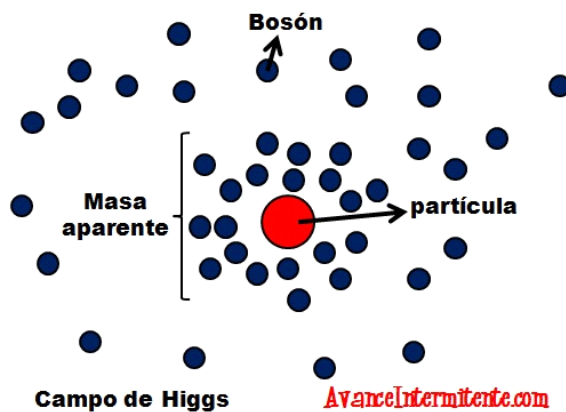
El Modelo Estándar considera que el Universo está inmerso en un campo llamado “Campo de Higgs” en honor al físico Peter Higgs, que postuló su existencia. Más tarde, su existencia fue confirmada experimentalmente en un potente acelerador de partículas, LHC, del CERN en Ginebra.

(LHC: gran colisionador de hadrones)

(CERN: organización europea para la investigación nuclear)

La verificación de la existencia del campo se llevó a cabo a través de la detección experimental de su partícula asociada: el bosón de Higgs. Es decir, existe un campo fundamental que impregna todo el Universo y las partículas están interactuando con él; de esa interacción obtienen su masa.

La intensidad de la interacción se relaciona proporcionalmente con la masa que adquieren las partículas.



Recordemos ahora las preguntas iniciales y los conceptos abordados en los capítulos anteriores.

Las preguntas:

1. ¿Cuáles son los bloques fundamentales o comunes a partir de los cuales se construye todo?

2. ¿Qué los mantiene unidos?

El Modelo Estándar considera que hay dos tipos de partículas (portadoras de fuerza y portadoras de materia) y cuatro tipos de interacciones fundamentales.

Las interacciones fundamentales son las responsables de mantener unidas a las partículas materiales y lo hacen a través de partículas mediadoras.

Los bloques (“partículas”) materiales fundamentales son dos:

LEPTONES y QUARKS.

(fundamentales implica que hasta el momento no se conoce que posean estructura interna).

Todas las partículas pueden ser explicadas con: **seis leptones, seis quarks (con sus tres variedades de color) y las “partículas” mediadoras.**

Leptones

Hay seis tipos de leptones; tres tienen carga eléctrica negativa y tres no tienen carga. Todos tienen espín $\frac{1}{2}$ y son considerados puntuales. El electrón (e^-) es el leptón más conocido. Los otros dos leptones cargados son el muón (μ^-) y la “partícula” tau (τ^-), que son esencialmente del tipo de electrones, pero de masa mucho mayor. Los leptones cargados experimentan las interacciones débiles y electromagnéticas pero no las fuertes.

Los tres leptones sin carga son los neutrinos (ν). No tienen carga eléctrica y su masa es muy pequeña. Hay un tipo de neutrino para cada tipo de leptón con carga eléctrica. Experimentan las interacciones débiles.

Para cada uno de los seis leptones hay un leptón de antimateria (antileptón), de igual masa pero de carga opuesta.

Electrón e^-	Muón μ^-	Tau τ^-
Neutrino electrónico ν_{e^-}	Neutrino muónico ν_{μ^-}	Neutrino tau ν_{τ^-}

Quarks

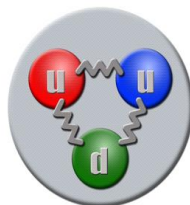
Hay seis tipos de quarks agrupados en tres pares: Up/Down, Charm/ Strange, Top/Bottom (u/d , c/s , t/b).

Cada tipo de quark (“sabor”) se presenta de tres formas diferentes frente a la interacción fuerte (“color”). Las denominaciones “sabor” y “color” no se refieren a los sabores y colores que percibimos a través de los sentidos, sino simplemente diferencian así tres tipos de quarks y tres variedades de los mismos.

Para cada quark, hay un correspondiente quark de antimateria o antiquark.

Los quarks, tienen la característica de tener carga eléctrica fraccionaria de valor $+2/3$ ó $-1/3$. Sin embargo, estas cargas no son observadas directamente porque los quarks nunca están aislados a distancias macroscópicas, sino que están agrupados formando partículas compuestas: los hadrones (protones, neutrones, mesones, etc.). La suma de las cargas eléctricas de los quarks que forman un hadrón, es siempre un número entero.

También transportan otro tipo de carga llamada carga de “color”, rojo, verde y azul, (recordemos que no se refiere a los colores que podemos ver) y es la que explica la interacción fuerte que mantiene unidos a los quarks para formar los hadrones siendo los gluones los mediadores. Los hadrones son de color neutro, por esta razón, la interacción fuerte solo actúa al nivel de las interacciones entre quarks. Como los hadrones están compuestos por quarks de diferentes colores pueden “pegarse” entre sí, es decir, al ser de diferente “color”, no son partículas idénticas y, por lo tanto, no son afectadas por el Principio de Exclusión de Pauli. Esta atracción es lo suficientemente fuerte como para contrarrestar la repulsión electromagnética entre los protones.



Hadrones.

Hay dos clases de hadrones: **Bariones y Mesones**

Bariones

Son los constituidos por tres quarks (qqq). Por ejemplo, los protones tienen dos quarks up y un quark down (uud) y los neutrones son un quark up y dos down (udd). Experimentan la interacción fuerte o fuerza nuclear.

Mesones

Contienen un quark (q) y un antiquark (\bar{q}). Por ejemplo, un pión negativo (π^-) es un antiquark u y un down ($\bar{u}d$).

Las interacciones débiles, en particular, son las responsables de que los quarks y leptones más pesados decaigan para producir quarks y leptones más livianos. Esta es la razón por la cual la materia estable que nos rodea contiene sólo electrones y los quarks más livianos.

TRES GENERACIONES

Tanto los quarks como los leptones están clasificados en tres diferentes conjuntos, denominados “generaciones” de partículas de materia.

Una generación es un grupo formado por un par de quarks (de cargas $+2/3$ y $-1/3$), un leptón y su correspondiente neutrino. Cada generación es más pesada que la generación previa.

Toda la materia visible en el Universo está formada por partículas de materia de la primera generación: quarks up/down, electrones y neutrinos electrónicos. Las partículas de la segunda y tercera generación son inestables y decaen hacia partículas de la primera generación. Actualmente sólo se producen en laboratorios o son detectados en rayos cósmicos. Esta es la razón por la cual toda la materia estable en el Universo está constituida por partículas de la primera generación.

	QUARKS	LEPTONES
1ª GENERACION	u d	e ⁻ ν _e

2ª GENERACION	c s	μ⁻ ν_μ
3ª GENERACION	t b	τ⁻ ν_τ

Las tres generacioness de la
Materia (Fermiones)

	I	II	III	
masa→	3 MeV	1.24 GeV	172.5 GeV	0
carga→	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin→	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
nombre→	u up	c charm	t top	γ photon
	6 MeV	95 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Quarks	d down	s strange	b bottom	g gluon
	<2 eV	<0.19 MeV	<18.2 MeV	90.2 GeV ⁰
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z⁰ fuerza débil
	0.511 MeV	106 MeV	1.78 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	±1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Leptones	e electron	μ muon	τ tau	W[±] fuerza débil
				Bosons (Fuerzas)

PARTICULAS MATERIALES

FUNDAMENTALES	COMPUESTAS

Quarks(q)	Leptones (L)	Bariones (qqq)	Mesones (q\bar{q})
------------------	---------------------	-----------------------	--

Recordando la información sobre las partículas mediadoras del capítulo anterior (fotón mediador de la interacción electromagnética; gluón de la interacción fuerte; bosones W y Z de la interacción débil y gravitón (aun no descubierto) de la gravitatoria, estamos en condiciones de afirmar que:

- Las “partículas” con carga eléctrica interactúan intercambiando fotones.
- Las “partículas” con carga de color interactúan fuertemente intercambiando gluones.
- La interacción débil es mediada por bosones.
- Las “partículas” con masa intercambian gravitones a nivel microscópico.
- Las “partículas” mediadoras pueden o no tener masa, tienen energía (pulsos de energía). Los bosones W y Z son los mediadores más masivos.
- La fuerza gravitatoria es irrelevante en el rango subatómico y, por lo tanto, puede no considerarse al definir fenómenos concernientes a este rango.

Retomando el Principio de Exclusión de Pauli, que establece que dos partículas no pueden estar en el mismo estado cuántico (igual espín, carga de color,

momento angular, etc.), al mismo tiempo, completaremos la clasificación de las partículas de acuerdo al espín (fermiones y bosones).

Fermiones: cumplen con el Principio de exclusión, tienen espines semienteros.

Bosones: no cumplen con el Principio de Exclusión; tienen espines enteros.

Son fermiones: quarks y leptones (“partículas” fundamentales); protones y neutrones (“partículas” compuestas). Por lo tanto, dos de estas partículas idénticas no pueden coexistir en la mismo estado cuántico.

Son bosones: las “partículas” portadoras de las interacciones fundamentales y las partículas compuestas por un número par de fermiones (por ejemplo los mesones y los núcleos atómicos en que la suma de protones y neutrones sea un número par).

	“Partículas”	Espín
FERMIONES	Quarks y Leptones (q) (L)	$\frac{1}{2}$
	Bariones (qqq)	$\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \dots$
BOSONES	Bosones portadores (γ, W^+, W^-, Z, g)	1
	Mesones ($q\bar{q}$)	0, 1, 2,

La información sobre el Modelo Estándar se encuentra en una tabla (“tabla del Modelo Estándar”) y brinda una referencia instantánea de nombres y

propiedades. En la figura siguiente puede observarse la tabla y la misma puede consultarse en <http://www.particleadventure.org/spanish>.

Standard Model of FUNDAMENTAL PARTICLES AND INTERACTIONS

The Standard Model summarizes the current knowledge in Particle Physics. It is the quantum theory that includes the theory of strong interactions, quantum chromodynamics (QCD) and the unified theory of weak and electromagnetic interactions (electroweak). Gravity is included on this chart because it is one of the fundamental interactions even though not part of the "Standard Model."

FERMIONS

Leptons spin = 1/2

Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_e electron	$<1 \cdot 10^{-6}$	0
e^- electron	0.000511	-1
ν_μ muon	<0.0002	0
μ^- muon	0.106	-1
ν_τ tau	<0.02	0
τ^- tau	1.7771	-1

Quarks spin = 1/2

Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
u up	0.003	2/3
d down	0.006	-1/3
c charm	1.3	2/3
s strange	0.1	-1/3
t top	175	2/3
b bottom	4.3	-1/3

Structure within the Atom

BOSONS

force carriers spin = 0, 1, 2, ...

Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
γ photon	0	0
W^-	80.4	-1
W^+	80.4	+1
Z^0	91.187	0

Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
g gluon	0	0

Color Charge
Each quark carries one of three types of "strong charges," also called "color charge." These charges have nothing to do with the colors of visible light. There are eight possible types of color charge for gluons. Just as electrically-charged particles interact by exchanging photons, in strong interactions color-charged particles interact by exchanging gluons. Leptons, photons, and W and Z bosons have no strong interactions and hence no color charge.

Quarks Confined in Mesons and Baryons
One cannot isolate quarks and gluons. They are confined in color-neutral particles called hadrons. This confinement (binding) results from multiple exchanges of gluons among the color-charged constituents. As color-charged particles (quarks and gluons) move apart, the energy in the color force field between them increases. This energy eventually is converted into additional quark-antiquark pairs (see figure below). The quarks and antiquarks then combine into hadrons. These are the particles seen to emerge. Two types of hadrons have been observed in nature: **mesons** and **baryons**.

Residual Strong Interaction
The strong binding of color-neutral protons and neutrons to form nuclei is due to residual strong interactions between their color-charged constituents. It is similar to the residual nuclear interaction that binds electrically neutral atoms to form molecules. It can also be viewed as the exchange of mesons between the hadrons.

PROPERTIES OF THE INTERACTIONS

Property	Gravitational	Weak (intermediate)	Electromagnetic	Strong	
	Mass - Energy	Flavor	Electric Charge	Fundamental	Residual
Acts on:	All	Quarks, Lepton	Electrically charged	Quarks, Gluons	Hadrons
Particles exchanging:	Graviton (not yet observed)	W^+, W^-, Z^0	γ	Gluons	Mesons
Particles mediating:	All	Quarks, Lepton	Electrically charged	Quarks, Gluons	Hadrons
Strength: ratio to strong (10^{-16} at 10^{-16} m)	10^{-42}	0.8	1	25	Not applicable to quarks
Strength: ratio to strong (10^{-16} at 10^{-10} m)	10^{-40}	10^{-4}	1	60	Not applicable to quarks
Range: protons to neutrons	10^{-16}	10^{-1}	10^{-1}	1	20

Baryons (qqq) and Antibaryons (qq̄q̄)

Baryons are fermions (hadrons). There are about 120 types of baryons.

Symbol	Name	Quark content	Quark charge	Baryon charge	Spin
p	proton	uud	1	1.688	1/2
\bar{p}	anti-proton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-1	1.688	1/2
n	neutron	udd	0	1.640	1/2
Λ	lambda	uds	0	1.116	1/2
Ω^-	omega	sss	-1	1.673	3/2

Mesons (q̄q)

Mesons are bosons (hadrons). There are about 180 types of mesons.

Symbol	Name	Quark content	Quark charge	Baryon charge	Spin
π^+	pion	$u\bar{d}$	+1	1.408	0
K^+	kaon	$u\bar{s}$	+1	0.494	0
μ^+	muon	$u\bar{d}$	+1	0.106	1/2
B^0	meson	db	0	0.527	0
η_c	meson	$c\bar{c}$	0	1.860	0

$n \rightarrow p e^- \bar{\nu}_e$

A neutron decays to a proton, an electron, and an antineutrino via a virtual (mediating) W boson. This is called β decay.

$e^+e^- \rightarrow \gamma^* \rightarrow Z^0 \rightarrow b\bar{b}$

An electron and positron annihilate into a virtual photon of high energy can produce a bottom quark and anti-bottom quark pair via a virtual Z boson or a virtual photon.

$p p \rightarrow Z^0 \gamma^* \rightarrow q\bar{q}$ associated hadrons

Two protons colliding at high energy can produce various hadrons via very high energy particles such as Z bosons. Events such as this one are often called pair production due to the creation of matter.

The Particle Adventure

This chart has been made possible by the generous support of:

- U.S. Department of Energy
- Lawrence Berkeley National Laboratory
- Stanford Linear Accelerator Center
- European Particle Physics Council of Particle and Hadron Physics, etc.

©1998-1999 Contemporary Physics Education Project (CPEP) is a non-profit organization of teachers, physicists, and educators. Send mail to: CPEP, MS 90-008, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, 94720. For information on charts, book materials, hands-on classroom activities, and workshops, see <http://pdg.lbl.gov/cpep.html>

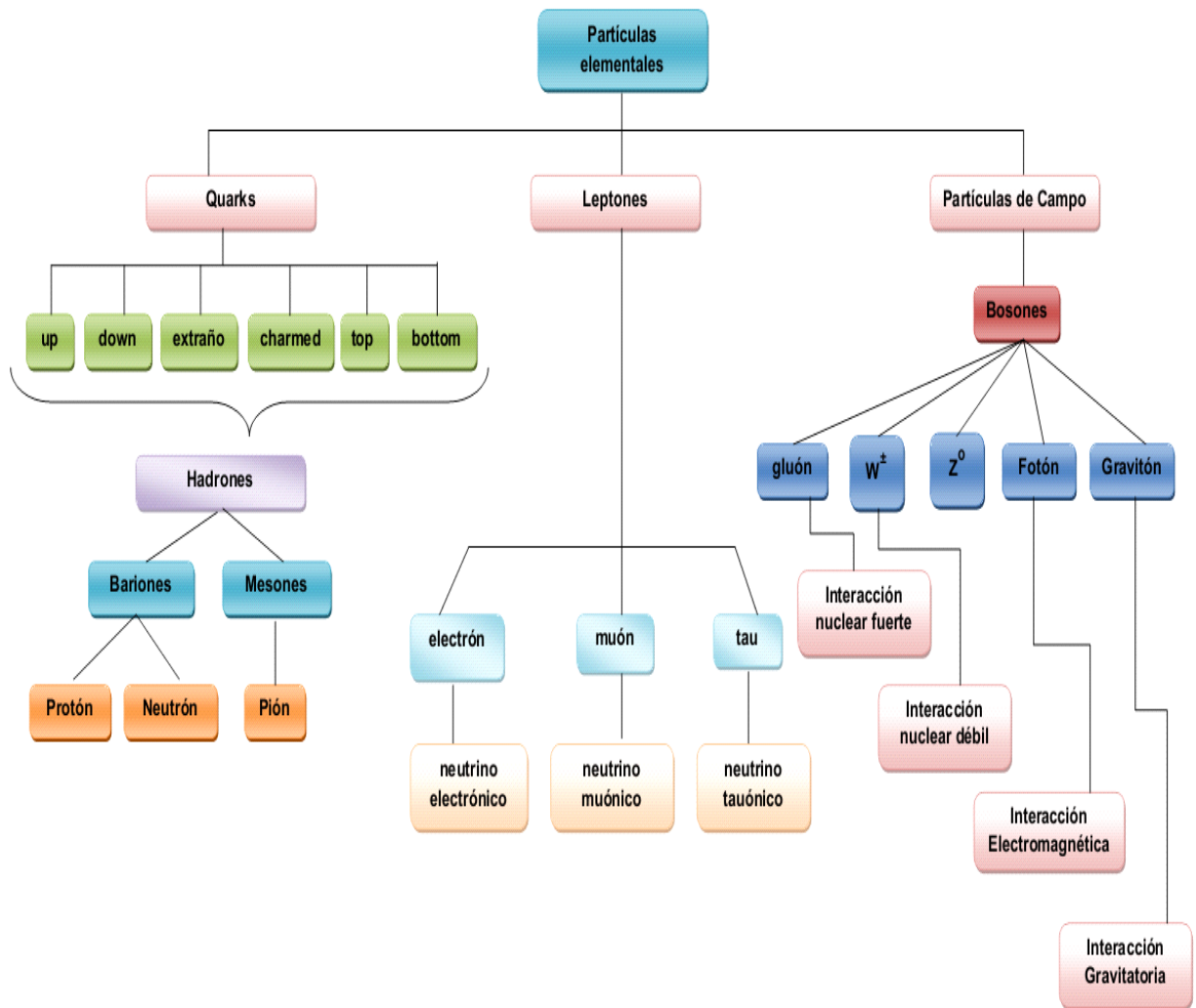
Síntesis del capítulo

Hemos tratado de interpretar la explicación que encontraron los físicos de cuáles y cómo son los bloques fundamentales a partir de los cuales se construye el Universo y cuáles son las interacciones responsables de su funcionamiento.

Al comienzo de nuestro recorrido contábamos con una tabla que consideraba que son cuatro los elementos fundamentales (recordemos la escuela de Empédocles en Grecia. Al avanzar, ese modelo fue superado y surgió la tabla periódica de los elementos de Mendeleiev, en la que están ordenados más de cien tipos de elementos químicos y sus propiedades pueden ser interpretadas por los conocimientos que fuimos introduciendo.

Teniendo en cuenta que, lo que se pretende, es encontrar o descubrir cuáles son los bloques fundamentales, la actual tabla de partículas elementales es superadora de las anteriores y simplifica la Tabla de Mendeleiev.

Los científicos consideran que la interpretación se puede realizar basándose en seis tipos de quarks, seis tipos de leptones, cuatro interacciones fundamentales con sus mediadores asociados. Hay que tener en cuenta que los quarks existen en tres colores y que cada partícula cuenta con su antipartícula.



Sin embargo quedan cuestiones por responder, algunas son:

¿Son los quarks y los leptones fundamentales?

¿Por qué los quarks y los leptones vienen en tres familias?

Y muchas más, de las que los científicos irán encontrando las respuestas, que arrojarán nuevos interrogantes que permitirán transitar este apasionante camino.

SECCION 2^{da}

Introducción

En esta sección se describirá el desarrollo de la implementación de los temas de Física Contemporánea en el nivel medio llevada a cabo en el colegio preuniversitario Liceo Víctor Mercante de la Universidad de La Plata.

Las intervenciones se realizaron en grupos de alumnos cuyas edades están comprendidas entre 13 y 17 años. Se detallarán las actividades realizadas, evaluaciones, resultados y conclusiones a las que se arribó.

Como se mencionó en el resumen, para el desarrollo de la propuesta se tomaron en cuenta la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel (1963) y la Teoría del Aprendizaje Crítico de Moreira (2005).

Ausubel considera aprendizaje significativo al proceso a través del cual se relaciona una nueva información de manera no arbitraria y sustantiva. Opina que el aprendizaje significativo ocurre cuando la nueva información se apoya interactivamente en conceptos preexistentes en la estructura cognitiva del individuo, es decir, nuevas ideas y conceptos pueden ser aprendidos y retenidos significativamente en la medida que otras ideas y conceptos estén adecuadamente claros, disponibles y funcionen como punto de anclaje para los nuevos.

Para Ausubel, el conocimiento previo es el principal factor que influye en la adquisición de nuevos conocimientos y funciona estableciendo relaciones entre conceptos, organizando y permitiendo expresarlos a través del lenguaje formal, así como transferirlos a situaciones nuevas.

Moreira, apoyado en la Teoría de Ausubel, opina que, a través del aprendizaje significativo crítico, el alumno podrá formar parte de la cultura de su entorno y, al mismo tiempo no ser subyugado por ella. Para alcanzar tal aprendizaje, señala una serie de principios tales como el abandono de la narrativa por parte del profesor, el papel del docente como mediador para promover el aprendizaje, la enseñanza basada en preguntas en lugar de respuestas, el aprendizaje por error y el desaprendizaje.

Basándonos en lo citado, las intervenciones didácticas constaron de un cuestionario o actividad indagatoria con dos propósitos. El primero de ellos fue averiguar cuáles son los conocimientos previos que poseen los alumnos, de manera que nos permitan apoyar en ellos los nuevos conceptos cuyo aprendizaje pretendemos promover y, también, determinar las ideas erróneas que hay que modificar o ajustar. El segundo propósito fue presentar interrogantes que generaran “necesidad cognitiva”, que actúen de disparadores en los alumnos para que formulen preguntas, dudas y manifiesten sus intereses referentes al tema. La búsqueda de respuestas traerá nuevos conocimientos que serán generadores de nuevas preguntas.

El análisis de las respuestas nos brindó información para seleccionar el tema que se tomará como punto de partida para la elaboración del plan de las clases de la segunda intervención.

En la etapa siguiente los temas, su profundidad y las actividades, se planificaron adecuándolos a cada nivel. La intención fue introducir conceptos de Física Contemporánea a través de la argumentación, tareas, ejemplo de situaciones y cuestionamientos.

En los niveles inferiores se buscó incorporar conceptos que sirvieran de “anclaje” en niveles posteriores.

Esta fase se conformó de diferentes tipos de actividades, que permitieron evaluar el grado de internalización de los temas alcanzado por los alumnos y analizar la aplicabilidad de la propuesta, su reformulación, ajustes pertinentes, proyección o inserción de otros temas.

Objetivos

Objetivo General

- Establecer lugares adecuados en el Plan de estudios para incorporar conceptos de Física Contemporánea de modo de actualizar los contenidos.

Objetivos Específicos

- Reconocer y analizar conocimientos previos de los alumnos, que brinden la posibilidad de “anclar” conceptos de Física Contemporánea.
- Interpretar la profundidad de desarrollo de los temas
- Identificar y corregir conceptos previos erróneos.
- Conocer los intereses que los alumnos tienen sobre temas de Física Contemporánea.
- Determinar los lugares estratégicos en el Plan de estudio para incorporar temas de Física Contemporánea.

Metodología

Para llevar a cabo esta propuesta, la metodología consistió en realizar intervenciones didácticas en distintos niveles en cursos entre 2º y 6º año en las asignaturas Ciencias Naturales, Física, Química e Introducción a la Problemática de las Ciencias.

La metodología propuesta tiene carácter abierto, es decir, a partir de una propuesta que tiene en cuenta saberes, inquietudes, características de los educandos y los contenidos que se pretende presentar, se va desarrollando interactiva y flexiblemente la tarea, de acuerdo a las realidades que se presentan en el aula o laboratorio. Se busca construir y aplicar situaciones que favorezcan el aprendizaje significativo.

Las intervenciones se realizaron a través de clases que se desarrollaron en tres etapas.

En el primer encuentro de la primera etapa se realizó un cuestionario simple de dos preguntas, sin explicaciones previas y cuyos objetivos fueron:

- Indagar sobre saberes previos e intereses que manifiestan los alumnos (encontrar el punto de “anclaje”).
- Despertar “necesidad cognitiva”.
- Seleccionar el tema a desarrollar en la fase siguiente.

En la segunda etapa se desarrollaron actividades de carácter procedimental en las que se intentó incorporar conceptos de Física Contemporánea. Los tópicos se seleccionaron de acuerdo al nivel abordado, teniendo en cuenta las respuestas a los cuestionarios de la primera etapa y se buscó que las actividades fuesen motivadoras para la edad de los educandos. Esta etapa consistió en varios encuentros que se ajustaron a la dinámica del desarrollo de las mismas. Más adelante en este trabajo se detallarán las actividades llevadas a cabo.

La última etapa se destinó a la evaluación de los resultados logrados en lo referente a incorporación de conceptos (que servirán para la interacción con otros) y en el interés despertado en los estudiantes. Asimismo, se intentó elaborar conclusiones basadas en la comparación entre las expectativas y los logros alcanzados.

Analizando el plan de estudios del colegio pre-universitario Liceo Víctor Mercante de la Universidad Nacional de la Plata, advertimos que en el primer nivel en la asignatura Ciencias Naturales, que se desarrolla en forma conjunta con Física, Química y Biología, los temas parten de la concepción de Universo formado por “materia y energía”. A partir de allí se van realizando clasificaciones que traen como consecuencia la separación de las asignaturas para abordar cada una el estudio específico de los temas de su área.

En lo referente al concepto de materia, arriban a la clasificación de sustancias simples y sustancias compuestas para, a partir de ese criterio, en el segundo nivel llegar al tema estructura atómica. También en este nivel abordan los temas energía y fuerzas cuando tratan tópicos tales como cambios de estado y, también, fuerza gravitatoria, al desarrollar los conceptos de masa y peso.

Teniendo en cuenta lo anterior, consideramos adecuado, intervenir en el 2º nivel e intentar abordar la incorporación a través de dos asignaturas (física y química).

La primera en la asignatura Química que tiene en su programa el tema “Estructura atómica”. La intención de la intervención fue sembrar la noción de la existencia de partículas elementales, familiarizarlos con sus nombres de manera que en años posteriores posean estructuras cognitivas para “anclar” y poder desarrollar el tema con mayor detalle.

La otra intervención se realizó, con el mismo grupo de alumnos, en la asignatura Física, cuyo programa incluye el tema “Fuerzas”. Con el profesor del curso desarrollan el concepto de “fuerza” y la clasificación que predomina en los libros de texto para ese nivel (Fuerzas por contacto y fuerzas a distancia). Acá, nuestro propósito fue instalar el concepto de interacción y la noción de campo y mediadores.

El estadio siguiente que consideramos apto para actuar fue en el tercer nivel, en la asignatura Química. En el programa figura el tema modelo atómico actual y, en la asignatura se pone énfasis en las herramientas del modelo que permiten interpretar las configuraciones electrónicas de los elementos con fines inherentes a la asignatura. Nuestra intención fue hacer hincapié en otros conceptos (números cuánticos, espín entre otros), de manera que sirvan de lugares de apoyo de conocimientos nuevos en años posteriores. También en este estadio pudimos introducir fórmulas matemáticas sencillas, de manera de evitar una desvinculación de la física con la formalización matemática.

En 5º año consideramos oportuno retomar y reforzar el concepto de campo, luego que se hayan impartido, de acuerdo a lo estipulado en el programa de la asignatura, los contenidos de campos eléctrico y magnético.

Otra intervención la realizaremos en 6º año en la asignatura Física, cuyo programa permite abordar temas de Física Contemporánea.

En este nivel se pretendió apoyarnos en los conocimientos y aptitudes adquiridos en las intervenciones de los años anteriores y tratar de presentar y discutir el Modelo Estándar, buscando indagar cuál es la mayor profundidad que los alumnos pueden interpretar racionalmente.

Resultados esperados:

- Se espera contribuir con información que posibilite al docente la selección e incorporación de temas de Física Contemporánea en el Plan de estudios del colegio.
- Reconocer los puntos estratégicos donde se puede intervenir en la estructura curricular.
- Lograr una selección adecuada de temas teniendo en cuenta intereses, posibilidades maduracionales y estructuras cognitivas previas.
- Elaborar una articulación con los temas existentes en el plan, de modo lógico y adecuado, de manera que los nuevos contenidos no queden aislados.
- Abordar tópicos de Física Contemporánea de forma atractiva para los alumnos.

Implementación de la propuesta

La primera etapa de esta propuesta que consistió en dos preguntas simples y se realizó al mismo tiempo en todos los niveles a intervenir con la intención de reformularla en años posteriores para evaluar y comparar las repuestas.

Las preguntas fueron:

¿Cuáles son las “partículas” o bloques fundamentales de que está hecho el universo?

¿Qué mantiene unidos a esos “bloques”?

En todos los niveles la respuesta mayoritaria a la primera pregunta fue: “átomos” y aunque explicaban y describían partículas subatómicas, insistían que los más pequeños son los átomos. Nos encontramos aquí con las “ideas previas” en las que pretendemos apoyarnos y con los conceptos que hay

ajustar, reforzar y modificar de manera que puedan ser transferidos a nuevas situaciones.

La segunda pregunta tuvo una mayoría de respuestas vagas; unos pocos respondieron fuerzas electromagnéticas. Consideramos que era necesario trabajar con la noción de interacciones.

A continuación se describirán los procedimientos realizados en cada nivel acompañando con las actividades indicadas a los alumnos y los resultados obtenidos en cada una.

Intervención en 2º año

Noción de Elementalidad – Interacciones - Mediadores

Elementalidad

Se eligió intervenir en este nivel teniendo en cuenta que el programa anual del mismo contiene entre sus contenidos: modelos atómicos, su evolución y principales experimentos que condujeron al modelo actual. En este nivel, la currícula contempla desarrollar hasta el modelo atómico de Bohr, intentando introducir la noción de estructura atómica.

Los alumnos debieron investigar y preparar trabajos indicados por el docente sobre la evolución de las ideas en estructura atómica desde las concepciones griegas (Demócrito) hasta el modelo atómico de Bohr.

Realizaron trabajos grupales con producción de carteles, láminas y gráficos en los que explicaban e interpretaban los diferentes y más relevantes experimentos, incluyendo una breve referencia de los científicos que los llevaron a cabo.

Este punto se consideró el más adecuado para introducir el tema “Partículas” o “Elementalidad”.

Para ello, se propuso el juego didáctico que se explica a continuación.

Se propuso jugar con la imaginación e ir situándose en diferentes épocas y, en particular, en el pensamiento y razonamiento respecto a la constitución de la materia que se poseía en cada momento histórico.

Se sugirió pensar tratando de ubicarse en la mente o pensamiento de los griegos antiguos en particular en Demócrito. Imaginar al “átomo” como lo pensó y denominó Demócrito, explicando sus fundamentos y características; realizar un esquema o diagrama que lo represente. Continuando con el uso de la imaginación pensarán que poseen una “lupa” muy potente que les permite “ver” a esos átomos como los postuló Thomson y así, sucesivamente, irán imaginando “lupas” más potentes que les permitirá ir “viendo” con más detalles hacia adentro de los átomos. En todos los casos deberán realizar esquemas y explicaciones concisas y mencionar el modelo del que se trata. La “lupa” se detendrá en el Modelo de Bohr, donde se pondrá énfasis en repasar y reafirmar el tamaño de protones y neutrones respecto de electrones, y allí, con una “lupa” muy poderosa se irán acercando al núcleo. En este punto se plantearon las preguntas:

¿Qué veremos?

¿Habrá algo más pequeño?

¿Qué será?

La “lupa” es imaginaria, pero, si en realidad quisiéramos averiguarlo, ¿cómo lo haríamos?

En este punto, nos encontramos que la respuesta mayoritaria de los alumnos fue “Internet”. Frente a ello, por un lado los invitamos a que lo averigüen en Internet y lo discutieran en clase y, por otro les preguntamos ¿Cómo habrá llegado la información a Internet? y ¿cómo se habrá averiguado o alcanzado estos conocimientos? Esta fue la oportunidad para desarrollar y hablar de la importancia de la experimentación y la investigación.

Con el material encontrado por los alumnos y las inquietudes sembradas tuvimos un campo propicio para desarrollar una clase interactiva en la que nuestro objetivo fue internalizar los conceptos de “partículas” elementales hasta ahora conocidas.

Los alumnos trajeron información mezclada, de fuentes de diferente tipo, datos incomprensibles por ellos o fuera de su alcance por lo que se procedió, a través

de una actividad grupal y luego general, con la guía del docente a ordenar y dar forma y comprensión al tema. A continuación, la profesora realizó una explicación usando recursos didácticos de proyecciones de videos temáticos como apoyo.

En la siguiente clase, se efectuó una evaluación en la que debían realizar un esquema, diagrama o cuadro con la información recibida y, finalmente responder una de las preguntas que originaron la actividad: “¿de qué estamos hechos?”

Los resultados fueron muy satisfactorios, ya que la mayoría respondió correctamente y algunos profundizaron un poco más. Cabe destacar que una pequeña minoría siguió opinando que lo más pequeño son los átomos.

Para nosotros fue un resultado esperado y cumplió con el objetivo de “sembrar” en niveles iniciales ideas o conceptos que servirán de anclaje para desarrollos más profundos del tema en años posteriores.

Interacciones - Mediadores

La otra intervención en 2º nivel se realizó a través de la asignatura Física y para ello, se esperó que el profesor del curso hubiera desarrollado el tema “Fuerzas”, según lo estipulado en el programa de la materia.

La intención fue sembrar la inquietud para encontrar la respuesta a la segunda pregunta: ¿Qué lo mantiene unida a la materia?

El desarrollo del tópico tiene como objetivo incorporar el concepto de fuerza, su representación vectorial, unidades y la clasificación de fuerzas que figura en casi todos los libros de texto de nivel medio (fuerzas por contacto y fuerzas a distancia).

Los alumnos identifican las diferentes fuerzas que advierten en su cotidianeidad y las clasifican de acuerdo con criterio antes citado.

La intervención se realizó luego de que el docente desarrolló y evaluó el tema. El propósito fue introducir el concepto de interacción basándonos en los tipos de fuerzas conocidas por los alumnos y apoyándonos en Ausubel (2000), que

sostiene que el factor más importante para que haya aprendizaje significativo es tener en cuenta lo que el alumno ya sabe. Asimismo, se pretendió llegar al concepto de campo, a la clasificación de las cuatro fuerzas fundamentales y al concepto de interacción a través del intercambio de partículas.

Se retomó la actividad repasando las respuestas encontradas en la actividad anterior, en la que respondieron una de las dos preguntas planteadas en la página 60 y se señaló que este era el momento para tratar de hallar la respuesta de la segunda.

Las fuerzas conocidas por los alumnos inicialmente fueron reducidas a dos: la gravitacional y la electromagnética. Posteriormente a través de argumentación y cuestionamientos, se introdujeron las interacciones nucleares.

Se realizó una actividad en la que se entregaron a los grupos figuras con distintas situaciones. Deben identificar las fuerzas que actúan, tratar de realizar alguna clasificación e indicar quién realiza la fuerza y sobre quién. Se eligieron situaciones cotidianas.

Llegaron a identificar la gravitatoria y la electromagnética. Asimismo, se elaboró el concepto de interacción.

Se distribuyeron figuras con otras situaciones, pero éstas de niveles atómicos que permitieron preguntar ¿Qué mantiene unido al núcleo?

En base a los razonamientos, argumentos y cuestionamientos, se logró elaborar entre todos, un cuadro con las cuatro fuerzas fundamentales.

Para introducir el concepto de fuerza como interacción a través del intercambio de partículas propuesto por Yukawa en 1935 se utilizó una situación teórica en la que, una vez más, debieron usar su imaginación. Para hacerlo se ilustró la idea usando una analogía propuesta por Krey y Moreira (Revista electrónica de las Ciencias Vol.8 n° (2009)).

Debían imaginar un partido de fútbol observado por extraterrestres:

“Imagina la siguiente situación: Una comitiva de extraterrestres vino a nuestro planeta para estudiar nuestras costumbres. Entre estas costumbres, estaba un partido de fútbol. Estos seres extraterrestres, debido a sus características, no podían ver objetos de color blanco y negro. Entonces, en el juego de fútbol, no lograban ver el balón. Durante el juego veían a los jugadores moviéndose y

haciendo gestos, dando a entender que entre ellos había un objeto. También pudieron observar que en determinados momentos, veían que la red del arco adquiriría una forma redondeada. Estos seres observaron varios juegos y hacían muchas anotaciones, con la intención de entenderlo. Al final de varias observaciones y análisis de sus anotaciones, percibieron que todo el movimiento de los jugadores adquiriría sentido si ellos estuviesen cambiando entre sí un objeto, y que ese objeto debía tener una forma esférica. Todas estas conclusiones fueron sacadas sin que los extraterrestres pudiesen ver efectivamente el balón". (sic).

En la siguiente actividad, el juego de imaginación cambiaba. Ahora los extraterrestres eran los alumnos, poseían el sentido de la vista muy desarrollado, tanto como para ver el interior de las partículas nucleares pero, al igual que los anteriores no podían ver el "balón".

En base a ello pensamos ¿Qué mantendrá unidas a las "partículas"?

Con estos interrogantes, inquietudes sembradas, argumentos y recurriendo a la proyección de un video apoyado por la explicación del docente, se introdujo el concepto de intermediarios que fue evaluado con actividades que se detallan más adelante con resultados muy satisfactorios.

Intervención en 3er año

Principio de exclusión. Principio de incerteza. Interpretación sencilla de la ecuación de Schroedinger. Fermiones y Bosones.

En este nivel, la intervención se apoyó en tópicos presentes en el programa de química y se esperó que fueran impartidos por el docente del curso.

Las actividades tuvieron como objetivo destacar algunos conceptos que más adelante serían de utilidad y punto de apoyo para desarrollar el tema que nos interesa.

Ellos son: conceptos de probabilidad, incerteza, espín, nociones del Modelo atómico actual y una simple interpretación.

Los alumnos habían visto con el docente del curso: Noción del modelo atómico actual, números cuánticos, Principio de Exclusión de Pauli. En el momento de la intervención eran capaces de escribir la configuración electrónica de los elementos respetando el Principio de Exclusión, y también, de interpretarla con el fin de establecer las posibles uniones químicas. Asimismo, definían orbital en términos de probabilidad. En ese concepto nos apoyamos para que interpretaran el principio de incerteza y consideramos propicia la ocasión para definir bosones y fermiones.

La actividad consistió en responder preguntas cuyo objetivo fue que pensaran y relacionaran contenidos que ya habían estudiado. Retomando el concepto de espín, se les explicó la clasificación de las “partículas” en fermiones y bosones con apoyo de imágenes y gráficos.

En base a ello realizaron un juego didáctico que consistió en buscar en la tabla periódica núcleos atómicos que sean bosones y núcleos atómicos que sean fermiones, justificando la afirmación. La intención fue que, a través de la actividad lúdica, incorporaran nuevos conceptos e interpretaciones y efectuaran cálculos matemáticos sencillos.

Intervención en 5º año

Noción de “Campos”

En este nivel de enseñanza, los educandos tienen una edad maduracional adecuada para adquirir el concepto abstracto de “Campo”. Asimismo, cuentan con conocimientos obtenidos en niveles anteriores (“puntos de anclaje”) que favorecen la posibilidad de interpretar el concepto.

En esta fase, la propuesta fue retomar conceptos anteriores con la intención de clarificarlos o de modificar posibles ideas previas erróneas.

El propósito fue que los estudiantes logaran distinguir entre campo y fuerza y que pensaran en el campo como una realidad física dotada de energía.

Para llevar a cabo la propuesta se diseñó un programa de dos etapas. La primera se llamó: “Interacción Gravitatoria” y la segunda: “Interacción Electromagnética”. Asimismo, con el fin de evaluar el rendimiento de las actividades, se realizó un cuestionario previo que luego se repitió una vez finalizadas las dos etapas.

1ª Etapa: “Interacción Gravitatoria”

El propósito fue introducir a los alumnos en el tópico “campos” a través de la interacción gravitatoria debido que es sobre la que tienen más experiencia. Se pretende que se internalice el concepto de “Campo” de forma cualitativa, partiendo de la base que la interacción se realiza entre el campo y la “partícula” que penetra en él.

La actividad consiste en realizar un breve recorrido usando una proyección de power point desde las primeras ideas de Universo hasta imágenes actuales como motivador para presentarles las siguientes preguntas:

- ¿Cómo se pueden explicar las interacciones a distancia?
- ¿Cómo afecta la materia a otra materia sin contacto alguno?

Los alumnos organizaron en grupos para debatir y luego se realizó una puesta en común.

La actividad permitió repasar conceptos previos, arribando a una nueva definición de “campo” como agente de interacción.

2da etapa: “Interacción Electromagnética”

El objetivo de esta etapa fue mostrar, a partir del concepto de campo, fenómenos como las ondas electromagnéticas.

La actividad fue grupal; los alumnos debieron debatir y aplicar el concepto de campo a campos eléctrico y magnético. A través de la elaboración de una lámina, dar ejemplos. Se les planteó que pensarán en el campo producido por una carga eléctrica en reposo y por una carga en movimiento. En función de

ello elaboraron la lámina y aplicaron la definición de campo como agente de interacción. Se les permitió consultar Internet.

En un encuentro posterior, se realizó una evaluación para verificar que los alumnos hubieran alcanzado una comprensión más correcta. Se les pidió que respondieran el cuestionario que se les dio inicialmente.

Comparando las respuestas, se concluyó que el porcentaje de respuestas correctas mejoró significativamente y, también, la interpretación.

Intervención en 6to año

Se pretendió, en este nivel, explicar e interpretar el Modelo Estándar teniendo en cuenta que, en niveles anteriores se ha ido sembrando puntos de apoyo para los nuevos conceptos. La intervención consistió en una actividad previa de treinta minutos, con objetivos motivadores, dos encuentros posteriores en los que se desarrolló el tema y una evaluación. Se llevó a cabo en dos grupos de veinte alumnos del 6º año.

La actividad previa se denominó: “¿Para qué sirve?” haciendo alusión a una pregunta frecuente de los alumnos. El propósito fue despertar el interés y la curiosidad, motivándolos para el desarrollo del tópico que nos interesa (Modelo Estándar).

Pre-actividad.

En la pre-actividad se realizó una lectura en silencio del texto “Final sin punto final” extraído del libro “Que es el bosón de Higgs” de María Teresa Dova. (págs. 167/168).

En el texto la autora menciona los “bienes derivados” de la investigación con aceleradores y detectores de partículas (tomógrafos, radioterapia, web, terapia hadrónica). Los alumnos debieron señalar esos beneficios e investigar acerca de ellos. La consigna fue buscar sobre su historia, conocimientos o experimentos físicos que condujeron a su elaboración y los usos más importantes

ACTIVIDAD 1 – INTRODUCCION AL MODELO ESTANDAR

El propósito de este encuentro fue realizar una introducción a la interpretación del Modelo Estándar.

Se efectivizó haciendo uso de TICS, en la sala de computación del colegio.

Antes de comenzar la actividad se hizo una breve exposición por parte de los alumnos de los resultados de la búsqueda indicada en la actividad previa.

Luego (en la sala de computación del colegio), se les distribuyeron una serie de preguntas y se les indicó buscar las respuestas en la página web: <http://www.particleadventure.org/spanish>. Además, debieron anotar sus dudas, preguntas y temas que les interese profundizar. La página tiene un recorrido y links que ayudan a profundizar algunos temas.

ACTIVIDAD 2 – INTERPRETACION DEL MODELO ESTANDAR

La intención de la clase fue que los alumnos logran una interpretación del Modelo Estándar y lo explicaran de manera clara y sencilla.

Trabajaron en grupo con una guía con tablas y consignas entregadas por el docente que debieron completar. Para esta actividad cuentan con cuarenta minutos.

Seguidamente un alumno por grupo explica el trabajo de su equipo y entre todos con el apoyo del docente elaboran una interpretación del Modelo, explicando sus ideas principales.

La evaluación se efectúa una semana después. Se les pidió que, en grupos de dos alumnos, realicen una descripción del Modelo Estándar, pensando que debían explicarlo a alumnos de niveles inferiores.

Finalmente se les re-preguntaron, las dos cuestiones iniciales del presente trabajo:

¿Cuáles son los bloques fundamentales que constituyen el Universo?

¿Qué los mantiene unidos?

RESULTADOS

Los relatos fueron calificados teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Claridad en la explicación
- Presencia de conceptos principales
- Relaciones claras entre conceptos

Un 22% de los alumnos reunió todos los criterios satisfactoriamente, mientras que el 51% manifestó un rendimiento intermedio (ausencia de algunos conceptos, relaciones erróneas). El 26% restante realizó un trabajo pobre; sin embargo, se notó una mejora respecto a las ideas que manifestaban al comienzo.

Finalmente, en las respuestas a las preguntas iniciales, se registró un 82% de respuestas correctas, un 15% de respuestas incompletas y un 3% erróneas.

CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta el objetivo del presente trabajo y los resultados obtenidos en las evaluaciones y encuestas realizadas, consideramos que los alumnos realizaron un aprendizaje significativo.

En este trabajo, el objetivo fue estudiar y evaluar puntos del plan de estudios en los que sea posible incorporar gradualmente, de manera de “sembrar” “puntos de anclaje o apoyo”, contenidos de Física Contemporánea, respetando la edad maduracional de los educandos y la currícula del colegio.

Los alumnos de sexto contaron con “puntos de anclaje”, sembrados desde 2º. La investigación permitió conocer las ideas previas de los alumnos, de manera que sirvieron de apoyo para la introducción de nuevos saberes o reformularlos en los casos necesarios.

Los nuevos conceptos se incorporaron progresivamente y los alumnos fueron capaces de establecer relaciones entre ellos para posteriormente organizar esas relaciones en un cuerpo coherente de conocimientos.

En la confección del texto evaluativo que se les solicitó en 6º año; “Descripción del Modelo Estándar para alumnos de niveles inferiores”, se advirtió que los alumnos lograron expresarse a través del lenguaje formal.

Consideramos que la incorporación progresiva de conceptos a través de argumentaciones, ejemplos de situaciones, analogías, cuestionamientos generaron “necesidad cognitiva” en los alumnos y favorecieron la trasposición didáctica logrando un aprendizaje significativo.

La metodología resultó superadora a la simple incorporación de temas o unidades en el programa y a la repetición mecánica de conceptos sin interpretación clara.

A través de los resultados obtenidos concluimos que es posible y necesario incorporar la enseñanza de Física Contemporánea al nivel medio y que el aprendizaje significativo y crítico es fundamental para que ocurra la transferencia.

En ese sentido opinamos que el conocimiento científico es fundamental en la formación ciudadana. Divulgadores y docentes establecen un nexo entre la comunidad científica y la sociedad. Por ello es de vital importancia la fluida comunicación entre científicos, docentes y divulgadores y entre lo últimos y la sociedad. También es relevante la actualización continua de los comunicadores y políticas que favorezcan este intercambio.

El trabajo se realizó con el tópico “Física de partículas fundamentales”, como prueba para la incorporación de la enseñanza de Física Contemporánea en el nivel medio. Sin duda es extensible a otros temas y factible de mejorarse, modificarse o ampliarse con otras estrategias y recursos.

DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES CON LOS ALUMNOS

2º NIVEL

1) ELEMENTALIDAD – JUEGO DIDACTICO. (2 clases)

Clase 1 (3 etapas)

Vamos a realizar un juego usando la imaginación y también conocimientos adquiridos en este año. Puedes consultar tus notas y carpeta si necesitas recordar alguno.

Primera etapa

Viajaremos con la mente a diferentes épocas y trataremos de ubicarnos en el pensamiento de ese momento y de los pensadores que les indicaremos. En cada una de esas estaciones trataremos de responder dos preguntas:

- ¿Cuáles son las “partículas” fundamentales que forman el Universo?
- ¿Qué mantiene unidas a las “partículas”?

En la primera estación nos encontraremos en la Antigua Grecia y nos ubicaremos en el pensamiento de Demócrito (400 a.C.). Basándote en su pensamiento, responde las preguntas. Realiza una explicación y elabora un esquema o dibujo que lo represente.

Ahora continuaremos el viaje en el tiempo y nos imaginaremos que adquirimos una lupa cuyo aumento nos permite mirar lo átomos que describió Demócrito y también “adentro” de ellos.

Situándonos en el año 1803 en el Reino Unido y en el pensamiento de Dalton; ¿Qué verían con la “lupa”? Vuelve a responder las preguntas iniciales y realiza otro dibujo.

Vamos a seguir viajando en el tiempo y recorreremos las estaciones que se indican a continuación. En cada una de ellas imaginarás que la lupa te permite ver cada vez más hacia el interior de la materia y con mayor detalle. Responderás las preguntas iniciales y realizarás el dibujo.

Siguientes estaciones:

- **Año 1904. Lugar:** Reino Unido. **Pensamiento:** Thomson
- **Año 1911. Lugar:** Reino Unido. **Pensamiento:** Rutherford
- **Año 1913. Lugar:** Dinamarca. **Pensamiento:** Bohr

Segunda etapa

Se reunirán en grupos de 4 o 5 alumnos y confeccionarán una lámina o cartel que reúna los dibujos realizados en cada una de las estaciones de la primera parte, con las aclaraciones que consideren de importancia.

Tercera etapa

Retomando la imaginación y la “lupa superpoderosa”, ahora imaginarán que la acercan al átomo descrito por Bohr. ¿Que verán?

Si se acercan al núcleo ¿pueden describir que esperan encontrar?

¿Y si observamos las partículas presentes en el núcleo? ¿Habrá otras más pequeñas?

¿Cómo podrían averiguarlo?

Clase 2 (Continuación elementalidad)

Intercambio y organización de información

En la clase anterior nos comprometimos en investigar si las partículas subatómicas que se conocen están formadas por otras más pequeñas.

En grupos de 4 o 5 personas realicen un cuadro explicativo con la información encontrada. Consulten al docente.

Luego de mirar la proyección del power point y escuchar la explicación de la profesora, completen, corrijan o reordenen el cuadro.

Escriban al pie del mismo tres preguntas que se hacen respecto al tema.

Responde: la “lupa” superpoderosa ¿Qué representa?

2) INTERACCIONES (2 clases)

Clase 1 Interacciones fundamentales

Trataremos de encontrar respuesta a la segunda pregunta inicial que habíamos planteado en las actividades anteriores: *¿Qué mantiene unidas a las partículas?*

Se organizarán en grupos e identificarán las fuerzas que advierten en las situaciones de las figuras que les entregamos. Realicen una clasificación de ellas e indiquen quién o qué realiza la fuerza y sobre quién o qué se ejerce. Luego debatiremos entre todos escuchando al resto de los grupos. (Identificaron la gravitatoria y la electromagnética. Asimismo, elaboraron el concepto de interacción).

Repitan la actividad anterior pero con las nuevas figuras. Ahora respondan: *¿Qué mantiene unido al núcleo?*

Entre todos elaboren un cuadro que sintetice lo discutido.

Clase 2 Mediadores de interacciones

Volveremos a jugar con la imaginación y lo haremos con dos situaciones. En la primera pensarán (se narra analogía descrita anteriormente en página 64) y con sus compañeros de grupo traten de arribar a alguna conclusión. La escribirán para luego debatirla entre todos.

Luego escucharán e imaginarán la analogía siguiente e intentarán escribir una explicación.(página 65)

A continuación verán la proyección de un video. Anoten los interrogantes que surjan, escuchen las explicaciones del docente y elaboren una síntesis de todo lo desarrollado en esta clase.

3) EVALUACION (de la intervención en el 2º nivel)

Se efectuó la siguiente evaluación escrita:

- Completa con las palabras adecuadas las siguientes frases:

Las “partículas” fundamentales que forman el Universo son: y

.....

Permanecen unidas a través de cuatro.....

que se establecen debido a la acción de.....

- Completa los siguientes cuadros:

LEPTONES

QUARKS

Nombre	símbolo	Carga eléctrica	Tipo(quark/leptón)
up			
	μ		
tau			
	d		
	e^-		

INTERACCION	PORTADOR
Gravitatoria	
	fotón
Débil	
	gluón

3er NIVEL

PRINCIPIOS DE EXCLUSION Y DE INCERTEZA.

ECUACION DE SCHROEDINGER: INTERPRETACION SENCILLA

FERMIONES Y BOSONES

ACTIVIDAD

Reúnete en grupo con tus compañeros y realiza la actividad.

* Explica en qué consiste y qué expresa la ecuación de Schroedinger.

- Define orbital atómico
- ¿Por qué hablas de probabilidad?
- Investiga realizando una búsqueda bibliográfica o en Internet sobre el Principio de Incerteza de Heisenberg. Trata de explicarlo. Consulta al docente
- ¿Qué es espín?
- Completa: “El Principio de Exclusión de Pauli dice:

.....

En base al espín, las partículas se clasifican en Fermiones y Bosones.

Investiga:

- Cuál es la diferencia entre ellos y exprésalo en un cuadro.
- Averigua por qué se llaman de ese modo.

JUEGO

- Teniendo en cuenta la clasificación anterior busquen en la tabla periódica núcleos atómicos bosones y núcleos atómicos fermiones. Confeccionen un cuadro (en una lámina) que incluya la justificación de tu clasificación. (disponen de 15 minutos)
- Exhibe la lámina en la puesta en común. Ganará el grupo que haya encontrado más “partículas” cuya justificación sea correcta.

EVALUACION

La evaluación de esta actividad se efectuó en base a los trabajos presentados por los alumnos. Se advirtió que interpretaban los conceptos y respondían satisfactoriamente a las consignas.

5^{to} NIVEL

CAMPOS E INTERACCIONES

ACTIVIDADES

Cuestionario previo

- ¿Cómo explicas que se realizan las interacciones entre partículas?
- ¿A que se llama “Campo” en Física?
- ¿Qué campos conoces?
- ¿Cuál es la diferencia entre Campo y Fuerza?

ETAPA 1 – “INTERACCION GRAVITATORIA”

Observa atentamente la proyección para, luego, reunirte en grupo con tus compañeros y responder, previo debate las siguientes cuestiones:

- * ¿Cómo se puede explicar interacciones a distancia?
- * ¿Cómo afecta la materia a otra materia sin contacto alguno?

Comunica las conclusiones en la puesta en común y entre todos, con ayuda del docente elaboren una nueva definición de “Campo gravitatorio”

ETAPA 2 – “INTERACCIONES ELECTROMAGNETICAS”

Reúnete en grupo con tus compañeros, con los elementos necesarios para elaborar una lámina.

Recuerden los conceptos de campo eléctrico y magnético.

Extiendan la definición de campo gravitatorio del encuentro anterior a interacciones electromagnéticas.

Plantea el campo para una carga eléctrica en reposo y para una carga en movimiento. ¿Puedes unificar?

Realiza un grafico explicativo en la lámina. Puedes consultar la web.

Expone la lámina y las conclusiones del grupo en la puesta en común. Entre todos definan “Campo”.

Para interpretar el mundo subatómico fue necesario aplicar el concepto de “Campo” a las partículas cuánticas. Nació de esta manera la “Teoría Cuántica de Campos”

Realiza una lectura en silencio del siguiente texto y, en base a ello completa el cuadro con tus compañeros. Consulta si necesitas alguna información.

“Teoría Cuántica de Campos

Esta teoría dice que existe un campo para cada partícula y un único tipo de partícula para cada campo.

Las “partículas” son perturbaciones localizadas de estos campos, es decir el concepto de partícula queda subordinado al de campo.

Recordando las partículas e interacciones explicadas anteriormente, ahora podemos interpretar por ejemplo, que la excitación localizada de un campo electromagnético es el fotón. El mismo razonamiento se puede aplicar a las demás partículas.”

CAMPO	“PARTICULA”
Electromagnético	
	Electrón
Campo de Higgs	

Responde nuevamente las preguntas iniciales que respondiste antes de la actividad 1.

- Explica que dice la Teoría Cuántica de Campos. En base a ello, redefine “partícula”
- Define “Campo” con criterio físico
- Elabora un mapa conceptual que incluya diferentes Campos con la “partícula” correspondiente.

EVALUACION

Se realizó una semana después de las actividades.

Completa la siguiente frase:

La Teoría Cuántica de Campos dice:.....por lo tanto, las “partículas” son:

La excitación de un Campo electromagnético es.....

El electrón es el resultado de la excitación de un Campo.....

¿Qué es el campo de Higgs?

6^{to} NIVEL

MODELO ESTÁNDAR DE LAS INTERACCIONES FUNDAMENTALES

ACTIVIDADES

PRE-ACTIVIDAD: “¿Para qué sirve?”

- Realiza una lectura en silencio del siguiente texto “Final sin punto final” extraído del libro “Qué es el bosón de Higgs” de María Teresa Dova, (págs. 167/168)
- Con 4-5 compañeros, elaboren una síntesis del texto.
- Realicen una lista de los “bienes derivados” de la investigación mencionados por la autora.
- Seleccionen uno de los “bienes” y realicen una investigación sobre el mismo para la clase siguiente. Enfoquen la búsqueda en su historia, experimentos o conocimientos científicos que condujeron a su fabricación, usos o beneficios más destacados.
- Elaboren una presentación para exponerlo y contarlo en clase.

ACTIVIDAD 1 – INTRODUCCION AL MODELO ESTÁNDAR

- Antes de comenzar la actividad expondrán y escucharán a sus compañeros sobre los resultados de la búsqueda indicada en el encuentro anterior.
- Ubicándose dos personas por computadora, entren a la página web: <http://www.particleadventure.org/spanish>.
- Respondan al cuestionario entregado por el docente.
- Hagan una lista de dudas, inquietudes y temas que les despiertan curiosidad.

Cuestionario:

- ¿Qué es el Modelo Estándar de las interacciones fundamentales?
- ¿Cuáles son sus premisas básicas?
- Enumera, clasifica y describe las “partículas” que incluye el modelo.
- Explica que son y cuales las interacciones fundamentales.
- ¿Qué son los mediadores? Cita algunos ejemplos
- Explica brevemente que son las “generaciones” del modelo

ACTIVIDAD 2 – INTERPRETACION DEL MODELO ESTÁNDAR

- Reúnete con tu grupo de trabajo, vuelvan a analizar las respuestas al cuestionario de la clase anterior, la información que recogieron de la web y traten de completar los cuadros o gráficos que les entrega el profesor. Para esta actividad cuentan con cuarenta minutos.
- Elijan a un compañero del grupo para explicar el trabajo del equipo a todos.

EVALUACION

- En grupos de dos alumnos realicen una descripción del Modelo Estándar, pensando que deben explicarlo a alumnos de niveles iniciales.

Respondan:

¿Cuáles son los bloques fundamentales que constituyen el Universo?

¿Qué los mantiene unidos a esos bloques?

Apéndice 1

Encuestas. Tablas y gráficos

Encuestas

- ***¿Cuáles son los bloques fundamentales constituyentes del Universo?***

Respuestas/ Nivel	2°	3°	4°	5°	6°
átomos	10	26	49	20	16
Otras	14	4	11	1	5
quarks		1	1		8
No sabe/No contesta			11	3	2
Totales	24	31	72	24	31

- ***¿Qué los mantiene unidos?***

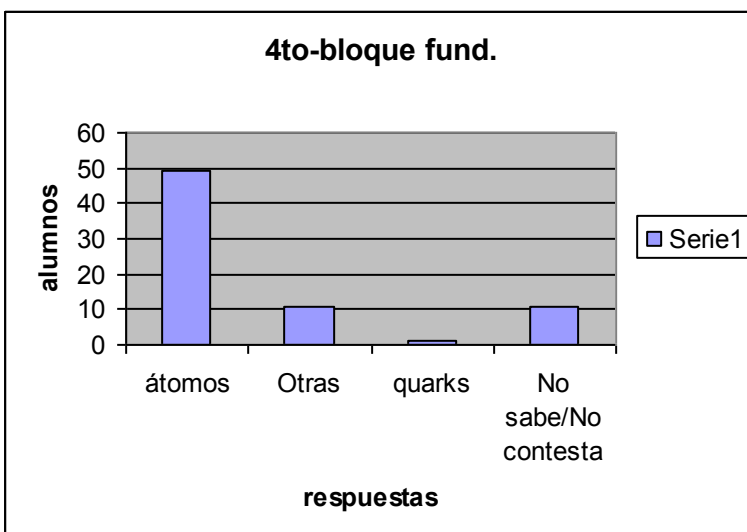
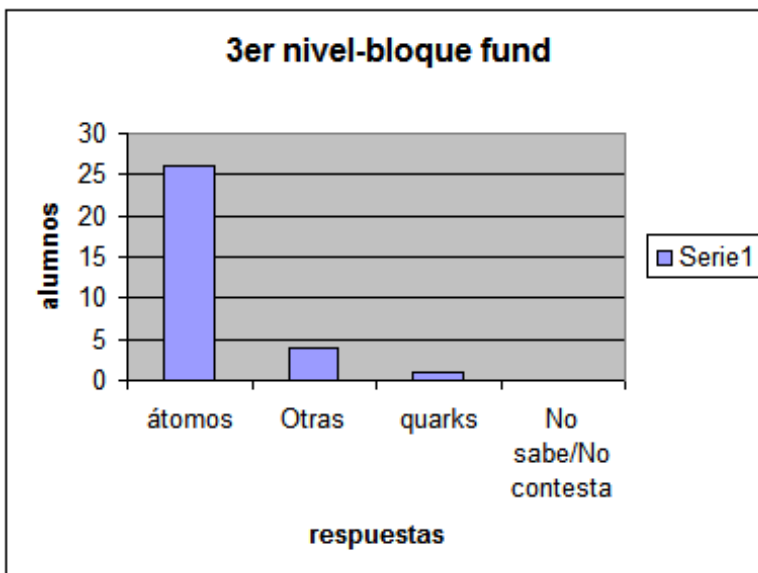
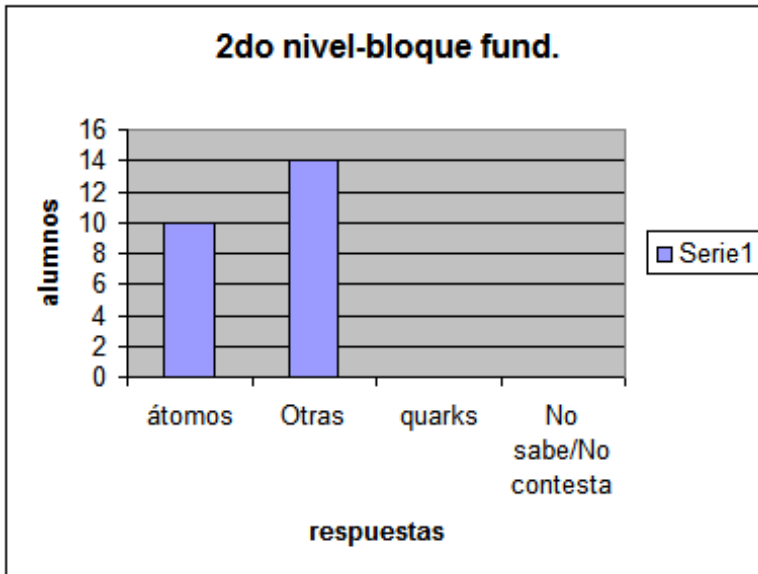
Rtas/ Nivel	2°	3°	4°	5°	6°
Atracciones electromagnéticas	3	12	12	6	3
Fuerzas que ejercen entre ellas	11			11	3
otras	10	11	16	1	1
No sabe/No contesta		7	42	6	1
Totales					

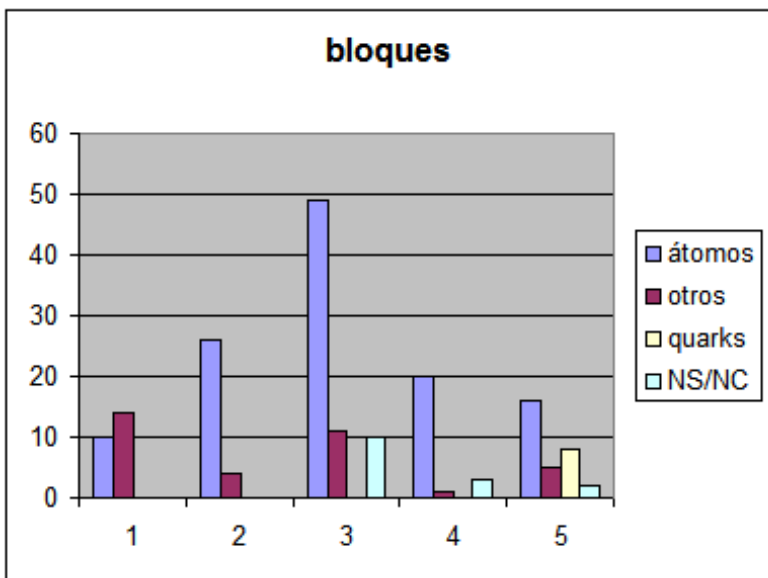
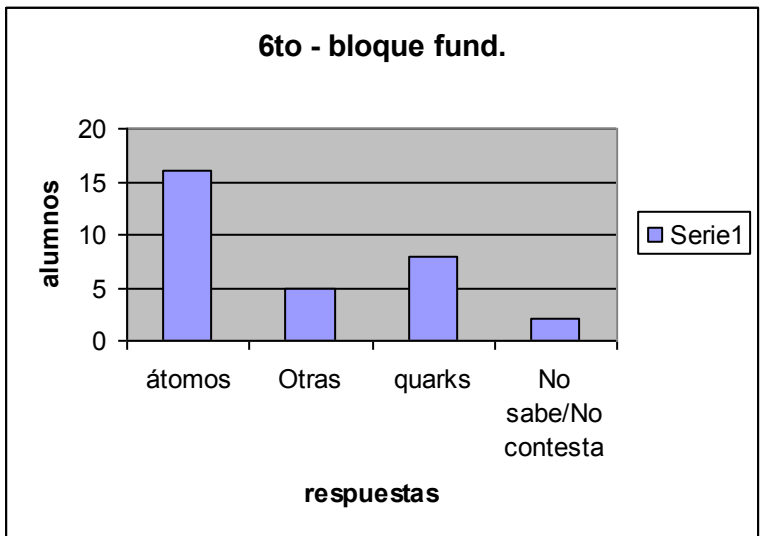
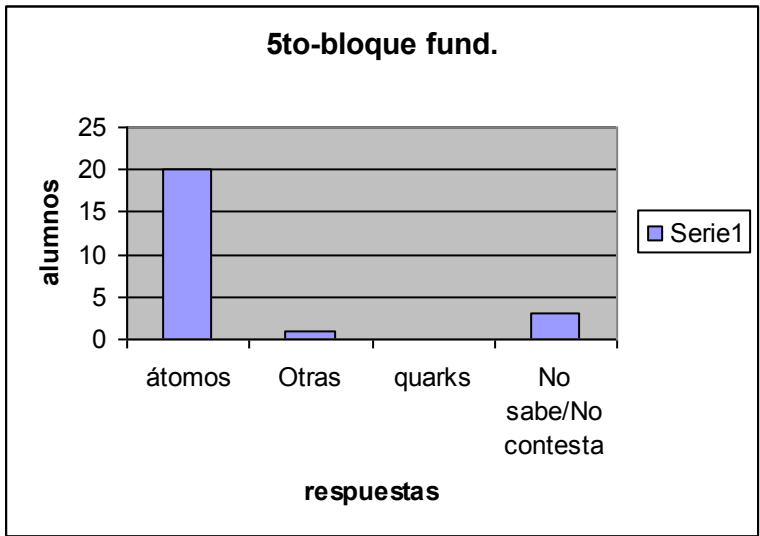
En las tablas se observa que la mayoría (en todos los niveles) responde que “el bloque fundamental” es el átomo, aunque lo describen formado por partículas subatómicas. Algunos mencionan quarks y gluones pero sin relacionarlos y vacío de concepto.

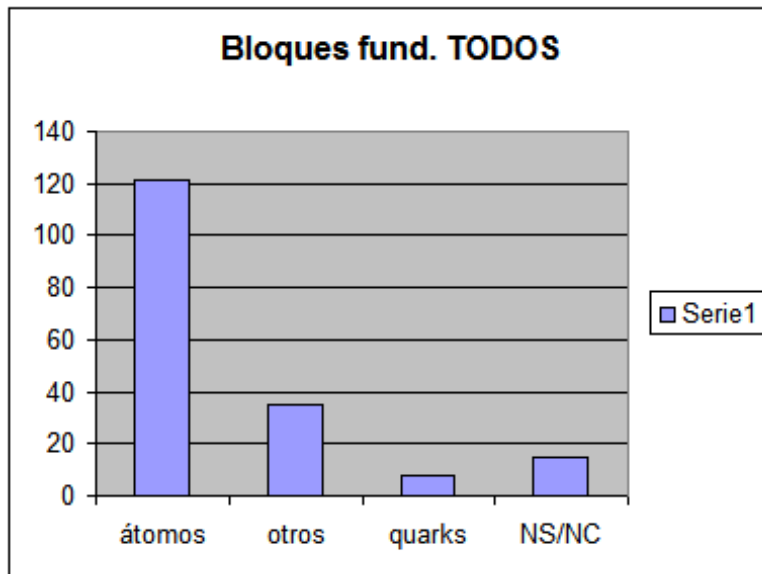
También mencionaron experimentos de colisiones de partículas pero vacíos de contenidos.

Gráficos

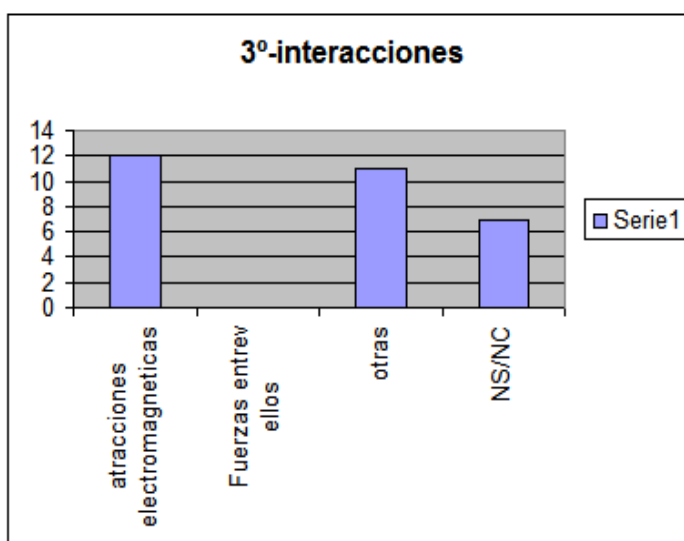
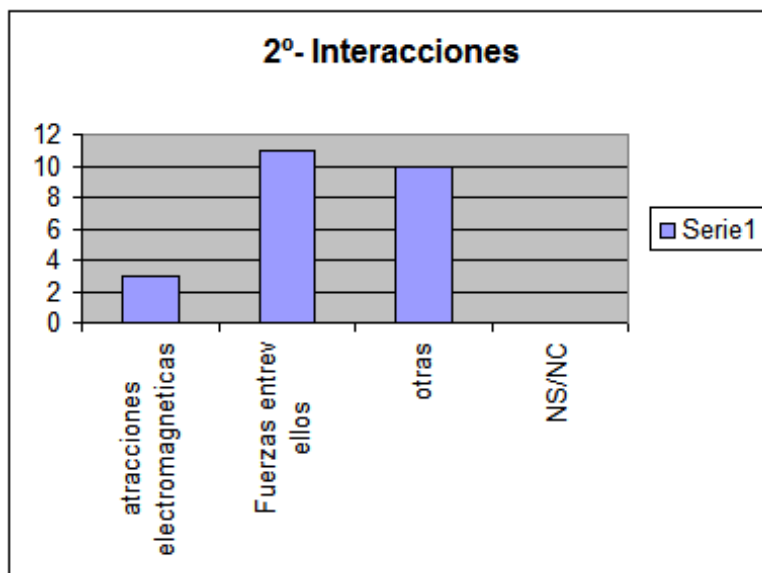
¿Cuáles son los bloques fundamentales constituyentes del Universo?

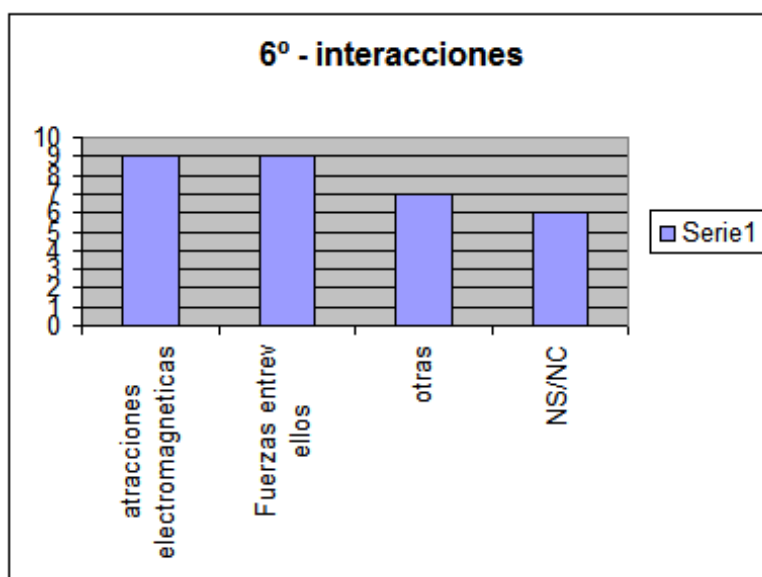
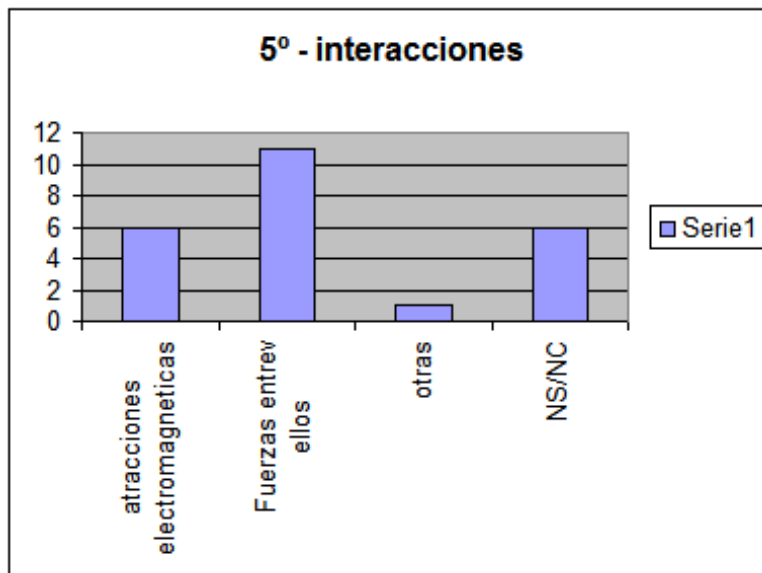
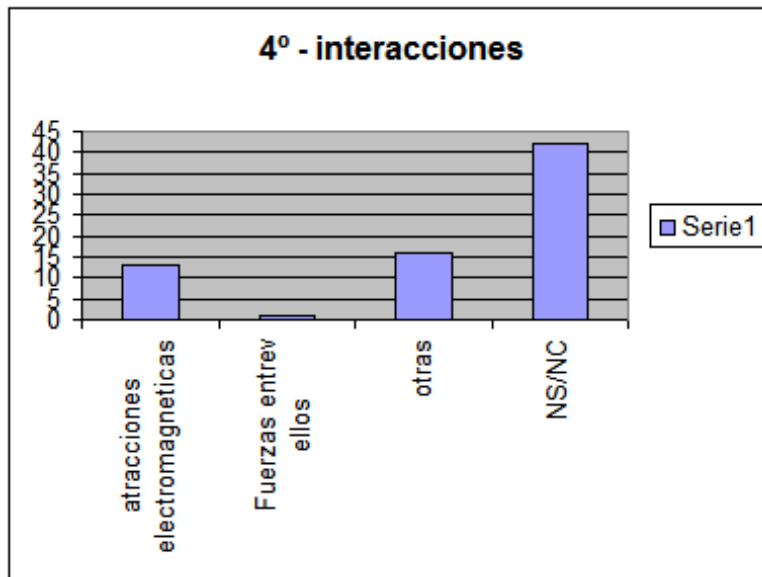


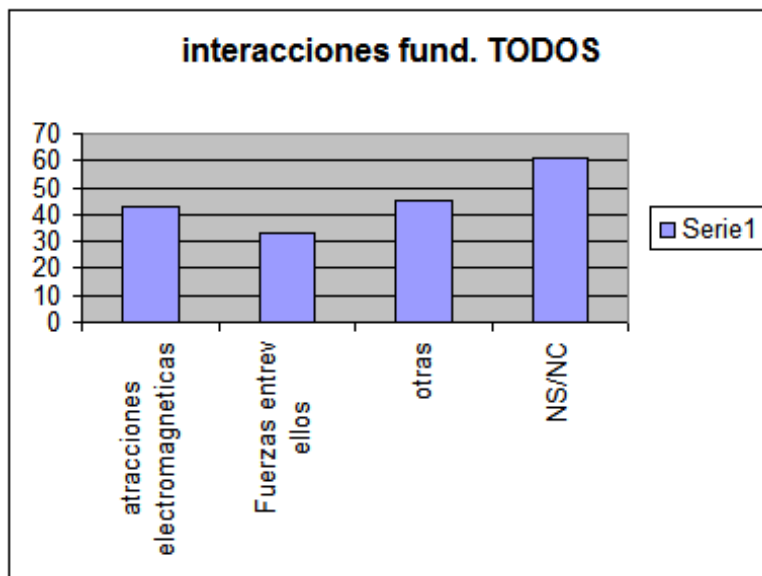
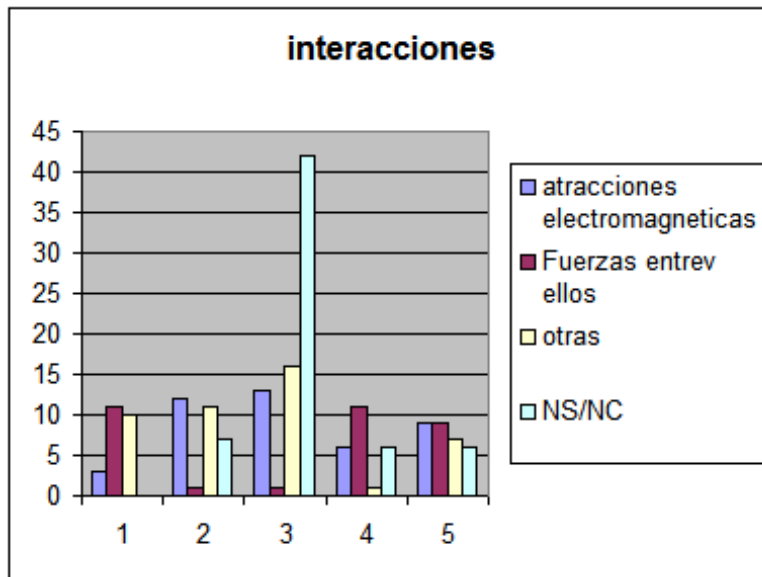




¿Qué los mantiene unidos?







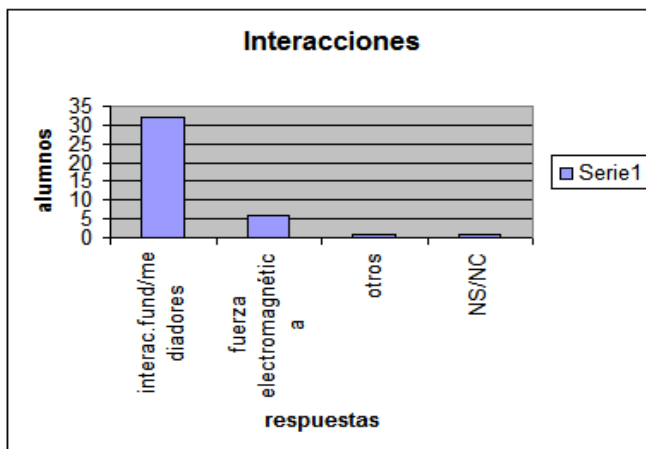
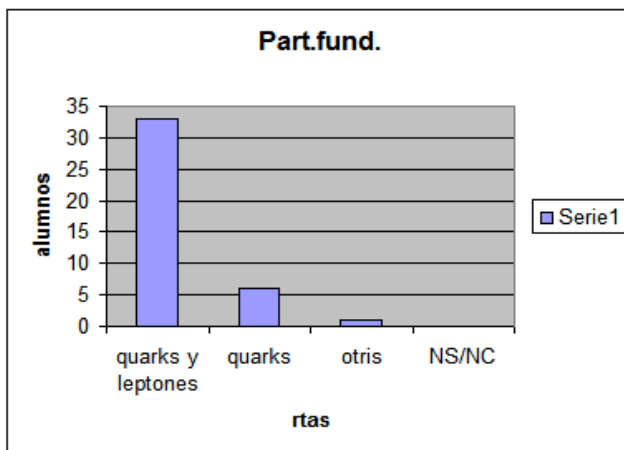
Resultados de re-preguntar las cuestiones iniciales luego del desarrollo del trabajo.

¿Cuáles son los bloques fundamentales constituyentes del Universo?

Respuestas	Cantidad de alumnos
Quarks y leptones	33
Quarks	6
Otros	1
NS/NC	0

¿Qué los mantiene unidos?

Respuestas	Cantidad de alumnos
Interacciones fundamentales/mediadores	32
Fuerzas electromagnéticas	6
Otros	1
NS/NC	1



Apéndice 2

Programas de contenidos de la currícula del Liceo Víctor Mercante. UNLP

Primer Nivel



Departamento: Ciencias Exactas y Naturales

Asignatura: Ciencias Naturales

Nivel: 1º año

CONTENIDOS

Unidad 1

El Universo. Teorías del origen del Universo. Galaxias. Sistema Solar. Características diferenciales del origen y constitución de los distintos cuerpos celestes. Observaciones, modelos y teorías acerca del movimiento de los cuerpos celestes. Validez de los modelos y las teorías. Introducción al concepto de fuerza gravitatoria. Peso. Energía lumínica. El hombre en el espacio y la nueva carrera espacial. Telescopios.

Unidad 2

Sistema Tierra. Subsistemas de la Tierra: S.S. Atmósfera. S.S. Hidrósfera. S.S. Geósfera. S.S. Biosfera. Noción de contaminación de los subsistemas de la Tierra (lluvia ácida, agujero de ozono, efecto invernadero, etc.) Incidencia sobre los seres vivos.

Unidad 3

Métodos de estudio de la materia. Microscopía. Materiales de laboratorio. Mediciones. Unidades de medida.

Unidad 4

Materia. Propiedades fundamentales de la materia. Concepto de masa. Peso. Mediciones. Unidades de peso y masa. Propiedades intensivas y extensivas. Concepto de densidad. Estados de agregación de la materia. Cambios de estado. Procesos químicos. Procesos físicos.

Unidad 5

Energía. Formas de energía. Transformaciones y conservación de la energía. Transformaciones de la materia y la energía. El Sol como fuente de energía. Calor y temperatura. Mediciones. Escalas.

Unidad 6

Sistemas materiales. Clasificación de sistemas materiales. Soluciones. Sustancias puras. Elementos químicos. Moléculas. Átomos. Métodos separativos (tamización; decantación; filtración; etc.) y métodos de fraccionamiento (destilación y cromatografía).

Unidad 7

Ecosistema. Biodiversidad. Reinos. Clasificación actual de los seres vivos. División Procariota y Eucariota. Cadenas alimentarias: productores, consumidores, descomponedores. Ruta de la energía en los ecosistemas. Concepto ciclo de la materia. Célula procariota y eucariota. Célula vegetal y animal.

Segundo Nivel



Departamento : Ciencias Exactas y Naturales

Sección: Física

Asignatura: Física

Nivel: 2º año

CONTENIDOS

Unidad 1

La medida. Magnitudes: identificación y clasificación en escalares y vectoriales.

Unidad 2

Una aproximación a la definición de fuerza. Fuerzas por contacto y a distancia. Concepto de campo gravitatorio terrestre. Diferencia entre peso y masa. Concepto de Resultante de fuerzas en sistemas colineales. Uso de escalas.

Unidad 3

Peso específico y densidad. Presión en sólidos y fluidos. Reconocimiento de las magnitudes que intervienen para su determinación. Unidades de medida. Teorema fundamental de la Hidrostática. Principio de Pascal: análisis y aplicaciones del mismo a dispositivos cuyo principio de funcionamiento se basan en él.

Unidad 4

Flotación: reconocimiento de las distintas magnitudes que determinan la flotación de un cuerpo. Principio de Arquímedes: deducción de las variables que intervienen en la determinación del empuje.



Departamento: Ciencias Exactas y Naturales

Sección: Química

Asignatura: Química

Nivel: 2º año

CONTENIDOS

Unidad 1

Estructura de los materiales. Soluciones y sustancias. Sustancias simples y sustancias compuestas. Elementos. Moléculas. Átomos. Tabla periódica. Número atómico. Número másico. Grupo. Período. Metales. No metales. Gases inertes. Propiedades periódicas físicas y químicas de los elementos Radio atómico. Afinidad electrónica y electronegatividad. Carácter metálico. Predicciones sobre el tipo de uniones químicas. Trabajos prácticos de aplicación.

Unidad 2

Uniones químicas. Concepto de unión química. Enlaces químicos. Enlace iónico y covalente. Unión covalente coordinada. Unión metálica. Representación de Lewis. Propiedades de los compuestos iónicos y covalentes. Trabajos prácticos de aplicación.

Unidad 3

Uniones intermoleculares. Características de las moléculas que hacen posible las diferentes atracciones intermoleculares. Moléculas polares y no polares. Unión puente de hidrógeno.

Tercer Nivel



Departamento: Ciencias Exactas y Naturales

Sección: Química

Asignatura: Química

Nivel: 3° año

Unidad I

Ecuaciones Químicas .Ley de conservación de la masa .Número de oxidación.
Ecuaciones de formación de compuestos binarios: óxidos, hidruros, hidrácidos.
Nomenclatura. Propiedades químicas. Características. Usos.

Unidad II

Compuestos ternarios: ácidos e hidróxidos. Fórmulas y nomenclatura. Ecuaciones químicas. Propiedades químicas. Características. Usos.

Unidad III

Concepto de neutralización. Sales. Ecuaciones de formación. Nomenclatura. Usos y aplicaciones.

Unidad IV

Configuración electrónica. Concepto de orbital. Orbitales atómicos. Tipos de orbitales.
Relación entre configuración electrónica y propiedades periódicas. Noción de números cuánticos.

Cuarto nivel



Coordinación de las Orientaciones

Materia: Introducción a la Problemática de las Ciencias

Nivel: 4° año

CONTENIDOS

1. La ciencia y la investigación científica Ciencia y conocimiento. Ciencia y ética. Impacto de la ciencia y la tecnología en la sociedad. Aproximación a la metodología de la investigación.
2. Los organismos como sistemas Modificaciones físicas y químicas producidas por la actividad respiratoria. Influencia de factores endógenos y ambientales en la capacidad pulmonar y la concentración y transporte de gases.
3. Sistemas ecológicos El suelo: fertilidad, erosión y contaminación Problemáticas nuevas y emergentes relacionadas con la salud.

Quinto Nivel



Departamento: Ciencias Exactas y Naturales

Sección: Física

Asignatura: Física

Nivel: 5° año

CONTENIDOS

Módulo 1

Electricidad. Carga eléctrica. Interacciones electrostáticas. Ley de Coulomb. Campo eléctrico. Corriente eléctrica. Circuitos eléctricos. Ley de Ohm. Potencia eléctrica.

Módulo 2

Fenómenos ondulatorios. Ondas mecánicas. Sonido. Electromagnetismo. Ondas electromagnéticas. Luz. Óptica geométrica.

Sexto Nivel



Orientación: Ciencias Naturales

Materia: Astronomía

CONTENIDOS

Unidad 1

Introducción; ramas de la astronomía. Astronomía en la Argentina. Cuerpos celestes. Constelaciones. Catálogos. Movimientos aparentes. La esfera celeste. Sistemas de coordenadas. Nociones de precesión y nutación. El tiempo. Calendario.

Unidad 2

Leyes de Kepler. El sistema solar: origen y evolución. El sol, planetas, cometas, asteroides, planetas enanos. Planetas extrasolares.

Unidad 3

Telescopios: reflectores y refractores, ubicación en la Tierra. Telescopio espacial. Espectro electromagnético. Astronomía desde el espacio. Radioastronomía.

Unidad 4

Estrellas. Brillo y magnitud. Distancia. Radiación de los cuerpos celestes. Ley de Wien. Ley de Stefan – Boltzman. Temperatura, composición, y velocidad de las estrellas. Efecto Doppler Espectros estelares: Clasificación. Material interestelar. Nebulosas. Diagrama H-R. Evolución estelar. Enanas blancas. Estrellas de neutrones. Agujeros negros.

Unidad 5

Estrellas variables. Clasificación. Asociaciones. Cúmulos abiertos y globulares. Galaxias. Clasificación. La Vía Láctea: tamaño y forma. Galaxias activas. Cúmulos de galaxias. Cuasar. Astronomía de altas energías. El universo origen y evolución. Teoría del Big Bang



Orientación: Ciencias Naturales

Materia: Física

Nivel: 6° año

CONTENIDOS

Unidad 1

Revisión de los conceptos de frecuencia, longitud de onda y espectro electromagnético. Radiación electromagnética ionizante y no ionizante, origen y consecuencias. Radioactividad: interacción débil. Magnitudes y leyes fundamentales de la desintegración radiactiva, elementos radiactivos, desintegración radiactiva. Aplicaciones de la desintegración radiactiva. Ejercicios prácticos. La composición del núcleo: interacción fuerte. Reacciones nucleares: fusión y fisión nuclear. Aplicaciones, centrales nucleares: ventajas y desventajas. Centrales de fusión nuclear, proyectos en ejecución.

Unidad 2

Radiación del cuerpo negro. Aproximaciones de Wien y Rayleigh – Jeans. Ley de Planck, gráficos y consecuencias. Leyes de Wien y Stefan – Boltzman. Ejercicios prácticos Efecto fotoeléctrico, antecedentes, consecuencias y aplicaciones. Ejercicios prácticos La crisis de la física clásica. Introducción a la física moderna. Teoría cuántica, origen. Conceptos básicos. Fenómenos mecánicos que no se explican con la física clásica. Introducción cualitativa a la Teoría de la Relatividad General.

Qué es el bosón de Higgs

Final sin punto final

.....
Esta historia continuará.....

La aventura científica y humana que quise contarles a lo largo de estas páginas nos muestra un extraordinario ejemplo de cómo la investigación en la frontera del conocimiento nos enriquece, modifica nuestras perspectivas y contribuye así al avance de nuestra civilización.

El largo camino recorrido en la investigación con aceleradores y detectores de partículas para comprender la estructura de la materia y las fuerzas que dan forma al universo nos ha dejado también otros bienes derivados importantes, que van desde las técnicas de obtención de imágenes, como la tomografía por emisión de positrones (PET) o por emisión de un solo fotón (SPECT); o nuevas soluciones médicas, como la radioterapia o la novedosa terapia hadrónica; sin olvidarnos, por supuesto, de la hoy imprescindible Web, inventada en el CERN.

Quiero destacar que una de las cualidades más extraordinarias del ser humano es la curiosidad y que esta, junto con la capacidad de pensar de manera abstracta, nos puede

llevar mucho más lejos aún que la mera búsqueda de soluciones a problemas específicos inmediatos. Las innovaciones de mayor impacto solo han sido posibles sobre la base de la generación de nuevos conocimientos alcanzados en investigación básica. El descubrimiento histórico de la partícula de Higgs es el gran premio a la inteligencia, creatividad y perseverancia del hombre en busca del conocimiento, una gran fuente de inspiración para las generaciones futuras.

¿Es este el final de la historia? ¡Ciertamente, no! Si bien hemos encontrado la pieza faltante para completar el Modelo Estándar de las partículas elementales y sus interacciones, es claro que esta teoría no tiene aún la última palabra.

- *La gravedad.* Acordamos no tenerla en cuenta en el Modelo Estándar por ser muy débil frente a las restantes fuerzas del mundo subatómico, pero la cruda realidad es que nadie ha sido capaz de reconciliar la teoría general de la relatividad de Einstein –nuestra mejor teoría de la gravedad– con la teoría cuántica.
- *El misterioso número tres.* ¿Por qué los quarks y leptones vienen en tres familias idénticas en todo pero con masas completamente dispares? Tres son también las cargas de color de los quarks. Algo nos está gritando la naturaleza con estos signos, pero aún no somos capaces de interpretar qué es.
- *La materia oscura.* Los resultados observacionales indican que, aproximadamente, el 26% de la materia total del universo es invisible. Sabemos de su existencia por el efecto gravitacional que tiene sobre la materia visible. ¿De qué está hecha? Sin duda alguna, debe responder a un tipo de materia muy distinta de la que vemos en los millones de estrellas y galaxias

Referencias bibliográficas

Aguilar, T. (1999) *“Alfabetización científica y educación para la ciudadanía”*. Madrid. (1999).

Aloy, M; Attili, R (2013) *“Divulgación y alfabetización científica”*. Episteme nº 16, pags 2-3. Instituto de Física de La Plata.

Anijovich, R; González, C (2001) *“Evaluar para aprender”* Aique. Buenos Aires

Aristegui y otros. (2000) *“Física II Polimodal”* Editorial Santillana. Buenos Aires. 1ª Ed.

Aristegui y otros. (1999) *“Física I Polimodal”* Editorial Santillana. Buenos Aires. 1ª Ed.

Ausubel, D.; Novak, J. y Hanesian, H. (1983). *“Psicología Educativa: Un punto de vista cognoscitivo”*.

Blanco, G. y Pérez, M.V.V. (2000) *¿Qué tienen en cuenta los profesores cuando seleccionan el contenido de enseñanza? Cambios y dificultades tras un programa de formación*. Enseñanza de las Ciencias, 18, 3, 423-437.

Calsamiglia, H. (1996) *«Apuntes sobre la divulgación científica. Un cambio de registro»*. Textos 8.

Campanario, J.; Moya, A. (1999) *¿“Como enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas”* Enseñanza de las ciencias. 17(2) ,179-192

Cerejido-Reinking. (2003) *“La ignorancia debida”* Ed. El Zorzal- Bs. As.

De Florian D. (2007) *“Una expedición al mundo subatómico”*. Buenos Aires. EUDEBA.

Dova, M. T. (2015) *“¿Qué es el bosón de Higgs?”* 1ª Ed. CABA. Paidós

Dova, M.T (2012) *Clases Partículas fundamentales en la Maestría en Física Contemporánea*. Facultad de Ciencias Exactas. UNLP.

Epele, L., García Canal C. *“Con Goethe visitamos el saber científico Contemporáneo”*. Laboratorio de física Teórica. Dpto de Física. Facultad de Ciencias Exactas. UNLP.

Fernández P., González E., Solbes J. (2015) *“Evolución de las representaciones docentes en la física cuántica”* Enseñanza de la ciencias, Vol. extra Págs.1-5

Feynman Richard. (2000) *“El carácter de la ley Física”*. Ed. Tusquets.

Feynman, Richard P. “Seis piezas fáciles” www.librosmaravillosos.com

Feynman, Richard P. “Electrodinámica cuántica, la extraña teoría de la luz y la materia” www.librosmaravillosos.com

García Canal, C. (2011) Clases de Introducción a la Física, Astronomía y Cosmología Moderna en la Maestría en Física Contemporánea. Facultad de Ciencias Exactas. UNLP. .

Greca I., Herscovitz V. (2002) *“Construyendo significados en Mecánica Cuántica: fundamentación y resultados de una propuesta para su incorporación en el nivel universitario”* Revista enseñanza de las Ciencias, Vol. 20Nº 2, Págs.327-338.

García Salcedo R., Moreno C., (2007) *“Descripción de la evolución del universo: una presentación para alumnos preuniversitarios”*. Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol.1, No. 1.

Guerrero, R. (2002) *“La divulgación científica en el siglo XX”* (publicado en Quark, 26, octubre-diciembre , “Divulgadores de la ciencia”)

Harari D., Mazzitelli D. (2007) *“100 años de Relatividad”*. Buenos Aires. EUDEBA.

Heisenberg, W (1985). *“La imagen de la naturaleza en la física actual”*. Barcelona.

Hess, Yancovich, Agloni y Sirera. (1995) *“La educación científica”*. Vol. III, Serie Ciencias de la Educación. Ed. OEA – CPEIP. Santiago.

Hewitt, Paul G (2004). *“Física Conceptual”* 9ª Ed. Pearson educación. México.

Krey Isabel y Moreira Marco Antonio (2009) *“Implementación y propuesta de enseñanza para el tópico física de partículas basada en la teoría de campos conceptuales de Vergnaud”* Revista electrónica de la Enseñanza de las Ciencias. Vol. 8 Nº 3

- Martín Díaz, M.J. (2002) *“Enseñanza de las ciencias ¿Para qué?”*. Revista Electrónica de la Enseñanza de las Ciencias, Vol.1, N° 57-63
- Mora, C. (2008) *“Deducción de los primeros modelos cosmológicos”* Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol.12 N° 2.
- Moreira, MA. (2004) *“La teoría de los campos Conceptuales de Vergnaud, la Enseñanza de las ciencias y la investigación en el área”*. Porto Alegre: IF-UFRGS.
- Moreira Marco Antonio. (2009) *“El Modelo Estándar de la Física de partículas”* Revista brasilera de Enseñanza de Física. 3l (1):1306.
- Olmedo Estrada, J. C (2011) *“Educación y divulgación de la ciencia: tendiendo puentes hacia la alfabetización científica”* Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, Vol. 1, N° 2, pp. 70-86
- Ostermann, F. y Moreira M. (2000). *“Física contemporánea en la escuela secundaria: una experiencia en el aula involucrando formación de profesores”*. Enseñanza de las Ciencias, 18,3, 391-404.
- Perrenoud, P. (2010) *“La evaluación de los alumnos”*. Colihue. Buenos Aires
- Rovira M. (2007) *“El Sol”*. Buenos Aires. EUDEBA.
- Sánchez B, Gasper V., Pérez M. (2000) *“¿Qué tienen en cuenta los profesores cuando seleccionen los contenidos?”* Revista Enseñanza de las Ciencias, 18(3), 423-437
- Sagan, C. (2004) *“Cosmos”*. Ed. Planeta. España.
- Sagan, C. (2000) *“El mundo y sus demonios”*. Ed. Planeta. España.
- Santángelo, M. (2011) *Clases Mecánica Cuántica de la Maestría en Física Contemporánea*. Facultad de Ciencias Exactas. UNLP.
- Schaposnik, Fidel A. (2014) *“¿Que es la física cuántica? La clave del Universo”*. 1ª Ed. CABA. Paidós
- Schwarz C. (1997) *“A tour of the subatomic zoo. A guide to particle Physics”*. Taylor Francis .USA.
- Trefil J. (1985) *“De los átomos a los quarks”* Salvat editores.