

# Reporte Física de Partículas

Javier Maldonado Palma<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias, Universidad de Santiago de Chile  
<sup>1</sup>javier.maldonado@usach.cl

March 1, 2022

## Resumen

Se estudio de una forma teórica primeramente algunos lagrangianos típicos de la física de partículas y sus derivaciones a ecuaciones esenciales como lo es el lagrangiano de Dirac y su ecuación, pero además se pudo desarrollar de forma simulada en el software MadGraph colisiones en donde se vario los parametros de entrada para ver como estos afectaban tanto a los diagramas de Feynman como a la sección eficaz de la colisión.

Finalmente:

$$\partial_\mu (\partial^\mu A^v - \partial^v A^\mu) + \left(\frac{mc}{\hbar}\right)^2 A^v = 0$$

## 2.2 Lagrangiano de Dirac

Tenemos el lagrangiano de Dirac:

$$\mathcal{L} = \frac{i\hbar c}{2} [\bar{\psi} \gamma^\mu (\partial_\mu \psi) - (\partial_\mu \bar{\psi}) \gamma^\mu \psi] - (mc^2) \bar{\psi} \psi$$

Aplicando las E-L tenemos que:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial (\partial_\mu \bar{\psi})} = \frac{i\hbar c}{2} (-\gamma^\mu \psi)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \bar{\psi}} = \frac{i\hbar c}{2} \gamma^\mu \partial_\mu \psi - (mc^2) \psi$$

Esto a su vez queda como

$$\frac{i\hbar c}{2} \gamma^\mu \partial_\mu \psi - (mc^2) \psi + \frac{i\hbar c}{2} \gamma^\mu \partial_\mu \psi = 0$$

Finalmente tenemos que:

$$i\gamma^\mu \partial_\mu \psi - \left(\frac{mc}{\hbar}\right) \psi = 0$$

Realizando el mismo procedimiento pero esta vez haciendo las derivadas con respecto a  $\psi$  y  $\partial_\mu \psi$  tenemos entonces que:

$$-i\hbar c \partial_\mu \bar{\psi} \gamma^\mu - mc^2 \bar{\psi} = 0$$

Reordenando tenemos:

$$-i\partial_\mu \bar{\psi} \gamma^\mu - \frac{mc^2}{\hbar} \bar{\psi} = 0$$

Si tomamos en cuenta que:  $\bar{\psi} = \psi^\dagger \gamma^0$  tenemos como resultado final:

$$-i\partial_\mu \psi^\dagger \gamma^0 \gamma^\mu - \frac{mc^2}{\hbar} \psi^\dagger \gamma^0 = 0$$

## 1 Metodología

En la sección de lagrangianos usaremos las ecuaciones de Euler-Lagrange para determinar las ecuaciones que describen el fenómeno. Mientras que en la sección de simulación se usara el programa Madgraph para generar las colisiones, en donde se usara los parámetros por defecto y el modelo por defecto (SM (Standar Model)) a menos que se pida otra especificación en la pregunta.

## 2 Resultados

### 2.1 Lagrangiano de Proca para un campo vectorial de espín 1

Tenemos el lagrangiano en cuestión el cual es:

$$\mathcal{L} = \frac{-1}{16\pi} (\partial^\mu A^v - \partial^v A^\mu) (\partial_\mu A_v - \partial_v A_\mu) + \frac{1}{8\pi} \left(\frac{mc}{\hbar}\right)^2 A^\nu A_\nu$$

La ecuación de Euler-Lagrange será de la forma:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial A_v} - \partial_\mu \left( \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial (\partial_\mu A_v)} \right) = 0$$

Realizando las derivadas correspondientes tenemos que:

$$\frac{1}{4\pi} \partial_\mu (\partial^\mu A^v - \partial^v A^\mu) + \frac{1}{4\pi} \left(\frac{mc}{\hbar}\right)^2 A^v = 0$$

## 2.3 Lagrangiano de Klein-Gordon

El lagrangiano de Klein-Gordon para un campo complejo es:

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2}(\partial_\mu \phi)^*(\partial^\mu \phi) - \frac{1}{2} \left( \frac{mc}{\hbar} \right)^2 \phi^* \phi$$

## 2.4 Lagrangiano de Dirac con acoplamiento electromagnético

## 2.5 Colisiones

### 2.5.1 $p p \rightarrow e^+ e^-$

$$C = 839,1 \pm 2,6[pb]$$

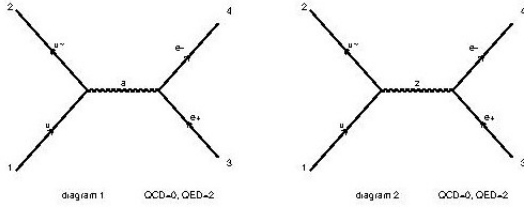


Figura 1: Diagramas de Feynman de la generación  $p p \rightarrow e^+ e^-$

En “diagram 1” correspondiente a la Figura 1 podemos ver una colisión entre quarks up y anti-up los cuales se aniquilan para dar paso a la creación de una partícula “a”, para después convertirse en par electrón-positrón

En “diagram 2” ocurre lo mismo pero en en intermedio ocurre una transformación de un bosón

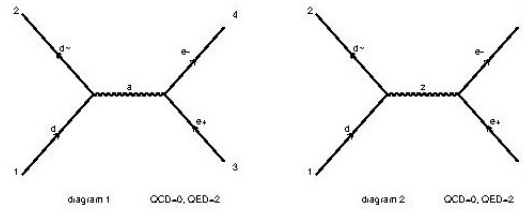


Figura 2: Diagrama de Feynman de la generación  $p p \rightarrow e^+ e^-$

En los diagramas de la Figura 2 podemos ver lo mismo pero con la diferencia que los pares que colisionan son un par de quarks down-antidown

### 2.5.2 $p p \rightarrow z, z \rightarrow e^+ e^-$

$$C = 1420,0 \pm 0,9[pb]$$

Aquí podemos ver (Figura 3) que podemos ver la generación de del par electrón-positrón a través del par de quark-antiquark (up-antiup) con

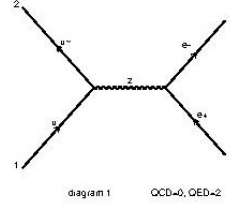


Figura 3: Diagrama de Feynman de la generación  $p p \rightarrow z, z \rightarrow e^+ e^-$

una generación de un boson después de la colisión de ellos

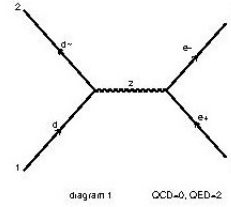


Figura 4: Diagrama de Feynman de la generación  $p p \rightarrow z, z \rightarrow e^+ e^-$

Mientras que en la Figura 4 se ve una colisión similar pero con quarks-antiquarks down y anti-down

En este caso solo se mostraron los que generaban una partícula “z” es su transición

### 2.5.3 $p p \rightarrow e^+ e^- \rightarrow z$

$$C = 514,0 \pm 1,6[pb]$$

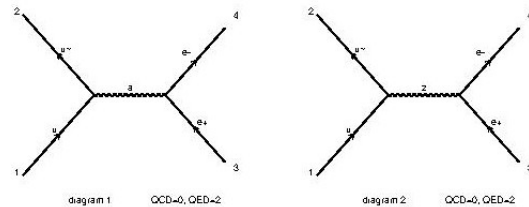


Figura 5: Diagrama de Feynman de la generación  $p p \rightarrow e^+ e^- \rightarrow z$

En la Figura 5 se puede ver dos diagramas que muestran la colisión de un par de quark-antiquark que generan un par electrón-positrón sin embargo en su transición son diferentes ya que en “diagram1” genera una partícula “a”

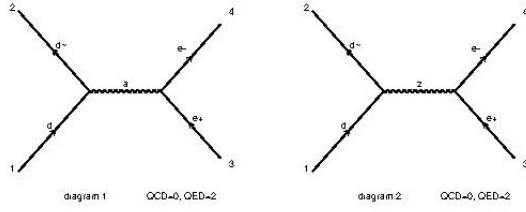


Figura 6: Diagrama de Feynman de la generación  $p p \rightarrow e^+ e^- z$

En los diagramas de la Figura 6 se ve una colisión similar sin embargo las partículas colisionantes son un par quark-antiquark de la especie down y anti-down

#### 2.5.4 $p p \rightarrow e^+ e^- / z$

$$C = 207,5 \pm 0,5 [pb]$$

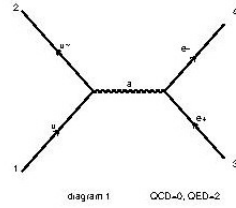


Figura 7: Diagrama de Feynman de generación  $p p \rightarrow e^+ e^- / z$

En la Figura 7 vemos la creación de y la colisión visto en los diagramas anteriores (colisionantes up y anti-up). Pero en esta ocasión en la transición se ve la creación de la partícula "a".

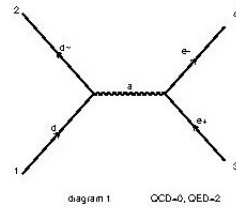


Figura 8: Diagrama de Feynman de generación  $p p \rightarrow e^+ e^- / z$

Finalmente la Figura 8 es analógica ante la Figura 7 pero con la diferencia que se genera en su transición una partícula "z"

#### 2.5.5 $p p \rightarrow e^+ e^- / a$

$$C = 638,8 \pm 1,3 [pb]$$

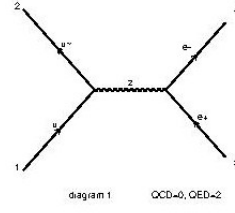


Figura 9: Diagrama de Feynman de la generación  $p p \rightarrow e^+ e^- / a$

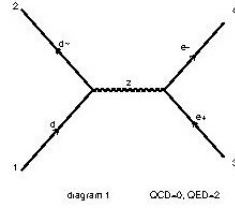


Figura 10: Diagrama de Feynman de la generación  $p p \rightarrow e^+ e^- / a$

## 2.6 Generación del modelo $H+2$ jets, variando los eventos

# Eventos	Cross-Section [pb]
1000	$3,357 \pm 0,022$
10000	$3,341 \pm 0,008$
25000	$3,340 \pm 0,005$

Cuadro 1: Resultados de la colisión ( $H + 2$  jets) con diferentes numeros de eventos.

Podemos ver en la cuadro 1 que entre más aumentemos el número de eventos el valor de la sección eficaz va convergiendo a un valor ya que entre los últimos números de eventos hay una diferencia ínfima que con el primer valor de la tabla correspondiente a 1000 eventos, pero también vemos que la incertidumbre de esta medida también decae a mayor sea el número de eventos.

## 2.7 Generación de la colisión $H+2$ jets, variando el modelo

Modelo	Cross-Section [pb]
SM	$3,341 \pm 0,008$
HEFT	$7,861 \pm 0,024$

Cuadro 2: Resultados de la colisión ( $H + 2$  jets) con diferentes modelos.

## 2.8 Colisión (W + up to 3 jets):

### 2.8.1 generate p p >e- ve

$$C = 3763 \pm 10[pb]$$

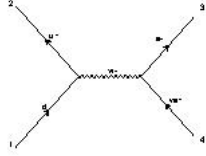


Figura 11: Diagrama de Feynman representativo de 2.8.1

### 2.8.2 generate p p >e- ve add process p p >e- ve j

$$C = 4563 \pm 12[pb]$$

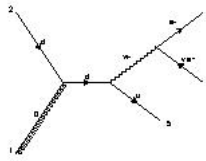


Figura 12: Diagrama de Feynman representativo de 2.8.2

### 2.8.3 generate p p >e- ve add process p p >e- ve j add process p p >e- ve j j

$$C = 4787 \pm 12[pb]$$

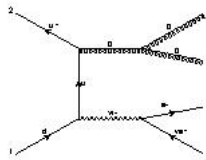


Figura 13: Diagrama de Feynman representativo de 2.8.3

### 2.8.4 generate p p >e- ve add process p p >e- ve j add process p p >e- ve j j add process p p >e- ve j j j

$$C = 4896 \pm 12[pb]$$

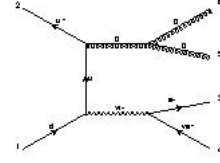


Figura 14: Diagrama de Feynman representativo de 2.8.4

Si comparamos las secciones eficaces podemos observar que cada vez que se le añaden subprocesos a la colisión la sección eficaz va aumentando. Por lo que podemos decir que a medidas que se añaden procesos de colisiones la sección eficaz será cada vez más grande.

## Conclusiones

En esta actividad pudimos ver algunos factores que pueden afectar a la hora de realizar simulaciones en colisiones en MadGraph. Como exclusión de eventos como vimos en la sección 2.5, además vimos con estas exclusiones los diferentes diagramas que pueden sucederse. Además vimos en la sección 2.6 como afecta a la sección eficaz el número de eventos de la simulación por lo que si se quiere poseer una valor de sección eficaz correcto hay que sopesar entre el número de eventos a utilizar y la capacidad de computo de este mismo. También pudimos divisar que se debe tener cuidado cual modelo utilizaremos para realizar nuestro estudio, ya que como vimos en la sección 2.7 el cambio de modelo para el estudio de colisiones puede afectar a los resultados de la sección eficaz.

En la sección 2.8 se pudo notar una leve pero constante diferencia entre el número de procesos añadidos a la colisión con la sección eficaz, entre más procesos se le añadan a una colisión su sección eficaz será mas grande y su diagrama aumentara en complejidad y sub-procesos entre los colisionantes y resultantes. Esto es evidente al comparar por ejemplo la colisión 2.8.1 en donde solo hay un subproceso sinusoidal en comparación con 2.8.4 en donde además de ese proceso se crearon subprocesos de gluon g.

## Agradecimientos

Agradezco al equipo de UNI por realizar este curso y poder darme una pincelada de lo que es la física de partículas, además de enseñarme las técnicas básicas pero elementales de simulación aplicada a esta área de la física.