

---

# La “tabla periódica” de las partículas elementales

---



---

**Óscar Alberto Zapata Noreña**

Físico, doctor en Física

Grupo Fenomenología e Interacciones

Fundamentales, Universidad de Antioquia

[osalberto.zapata@udea.edu.co](mailto:osalberto.zapata@udea.edu.co)

---

Si bien los elementos forman y caracterizan toda la materia visible del universo, los átomos de estos están a su vez compuestos por partículas aún más elementales que se exploran desde la teoría, la experimentación y la fenomenología.

Todas las sustancias que nos son familiares y usamos de una forma u otra en la vida cotidiana están compuestas por diferentes elementos químicos. La tabla periódica de los elementos representa, de forma compacta, el conocimiento sobre todos los elementos mediante el uso de las propiedades de los constituyentes del átomo: el núcleo atómico y la nube de electrones que lo rodea. Así, los elementos están dispuestos en la tabla de acuerdo al número de protones que componen el núcleo atómico y cómo se distribuyen los electrones alrededor de este.

En un principio se creyó que los constituyentes del núcleo atómico, protones y neutrones, eran partículas indivisibles. Fue gracias a los avances científicos de mediados del siglo xx que se llegó a la conclusión de que no eran unidades fundamentales sino que están compuestos por partículas aún más pequeñas, los *quarks*, mientras los electrones siguieron considerándose elementales, indivisibles.

De estas nuevas partículas elementales, los quarks, que componen a protones y neutrones, se conocen seis tipos, con singulares nombres en inglés: u, up —arriba—; c, charm —encanto—, t, top —cima—; s, strange —extraño—; d, down —abajo—; b, bottom —fondo—. Los tres primeros —up, charm y top— tienen una car-

### Modelo estándar de las partículas elementales

Tres generaciones de materia (fermiones)			Mediadores de carga / interacción (bosones)		
	I	II	III		
Masa	≈ 2.2 MeV/c <sup>2</sup>	≈ 1.28 GeV/c <sup>2</sup>	≈ 173.1 GeV/c <sup>2</sup>	0	≈ 124.97 GeV/c <sup>2</sup>
Carga	2/3	2/3	2/3	0	0
Espin	1/2	1/2	1/2	1	0
Nombre	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b>g</b> gluón	<b>H</b> higgs
QUARKS	≈ 4.7 MeV/c <sup>2</sup>	≈ 96 MeV/c <sup>2</sup>	≈ 4.18 GeV/c <sup>2</sup>	0	
	-1/3	-1/3	-1/3	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom	<b>γ</b> fotón	
LEPTONES	≈ 0.511 MeV/c <sup>2</sup>	≈ 105.66 MeV/c <sup>2</sup>	≈ 1.7768 GeV/c <sup>2</sup>	≈ 91.19 GeV/c <sup>2</sup>	
	-1	-1	-1	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	<b>e</b> electrón	<b>μ</b> muón	<b>τ</b> tau	<b>Z</b> bosón z	
	< 1.0 eV/c <sup>2</sup>	< 0.17 MeV/c <sup>2</sup>	< 18.2 MeV/c <sup>2</sup>	≈ 80.39 GeV/c <sup>2</sup>	
	0	0	0	±1	
	1/2	1/2	1/2	1	
	<b>ν<sub>e</sub></b> neutrino electrónico	<b>ν<sub>μ</sub></b> neutrino muónico	<b>ν<sub>τ</sub></b> neutrino tauónico	<b>W</b> bosón w	

ga eléctrica equivalente a dos terceras partes de la carga del protón, mientras que down, strange y bottom poseen carga eléctrica negativa, dada por la tercera parte de la carga del antiprotón.

El protón de un átomo está constituido mayoritariamente por dos quarks up y un quark down, mientras que al neutrón lo componen un quark up y dos quarks down. Teniendo en cuenta este par de ejemplos, es de esperarse que puedan formarse más partículas compuestas por diferentes combinaciones de quarks. Vale la pena mencionar que, de todas las posibles partículas compuestas por quarks, solo una de ellas es estable: el protón, lo que significa que todas las demás —salvo el neutrón cuando se encuentra en el interior del núcleo atómico— se desintegran rápidamente.

En los años 40 del siglo pasado se descubrió una partícula conocida como muón, una especie de electrón pero con una

masa 200 veces mayor. Y a esto se le sumó el descubrimiento de otra partícula, también similar al electrón, pero con una masa 3500 veces mayor: el tau. Junto con el electrón, estas dos partículas hacen parte de un conjunto denominado *leptones*. Y asociado a cada uno de estos leptones se tiene la existencia de otra partícula elemental, eléctricamente neutra, conocida como el neutrino, resultando así en un conjunto de seis leptones. El primer neutrino en ser descubierto, en 1956, fue el neutrino electrónico, que había sido propuesto teóricamente cerca de 25 años antes para salvar la conservación de la energía en el proceso de desintegración del neutrón; para confirmar experimentalmente la existencia del neutrino tauónico hubo que esperar hasta el año 2000.

Una de las propiedades de las partículas elementales es el espín, que indica su comportamiento cuántico. Los quarks y leptones están agrupados en el conjunto de partículas denominado fermiones, y se caracterizan por tener espín igual a un número semientero. Para el caso de los quarks y los leptones, el espín es  $1/2$ . En la orilla opuesta se encuentran las partículas pertenecientes al conjunto de los bosones, con espín igual a un número entero igual a uno —partículas vectoriales— o que no tienen espín —partículas escalares—.

La primera partícula vectorial —y elemental— en ser descubierta fue la partícula de la luz, el fotón, que no tiene masa ni carga eléctrica. Hablan-

do en términos técnicos diríamos que el fotón es el mediador de la interacción electromagnética, de tal forma que las partículas con carga eléctrica diferente de cero interactúan entre ellas mediante el intercambio de fotones. Por ejemplo, los quarks pueden interactuar con otros quarks o con los leptones cargados mediante el intercambio mutuo de fotones —de la misma forma los protones, en el núcleo del átomo, interactúan con la propia nube de electrones—. En este mismo sentido actúan los otros bosones vectoriales no masivos, los gluones, mediadores de la interacción nuclear fuerte, que son intercambiados entre quarks únicamente. Puede notarse que la palabra gluón viene del inglés glue, pegamento. Es gracias a los gluones que los quarks se pueden agrupar para

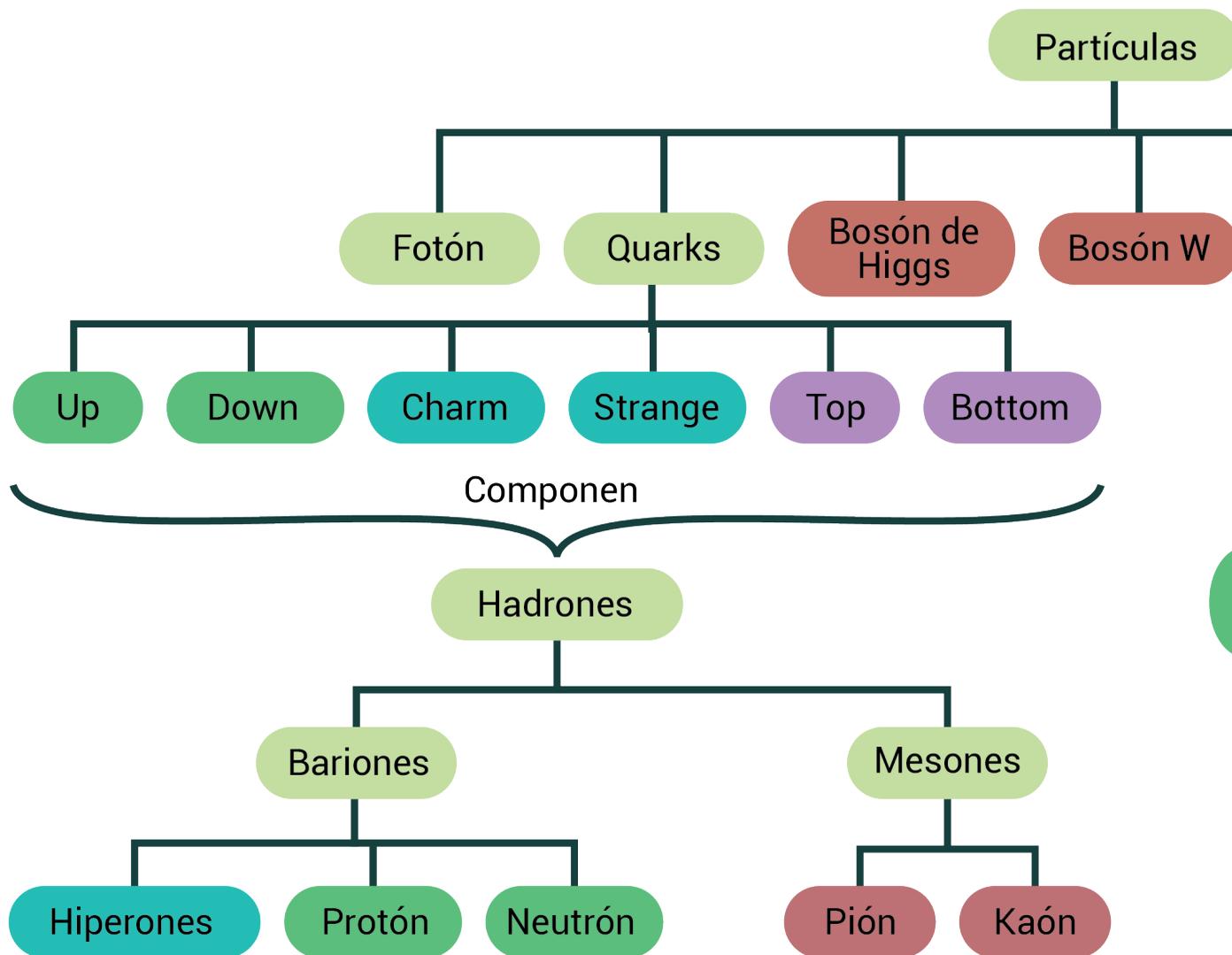
formar protones y neutrones, y también, en cierto sentido, permiten que los protones que forman el núcleo atómico se mantengan dentro de este a pesar de la repulsión eléctrica entre ellos mismos —la interacción nuclear fuerte es más intensa que la interacción electromagnética, pero es de mucho menor alcance: solo es apreciable a la escala subnuclear—.

En el mismo conjunto de las partículas vectoriales se encuentran los bosones ma-

sivos W y Z, que vienen siendo los mediadores de la interacción nuclear débil, y los únicos que pueden ser intercambiados entre todos los fermiones sin importar su naturaleza. Esta interacción es la causante, por ejemplo, de la desintegración del neutrón y de la desintegración radioactiva de los elementos químicos.

Por último, se encuentra la única partícula escalar —y elemental— que ha sido descubierta, el bosón de Higgs. Según la teoría que describe la interacción de las partículas elementales, conocida como modelo estándar, los electrones y todas las demás partículas con masa —incluido el mismo bosón de Higgs— adquieren su masa gracias a la interacción con el bosón de Higgs, de tal forma que en cuanto sea mayor la intensidad de esta interacción mayor será la masa obtenida. Así, el quark cima, el más masivo, es el que más intensamente interactúa con el bosón de Higgs, mientras que los neutrinos apenas lo hacen. Por otro lado, se tiene que el Higgs puede interactuar con otras partículas mediante el intercambio de fotones y bosones W y Z, tal como lo hacen los leptones cargados.

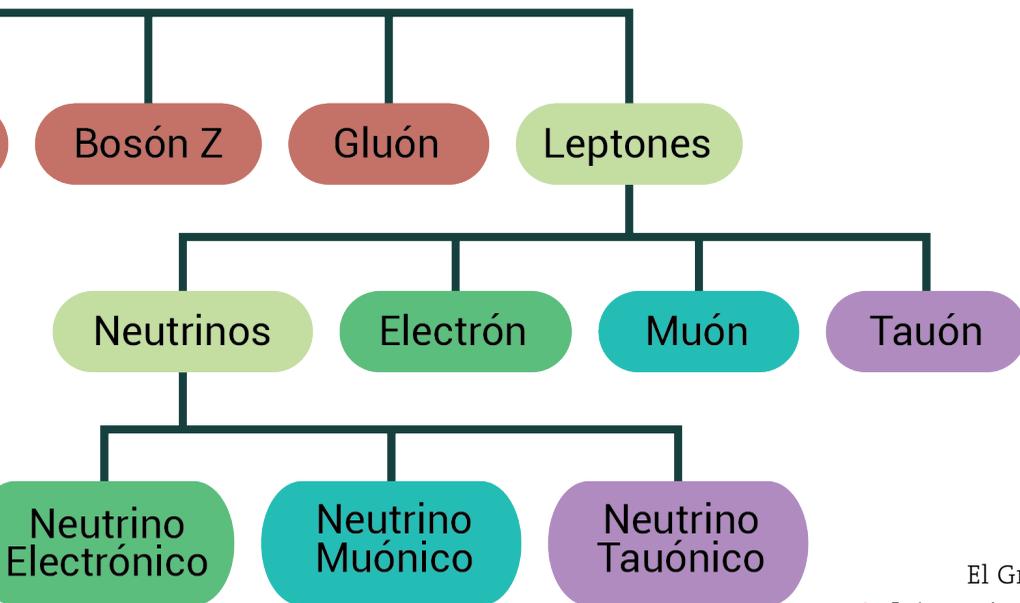
**El 85 % de la materia total del universo está compuesta por partículas que desconocemos completamente: partículas denominadas materia oscura, porque ni emite ni absorbe radiación electromagnética.**



El bosón de Higgs fue detectado experimentalmente en 2012, en el acelerador de partículas LHC del CERN, ubicado en Ginebra, (Suiza), casi medio siglo después de ser sugerida su existencia para explicar la masividad de los bosones W y Z.

Todas las partículas elementales observadas en la naturaleza pueden organizarse de acuerdo a la tabla mostrada más abajo, que nos habla de los

componentes más esenciales que conocemos del universo. Algunas similitudes surgen al comparar la tabla periódica de los elementos químicos con la tabla de las partículas elementales del modelo estándar. Por ejemplo, las columnas reflejan partículas con propiedades semejantes, mientras que la segunda y tercera fila del conjunto de los fermiones —también conocidas como segunda y tercera generación— son réplicas de la primera fila —generación—, difiriendo solo en el valor de la masa de las partículas, la cual es mayor según el número de la generación. Otro ejemplo es que la existencia de varias partículas también se presumía antes de su detección, debido al patrón que re-



Clasificación de las partículas fundamentales del modelo estándar, incluyendo las que se predicen y aún no se han detectado experimentalmente.

Infográfico | Andrea Henao Jaramillo.

flejaba la tabla en sus inicios. Por ejemplo, el neutrino tauónico fue inferido después del descubrimiento del leptón tau.

Al igual que la tabla periódica, que está aún en construcción debido a que hay elementos que no se encuentran de forma natural y que pueden producirse en laboratorios, la «tabla periódica» de las partículas elementales no es un producto terminado. Por ejemplo, solamente cerca del 15 % de la totalidad de la materia que compone el universo está constituida por las partículas del modelo estándar, por lo que el 85 % del universo está compuesto por partículas que desconocemos completamente, partículas denominadas materia oscura, porque ni emite ni absorbe radiación electromagnética. Dichas partículas podrían encajar en cualquiera de las casillas vacías de la tabla periódica del modelo estándar. Cualquier solución a los fenómenos que no pueden ser explicados con las partículas del modelo estándar, como la masividad de los neutrinos y la diferencia en la cantidad de materia y antimateria del universo, involucra la adición de nuevas partículas.

El Grupo de Fenomenología de las Interacciones Fundamentales, de la Universidad de Antioquia, ha desarrollado gran parte de sus actividades alrededor de dar sentido a los datos experimentales de laboratorios como el CERN y el Fermilab, para explicar los fenómenos que el modelo estándar no logra explicar, con el planteamiento y estudio de nuevas propuestas teóricas que lo expandan.

Una de las temáticas de investigación que se ha venido desarrollando intensamente durante los últimos 10 años son los fenómenos de la materia oscura y las masas de los neutrinos, terreno en el que se ha logrado formular propuestas teóricas viables que describen satisfactoriamente y de manera simultánea dichos fenómenos. Todas estas propuestas involucran diferentes tipos de partículas nuevas (escalares, fermiones y vectoriales) que constituyen la totalidad de la materia oscura y que pueden ser detectadas en experimentos actuales y futuros. ✗