

# Leptones y Quarks, Últimos Constituyentes de la Materia

Ing. Pedro Romano Aportela\*

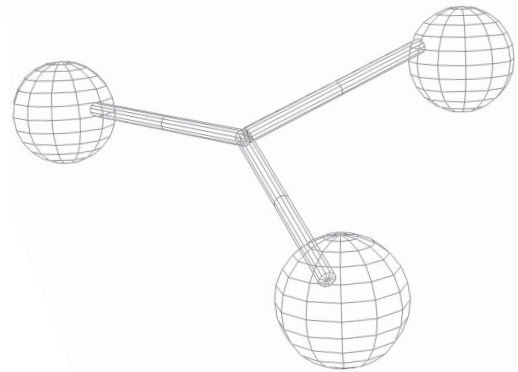
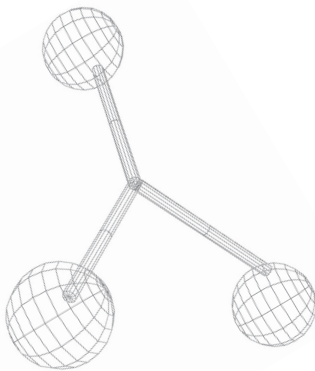
## Resumen

*En este trabajo se analiza, a la luz de los resultados experimentales y la teoría de grupos, el origen y evolución de la idea de los quarks, que junto con los leptones son considerados los constituyentes elementales de la materia; de manera breve se mencionan algunos de los resultados obtenidos usando esta teoría.*

*Sabemos que la materia está constituida por átomos, que a su vez se encuentran formados por un núcleo rodeado con una nube de electrones. El núcleo tiene estructura interna, es decir, está hecho de protones y neutrones, los cuales llamaremos "nucleones". La evidencia experimental ha mostrado que los nucleones poseen también una estructura interna, hecha de partículas muy especiales conocidas como quarks. Los quarks y los leptones, de los cuales el electrón es el ejemplo más conocido, parecen ser los últimos constituyentes de la materia.*

### Acerca del autor...

*\* Profesor de la División de Ingeniería  
Mecatrónica e Industrial,  
Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.*



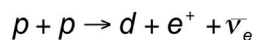
Hasta donde los límites experimentales lo permiten, se considera que los quarks y los leptones no tienen estructura interna (partículas puntuales). A través de ellos se crean las partículas materiales. Existe además otra clase fundamental de partículas llamadas “partículas de campo” que son las portadoras de las fuerzas o interacciones entre las partículas materiales. El ejemplo más conocido es el fotón, el cual es el portador de la interacción electromagnética.

Hagamos aquí un breve paréntesis para analizar la forma en que las partículas materiales interactúan entre sí; antes de M. Faraday introdujera el concepto de campo, se pensaba que dicha interacción era a través de una acción a distancia y ésta se daba en forma instantánea. Con el nuevo concepto de campo, la interacción es mediada por éste, es decir, una partícula genera un campo a su alrededor, el cual interactúa con el campo generado por la otra partícula.

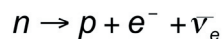


Bajo el esquema de la teoría cuántica de campos, éstos se “cuantizan” y por consiguiente la interacción se da a través del intercambio de estos “cuantos” (quantum) del campo. (bosones).

Son cuatro las fuerzas a través de las cuales las partículas materiales interactúan: la electromagnética; la gravitacional, cuyo rango de alcance para éstas es infinito, y las interacciones nuclear fuerte y nuclear débil, cuyo rango de alcance es muy corto. La interacción nuclear débil es la responsable del decaimiento nuclear  $\beta$ , mediante la cual el sol genera su energía



También es la responsable de la desintegración del neutrón



La fuerza nuclear fuerte es la responsable de mantener unido al núcleo del átomo, y también de mantener confinados a los quarks en estructuras finitas llamadas “hadrones” (del griego *hidra* que significa fuerte), de los cuales el protón y neutrón son los ejemplos más conocidos.

Un dato muy importante es que los quarks no han sido detectados en forma libre, la evidencia de su existencia y propiedades se obtendrán del estudio de los hadrones, como veremos más adelante.

Todas las partículas materiales sienten las interacciones débiles y electromagnéticas; lo que distingue a los quarks de los leptones, es que los quarks sólo sienten la interacción nuclear fuerte.

Comparando la magnitud de las fuerzas que ejercen por ejemplo dos protones, se tiene lo siguiente:

<i>Nuclear fuerte</i>	<i>Electromagnética</i>	<i>Nuclear débil</i>	<i>Gravitacional</i>
1	$10^{-2}$	$10^{-7}$	$10^{-38}$

Por tal razón, no consideraremos a la fuerza gravitacional.

Dentro de la familia de los leptones, tenemos: electrón ( $e^-$ ) muón ( $\mu$ ), tau ( $\tau$ ).  $\{e, \mu, \tau\}$ . El muón posee una carga negativa, al igual que el electrón, pero tiene una masa aproximadamente 200 veces mayor que éste. Existen diferencias fundamentales entre el muón y el electrón (es decir, no podemos pensar que el muón es un electrón pesado). Dentro de las similitudes encontramos que los muones son capturados en órbitas atómicas como los electrones, pero 200 veces más pesados y con órbitas 200 veces más pequeñas.

La forma en que se desintegra un muón es:

$$\mu^- \rightarrow e^- + \nu + \bar{\nu}$$

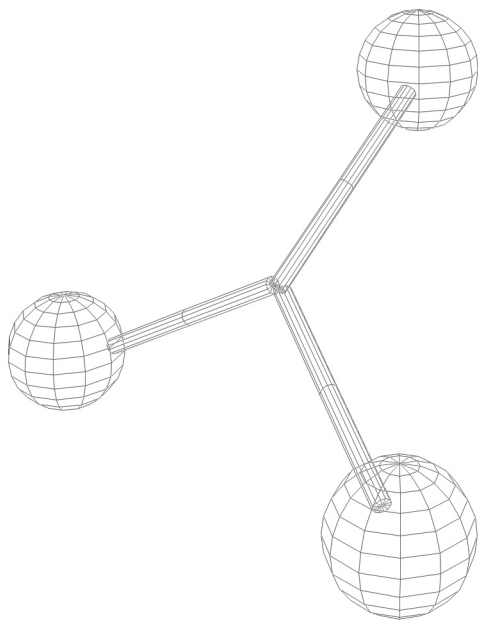
Es decir el muón se transforma en un electrón y dos neutrinos (antineutrino y neutrino)

Si el muón fuera un simple electrón pesado, entonces se desintegraría electromagnéticamente:

$$\mu^- \rightarrow e^- + \gamma$$

En otras palabras, el muón se transforma en un electrón más un fotón. Pero esta desintegración nunca se ha observado, al menos hasta los límites experimentales que son del orden de  $10^{-10}$ , es decir, si el muón decae de esta manera, su orden de magnitud deberá ser menor que  $10^{-10}$ .

Una característica común en todos los procesos que involucran leptones, es que en ellos se conserva el número leptones; esta ley de conservación es similar a la ley de conservación de la carga eléctrica, o sea, la carga eléctrica de las partículas antes y después del proceso, es la misma.



Los leptones tienen asociados diferentes números leptónicos

	$e^-$	$\nu_e$	$e^+$	$\bar{\nu}_e$	$\mu^-$	$\nu_\mu$	$\mu$	$\bar{\nu}_\mu$
$n_e$	+1	+1	-1	-1	0	0	0	0
$n_\mu$	0	0	0	0	+1	+1	-1	-1

Como se trata de leptones diferentes, esta ley de conservación se separa por clases. Dicha ley explica por qué dos neutrinos acompañan al electrón en el decaimiento del muón:

	$\mu^-$	$\rightarrow$	$\nu_\mu$	+	$e^-$	+	$\bar{\nu}_e$
Muón	+1		+1		0		0
Electrón	0		0		+1		-1

Aquí, el número electrónico para el electrón y su neutrino es diferente de cero, y su número muónico es cero, de manera ocurre para el muón.

### Modelo del quark

Con la llegada de los aceleradores de partículas cada vez más potentes, aparecieron más partículas. En 1957 ya se conocían alrededor de 30 hadrones (mesones y bariones) y para 1964 se conocían unos 80 hadrones, en la actualidad este número supera al de los elementos de la tabla periódica de Medeleiev. Por tal razón, estas partículas distan mucho de ser llamadas partículas elementales.

Al realizar experimentos de dispersión, es decir, hacer chocar electrones de muy alta energía con protones, se observó que el protón y el neutrón cuentan con una estructura interna. Entonces los físicos decidieron imponer orden al mundo subnuclear. Un primer intento fue con respecto a las masas de las partículas; como puede verse en la siguiente tabla, donde el neutrón y protón tienen aproximadamente la misma masa; para las partículas sigma ( $\Sigma$ ) ocurre lo mismo, a estas características los espectroscopistas les llaman doblete, triplete, etcétera. Cabe destacar que en el año de 1957 se creía en la existencia de la partícula “cascada neutra” ( $\Xi^0$ ), aunque ésta no se había detectado, tampoco se tenían indicios de su masa y tiempo de vida media, entre otras características.

Nombre	Símbolo	Masa (Mev)	Vida media (seg)
Protón	$p$	938	$\infty$
Neutrón	$n$	939	1050
Lambda	$\Lambda^0$	1115	$2.9 \times 10^{-10}$
Sigma neutra	$\Sigma^0$	1189	$\leq 10^{-11}$
Sigma +	$\Sigma^+$	1190	$0.7 \times 10^{-10}$
Sigma -	$\Sigma^-$	1197	$1.6 \times 10^{-10}$
Cascada -	$\Xi^-$	1321	$\leq 5 \times 10^{-10}$
Cascada neutra	$\Xi^0$	?	?

Se observó que la masa no era el mejor criterio para su clasificación, así que se tomó otro parámetro, que fue dividirlos en dos grandes grupos: las que no están sujetas a la interacción fuerte (leptones), y las que sí se ven afectadas por la interacción fuerte (hadrones).

En 1961 Murray Gell-Man usó a la teoría de grupos para entender la existencia de los supermultipletes, particularmente usó el grupo de simetría SU(3), que es el grupo de simetría de transformaciones unitarias de dimensión 3, el cual predice la existencia de supermultipletes específicos: de 1, 8 y 10 miembros. Podemos ver que la tabla anterior estaba incompleta, pues además de la cascada neutra  $\Xi^0$  faltaba otro miembro al que Gell-Man llamó la omega menos  $\Omega^-$ . Con el uso de esta teoría se predijeron sus masas, carga eléctrica, etcétera.

En 1964, en el laboratorio Brookhaven, NY., se descubrió la partícula omega menos  $\Omega^-$ . Este triunfo reforzó las ideas de la teoría SU(3) y el fortalecimiento del modelo de los quarks.

La matemática empleada por el SU(3) sugiere que los hadrones están constituidos por quarks. En un inicio, se supuso la existencia de tres quarks denominados:  $u$  (up),  $d$  (down) y  $s$  (extraño), así como sus correspondientes anti-quarks.

El quark  $u$  tiene una carga eléctrica de  $\frac{2}{3}$  la carga del electrón, y que los quarks  $d$  y  $s$  tienen una carga de  $-\frac{1}{3}$  la carga del electrón.

Así por ejemplo, el protón y neutrón están constituidos por tres quarks, es decir:

$$\text{Protón: } uud: \frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = +1 \quad \text{carga eléctrica.}$$

$$\text{Neutrón: } ddu: -\frac{1}{3} - \frac{1}{3} + \frac{2}{3} = 0 \quad \text{carga eléctrica}$$

Por ejemplo, para el decaimiento débil del neutrón se tiene que el quark “ $d$ ” decae en un quark “ $u$ ”, como se muestra a continuación:

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

$$udd \rightarrow uud + e^- + \bar{\nu}_e$$

El modelo de los quarks, basado en la teoría de grupos, ha seguido evolucionando y cosechando éxitos. Entre ellos, se puede mencionar que a través del grupo SU(3) x U(1) se logró unificar a las interacciones débiles y electromagnéticas como casos particulares de una teoría más general, conocida como el modelo estándar.

El grupo SU(5) predice que el protón es inestable y por lo tanto se desintegra. Desde hace muchos años y en diversos lugares del mundo, se han realizado experimentos para observar este fenómeno, sin que hasta la fecha se haya conseguido, sin embargo, se han propuesto nuevas alternativas. Pero, sin lugar a dudas, la teoría que prevalecerá será aquella que resista la prueba más contundente, que es la del experimento.

## Bibliografía...

- Bjorken and Drell, *Relativistic Quantum Fields*, Mc Graw Hill, 1965
- Bjorken and Drell, *Relativistic Quantum Mechanics*, Mc Graw Hill, 1964
- Close, F., *An Introduction to Quarks and Partons*, Academic Press, London, 1979
- Gell-Man, M., *Phys. Lett.* 8, 214 (1964)
- Perkins, D.H., *Introduction to High Energy Physics*, Addison-Wesley, 1982
- Romano A. P., “Teorías de Norma y Reglas de Feynman”, Tesis de Maestría, ESFM, IPN. 1991.