



MÁS ALLÁ DE MENDELÉYEV

# La Tabla de Partículas Elementales

**Kurt Bernardo Wolf**  
**Instituto de Ciencias Físicas,**  
**UNAM**  
**Miembro de la Academia de**  
**Ciencias de Morelos**

*Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos*

El pasado 24 de mayo se anunció la muerte del Dr. Murray Gell-Mann, premiado Nobel en 1969 por sus trabajos en los fundamentos de la física, cuya labor más emblemática fue participar en la conformación de la Tabla de Partículas Elementales. En estas páginas hemos escrito sobre la Tabla Periódica de Elementos Químicos de Mendeléyev [1] cuyo Año Internacional celebra la UNESCO, y sobre la Tabla de Nucleídos [2]. Estas tablas organizan, respectivamente, las propiedades atómicas y nucleares de la materia; dan sentido a las regularidades y diferencias permitiendo la explicación física de cada campo. La construcción de la Tabla de Partículas Elementales se inició a la mitad de década de los 60's y hasta hace pocos años se consideró completa. Un poco del desarrollo que me tocó atestiguar lo relataré aquí.

**Partículas "elementales" en los años 60 y el "El Camino Óctuple"**

Recuerdo el libro de Física Moderna que llevábamos en la Facultad de Ciencias de la UNAM durante los tempranos 60's. Este libro listaba en un apéndice la existencia de un puñado de partículas inestables, distintas de los bien conocidos protones y neutrones, con diversas masas, cargas eléctricas, vidas medias y nombres de letras griegas (Lambda, Sigma, Xi, pi, rho, eta,...). ¿Serían elementales o estarían compuestas, como los núcleos atómicos, por protones, neutrones, piones, electrones, u otras partículas? Como sus masas eran comparables, tendrían que ser tan elementales como los mismos protones y neutrones. (¿Qué significa que algo sea "elemental"? –realmente.) Se podrían arreglar de diferentes maneras: por carga eléctrica, por masa, por vida media, y ¿qué más? Jugando con diversos esquemas sugeridos por la teoría de simetrías, y acomodando estas partículas en los esquemas de la Figura 1, saltó a la vista de tres investigadores independientes la pista de una estructura subyacente. George Zweig los llamó "ases," Yuval Ne'eman los llamó "ladrillos SU(3)," y Murray Gell-Mann, quien inventó el nombre de "quarks" (Google lo traduce

como "cuarks" –yo no estoy de acuerdo) mientras que bautizó al esquema general como "El Camino Óctuple" (*The Eightfold Way*) tomado de una doctrina budista. Este nombre lo popularizó, fijándolo en el imaginario colectivo.

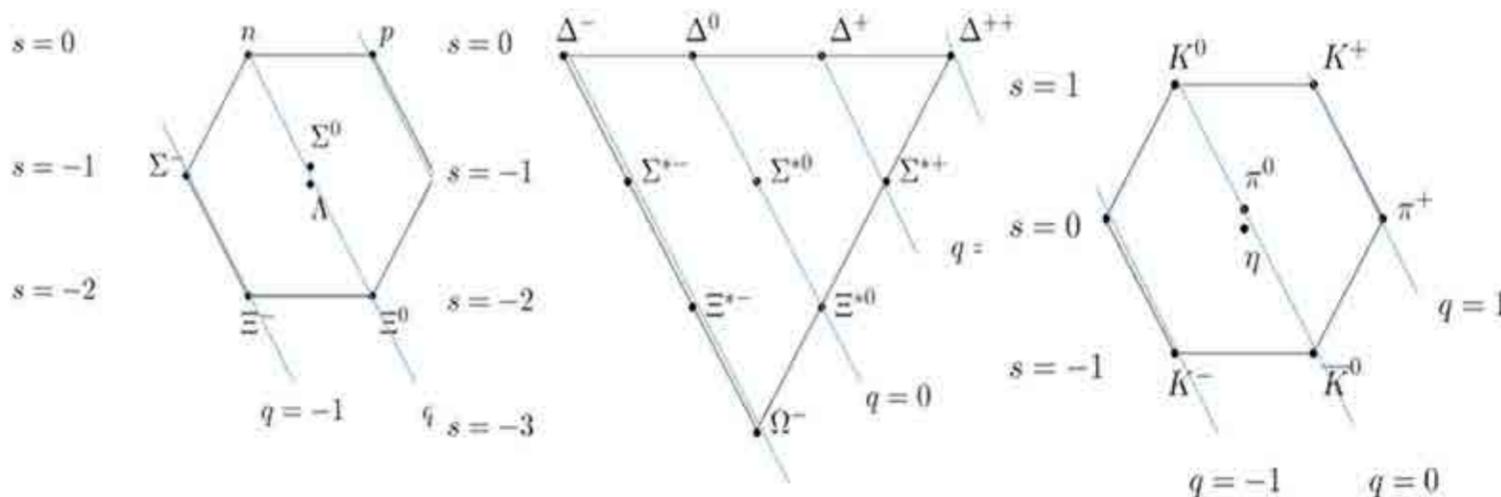
otros traían ideas y esquemas para incorporar las fuerzas elementales (la electromagnética, la 'débil' del decaimiento beta, y la 'fuerte' en los núcleos) al esquema SU(3). Cuando en 1970 terminé mi tesis con el Dr. Yuval

nes y desintegraciones *no o casi no* ocurren. La carga eléctrica se conserva rigurosamente, pero la extrañeza solamente deprime la probabilidad de que la reacción ocurra. Con este eje, Ne'eman y Gell-Mann *predijeron* la existencia de la partícula Omega-menos, en el vértice inferior del triángulo de la Figura 1; las matemáticas así *obligaban* a la física y esto detonó al campo. ¿A qué más obligaría

una tabla realmente completa?

**Construyendo el Modelo Estándar de partículas elementales**

Durante las tres décadas siguientes se consolidó lo que terminó llamándose el *Modelo Estándar* de partículas elementales en el que participaron cientos de científicos. Se escribieron literalmente decenas de



**Figura 1. El modelo SU(3) en 1965. Izquierda y centro: el octete y el decuplete de bariones. Derecha: el octete de mesones. El neutrón y el protón (n y p) aparecen arriba del primer hexágono. Las líneas diagonales unen partículas con la misma carga (q = -1, 0, 1, 2). Los renglones de las figuras indican la extrañeza (s = 0, -1, -2, -3). En el decuplete, la partícula Omega-menos fue predicha por Gell-mann y Ne'eman. Cada barión cuenta con su anti-barión (de anti-materia), con b = 1 y -1, mientras que los mesones son sus propios 'anti-mesones' con b = 0. En reacciones entre partículas se conservan rigurosamente la estadística, el número bariónico, y la carga; la violación de la extrañeza disminuye la probabilidad que la reacción ocurra. Tomada y modificada de [https://es.wikipedia.org/wiki/Camino\\_óctuple\\_\(física\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Camino_óctuple_(física))**

En 1965 comencé mis estudios doctorales de física en Israel. La tesis de licenciatura que había terminado en México bajo la dirección de Marcos Moshinsky, versaba sobre estructuras en física nuclear, en particular una simetría llamada SU(3), que usamos para modelar núcleos de Flúor-19 y Oxígeno-19, esencialmente como un carozo central de Oxígeno-16 más tres nucleones orbitando sobre él. Pensé que conociendo SU(3) sería fácil entrar en el campo de las partículas. No fue así. Este campo estaba en plena ebullición y en los institutos israelíes circulaban e invitaban a los físicos más famosos de esos años, entre ellos, varias veces, Murray Gell-Mann. Más allá de clasificar partículas por su contenido de *quarks*, lo relevante era entender sus interacciones, vidas medias, productos de decaimiento y, sobre todo, las técnicas experimentales para investigar estos procesos. Se publicaron varios "modelos" que, con un experimento adverso, podían quedar descartados. Se decía que, con cada resultado negativo del laboratorio de Brookhaven, se anulaban mil artículos de revistas científicas.

Ne'eman, sobre un tema más matemático que físico (llamado *recurrencias de singularidades en secciones de dispersión*), pude reflexionar si tendría futuro participar en un campo tan hiperactivo como el de partículas en México. Afortunadamente, decidí bajarme del carrusel y dedicarme a otros menesteres de la teoría de simetrías, prefiriendo ser "cabeza de ratón a cola de león". Sin embargo, mucho admiro (y hasta envidio) a los colegas y maestros que finalmente construyeron la Tabla de Partículas Elementales (Figura 2), a quienes he seguido a distancia. Se trata de la tabla más fundamental que tenemos sobre la estructura del Cosmos.

La Figura 1 da cuenta del estado de cosas en 1970: hay un conjunto de 8 y otro de 10 partículas llamadas *bariones* (por ser pesadas, como el protón y el neutrón), otro conjunto de 8 *mesones* (por su masa intermedia), y –no incluidos aún en ese esquema– un número aún indeterminado de *leptones* (ligeros, como el electrón y los neutrinos). Cada conjunto se caracteriza por su razón de giro (*spin*) y comportamiento estadístico; dentro de cada uno hay variedad de cargas eléctricas (negativas, neutras y positivas) y masas, que participan en interacciones de diversas maneras. Gell-Mann agregó el eje vertical a la figura y, con su costumbre de inventar nombres, lo llamó *extrañeza* (*strangeness*), que explicó por qué algunas interaccio-

**Las tres generaciones de la Materia (Fermiones)**

	I	II	III	
masa →	3 MeV	1.24 GeV	172.5 GeV	0
carga →	2/3	2/3	2/3	0
spin →	1/2	1/2	1/2	1
nombre →	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b>γ</b> photon
Quarks	6 MeV -1/3	95 MeV -1/3	4.2 GeV -1/3	0
	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom	0
	1/2	1/2	1/2	1
	<2 eV	<0.19 MeV	<18.2 MeV	90.2 GeV
	0	0	0	0
	1/2	1/2	1/2	1
	<b>ν<sub>e</sub></b> electron neutrino	<b>ν<sub>μ</sub></b> muon neutrino	<b>ν<sub>τ</sub></b> tau neutrino	<b>Z<sup>0</sup></b> fuerza débil
Leptones	0.511 MeV	106 MeV	1.78 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	±1
	1/2	1/2	1/2	1
	<b>e</b> electron	<b>μ</b> muon	<b>τ</b> tau	<b>W<sup>±</sup></b> fuerza débil

**Figura 2. Tabla de Partículas Elementales. Tabla de partículas elementales. Las tres clases de partículas elementales son los quarks, los leptones, y los bosones. Hay tres parejas de quarks; con tres quarks se forman los bariones (que se creían elementales en 1965), mientras que con un quark y un anti-quark se forman los mesones. Siguen tres parejas de leptones, cada pareja compuesta por una partícula (electrón, muón, tau) y un neutrino asociado, cuya masa es ínfima (pero no cero!). Los tres bosones son los intermediarios de fuerzas: el fotón lleva la fuerza electromagnética; el gluón (formando un octete) media la fuerza 'fuerte' de la física del núcleo atómico; el Z-W (formando un triplete) media la fuerza 'débil' del decaimiento beta. El bosón de Higgs no aparece en esta tabla, ni el más especulativo gravitón. Tomada de <https://ast.wikipedia.org/wiki/Gluon>**

# ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS, A.C.

¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTÁCTANOS: editorial @acmor.org.mx



miles de artículos en revistas de investigación mientras que decenas de laboratorios creaban equipos, sensores y técnicas, depurándose mutuamente con la predicción y constatación de resultados. Como práctica

sensores, equipo criogénico para superconductividad, técnicas de alto vacío, control de procesos y tera-cómputo, ya ha impactado la tecnología y el *saber hacer* del que crecen muchas empresas de innovación.

siempre tratamos de envolver e ilustrar los resultados científicos aquí resulta imposible: estamos hablando de objetos y propiedades que nunca fueron ni serán visibles; inesperadas aun para los más profundos filósofos.

más débil de las cuatro fuerzas naturales; tal vez exista el *gravitón*, o tal vez no. La relatividad y la mecánica cuántica han sido los dos pilares sobre los cuales se ha construido la física del siglo XX; pero se reconocen como no enteramente compatibles. Así, por ejemplo, Peter Hawking trabajó mucho el problema de la 'evaporación' de agujeros negros por emisión de partículas evanescentes. Hace justo 100 años desde que las observaciones astronómicas de Eddington durante el eclipse de 1919, validaron la relatividad general descrita por Albert Einstein; la reciente detección de ondas gravitacionales y agujeros negros parece validar enteramente esta teoría. Y también hace justo 50 años que se reconoció con el Nobel a Murray Gell-Mann por iniciar el camino óctuple para las partículas elementales. La necesaria unificación de estos dos pilares ha atraído la actividad de los siempre insatisfechos científicos, proponiendo modelos de 'cuerdas' y 'super-cuerdas,' dimensiones más altas, o universos paralelos, plasmados en cientos y cientos de artículos que, esperamos, nos lleven algún día al entendimiento cabal de cómo funciona el Universo.

por especialistas de diferentes disciplinas. Sirva este artículo para despertar su curiosidad y que nos permitan compartir con ustedes nuestro amor por los elementos y su máxima representación, la *Tabla Periódica*.

Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses convencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos. Desde la Academia de Ciencias de Morelos externamos nuestra preocupación por el vacío que genera la extinción de la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología dentro del ecosistema de innovación estatal que se debilita sin la participación del Gobierno del Estado.

## Referencias.

- [1] B. Valderrama, La química de mi vida. La Unión de Morelos 14/01/2019. <http://www.acmor.org.mx/?q=content/la-qu%C3%ADmica-de-mi-vida>
- [2] K.B. Wolf, Más allá de Mendeléyev: la Tabla de Nucleidos. La Unión de Morelos, 04/03/2019. <http://www.acmor.org.mx/?q=content/m%C3%A1s-all%C3%A1-de-mendel%C3%A9yev-la-tabla-de-nucle%C3%ADos>
- [3] El tema es amplísimo... Véase por ejemplo [https://en.wikipedia.org/wiki/Elementary\\_particle](https://en.wikipedia.org/wiki/Elementary_particle)

Agradecemos el apoyo del proyecto PAPIIT-UNAM IG100119.

El 2019 ha sido propuesto por la Organización de las Naciones Unidas como el Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos por lo que la Academia de Ciencias de Morelos ha decidido dedicarle una serie de artículos preparados

Para actividades recientes de la Academia y artículos anteriores puede consultar: [www.acmor.org.mx](http://www.acmor.org.mx)

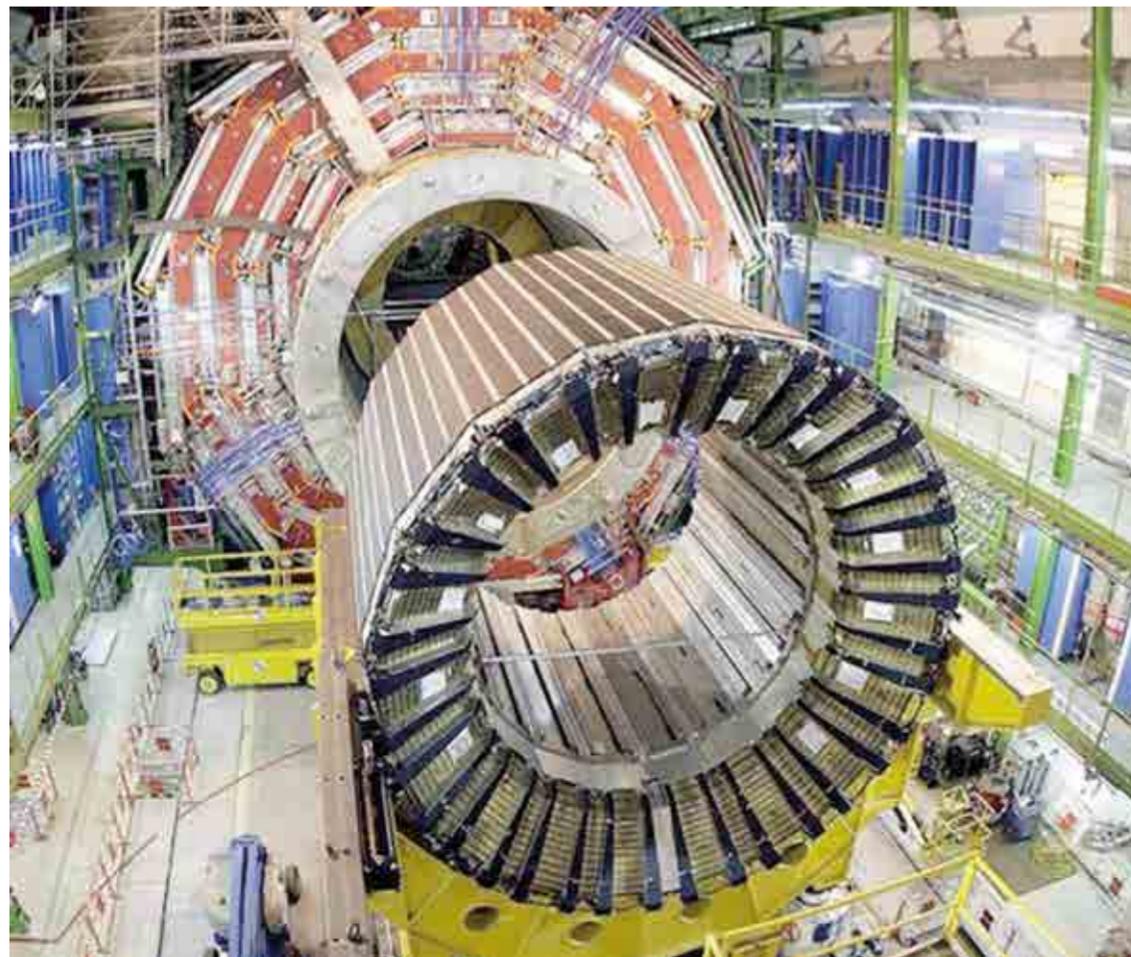


Figura 3. Uno de los cinco módulos de análisis de productos de colisión entre los haces del Gran Colisionador de Hadrones del CERN, en Ginebra. La UNAM participa en el módulo denominado ALICE. Tomada de <http://www.diariodeavisos.com/2011/12/el-gran-colisionador-de-hadrones-descubre-una-particula-nueva/>

mente la única forma de manejar partículas subatómicas es haciéndolas chocar entre sí, se construyeron aceleradores de partículas cada vez más poderosos, extendiendo la ventana para verificar fenómenos que se purifican al aumentar la energía de las colisiones.

Hoy en día contamos con el Gran Colisionador de Hadrones (*Large Hadron Collider*) en Ginebra, proyecto pan-europeo cuyo costo fue del orden de \$10 mil millones de dólares. En 2012, con el trabajo de 2 mil de los 10 mil científicos que trabajan en el proyecto, se confirmó la existencia del *bosón de Higgs*, que imparte masa a todas las demás partículas, como predicho por la teoría del Modelo Estándar. No se han encontrado trazas de partículas distintas de las ya encontradas o predichas, por lo que tenemos confianza que la Tabla de Partículas Elementales está completa. No se crea que solamente encontrar el bosón de Higgs valida el costo del aparato (en el cual México participa galantemente: véase la Figura 3). La Unión Europea reconoce que los frutos del proyecto son mucho más amplios, incluyendo el desarrollo de múltiples

¿Qué nos dice la Tabla de Partículas Elementales [3], mostrada en la Figura 2? Por principio los hadrones, bariones y mesones, ya no figuran en la Tabla; se reconocen como compuestos de tres quarks y de parejas quark-antiquark, respectivamente. Hay seis quarks con nombres propios que derivan del inglés; pueden o no usarse en otros idiomas porque son locuciones nuevas (arriba, abajo, encanto, extraño, tope y fondo, o *up, down, charm*, etc.). Después están los leptones: electrón, muón y tau, más sus neutrinos asociados; estos últimos tienen masas fantasmalmente pequeñas, pero dominan decaimientos por la conservación de sus atributos cuánticos (carga, extrañeza, estadística, etc.). Y finalmente están los bosones: el fotón que media la interacción electromagnética, los ocho gluones que materializan la fuerza 'fuerte' entre hadrones, y los tres Z-W que conducen la fuerza 'débil'. Se advierte una fundamental 'trinidad' (¿"trinidad"? en la estructura que delata una simetría SU(3) subyacente. El bosón de Higgs se podría colgar, anómalo, a la última columna o coexistir en la masa de cada una de estas partículas. La intuición con que

## Teorías que necesitan ser unificadas

¿Falta algo? Sí: la gravedad, la

**La BIOTECNOLOGÍA**  
te beneficia

Al generar soluciones industriales amigables con el medio ambiente y de menor costo. Actualmente los plásticos biodegradables sustituyen a los fabricados a partir de petróleo.

#LaBiotecnologiaTeBeneficia