



# Widda

SU ORIGEN, EVOLUCIÓN Y BÚSQUEDA EN EL ESPACIO





**Este libro no podrá ser reproducido, ni total ni parcialmente sin el previo permiso del editor. Todos los derechos reservados.**

© 2021, **Fundación Ciencias Planetarias.**

**Derechos exclusivos de edición.**

© 2021, **Editorial Montacerdos.**

**Diseño gráfico: Yohana Tapia Pilcante**

**Apoyo gráfico: Ian Campbell**

**Primera edición: octubre de 2021**

**ISBN: 978-956-9398-66-7**

**ISBN digital: 978-956-9398-73-5**

**Diagramación digital: ebooks Patagonia**

**[www.ebookspatagonia.com](http://www.ebookspatagonia.com)**

**[info@ebookspatagonia.com](mailto:info@ebookspatagonia.com)**

# Vida

SU ORIGEN, EVOLUCIÓN Y BÚSQUEDA EN EL ESPACIO



## *Prólogo*

**Hace un par de años, tres científicos nos reunimos en un extinto café del centro de Santiago para discutir sobre cómo podíamos crear un espacio para desarrollar actividades que permitiesen abordar temáticas científicas de forma integral. Y es que varios (si no todos quienes hemos tejido este libro) sentimos una especial fascinación por más de un campo de la ciencia. Además, conocemos la escasez de instancias de conexión entre la sociedad científica y la comunidad, en especial con respecto a las ciencias planetarias. Lamentablemente, los espacios para explorar de forma multidisciplinaria distintos fenómenos naturales no son tantos como se quisiera, porque suele imperar el prejuicio vinculado a ese viejo dicho “quien mucho abarca, poco aprieta”, pese a que en la actualidad muchos hallazgos importantes han sido resultado de la interacción de procesos estudiados en campos distintos.**

**A partir de esa reunión en la capital surgió la idea de crear una organización en la cual nuestros intereses pudieran desarrollarse con mayor amplitud.**

**Esta organización se llama Fundación Ciencias Planetarias y ya no solo somos tres científicos de Santiago: hoy trabajamos desde**



**distintas ciudades de Chile y el mundo, y contamos incluso con miembros que, sin ser científicos, sienten un gran interés por trabajar y hacer divulgación científica.**

**La Fundación (dentro de la cual se encuentra el capítulo chileno de The Mars Society) es una organización sin fines de lucro, cuya misión es aportar al desarrollo, extensión y difusión de las ciencias planetarias en Chile, por medio de la elaboración y ejecución de proyectos de investigación, educación y divulgación con un enfoque inclusivo y equitativo.**

**En el marco de esta misión es que hace más de un año surgió la idea de realizar un proyecto donde todos los integrantes pudiésemos participar. Esto decantó en un libro que permitiese hablar de la vida. ¿Por qué la vida? Pues bien, la Fundación está integrada por científicos de campos como la geología, geofísica, física, astronomía y medioambiente. El espectro es amplio, por lo que la temática no podía ser tan acotada: la vida es un fenómeno complejo, a veces difícil de entender, pero que despierta mucha curiosidad. Abordarla nos obligó a hablar del pasado, el presente y el futuro.**

**El libro que tienes en tus manos comienza con una introducción a los elementos químicos, su formación en el universo y su relación con los seres vivos. Luego el viaje continúa dando una mirada al sistema solar y su formación. Finalmente, aterrizaremos en el planeta Tierra**



**para conocer su geología y atmósfera.**

**¿Cómo surgió la vida? Los científicos todavía no tenemos una respuesta única al respecto. Aunque parezca sorprendente, todos los seres vivos tenemos un ancestro en común, por lo que es inevitable preguntarse cómo pasamos de ese primer ancestro a la enorme diversidad de seres vivos que existen en la actualidad. Además, si la vida es producto de una serie de condiciones en un planeta en particular, ¿existe la posibilidad de encontrar vida en otros?**

**Ahora que conoces los temas principales de este libro, ubícate en un lugar cómodo y prepárate para este viaje a través de las ciencias planetarias en busca de lo que hizo y hace posible la vida.**

## *Índice*

1.



## Eventos para la vida

LA CADENA  
QUE ORIGINA  
TODO

---

Prólogo

---

2.



## La vida se abre camino

ORIGEN DEL  
SISTEMA  
SOLAR Y  
FORMACIÓN  
PLANETARIA

---

Epílogo

---

3.



## Hogar, dulce hogar

VIAJE AL  
PLANETA  
TIERRA

---

El equipo de la Fundación  
Ciencias Planerarias

---

4.



## Lo esencial es invisible a los ojos

¿CÓMO  
INFLUYE LA  
ATMÓSFERA  
EN LA  
PRESENCIA DE  
VIDA?

---

5.



## ¿Qué es la vida?

EN BUSCA DE SU ORIGEN Y SUS LÍMITES

---

Índice temático

---

6.



## El árbol de la vida

LA DIVERSIFICACIÓN

---

Bibliografía

---

7.



## Arreglando nuestro hogar

¿DE QUÉ FORMA LA VIDA MODIFICA AL PLANETA TIERRA?

---

8.



## ¿Estamos solos?

LA BÚSQUEDA DE VIDA EN OTROS PLANETAS

---



**ESO/R. Chini. Imagen compuesta de la nebulosa Messier 17 (nebulosa Omega o nebulosa Cisne) a partir de los datos obtenidos desde el ESO's VLT o Very Large Telescope en el observatorio Paranal (Chile).**

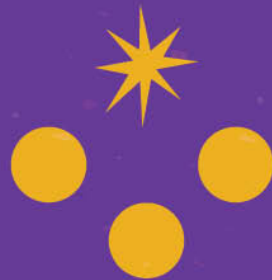


# Eventos para la vida





1



**LA CADENA QUE ORIGINA TODO**

**PAULINA VENEGAS Y LUIS VENEGAS**



**El *big bang* creó todas las partículas de nuestro universo: las que configuran estructuras masivas, como galaxias y estrellas, y las que constituyen tanto a los planetas como a las plantas. Sí, las partículas que conforman el espacio exterior no son diferentes a las de nuestro cuerpo o este libro que sostienes.**

**La historia que te quiero contar comenzó con un tiempo igual a cero ( $t = 0$ ) y actualmente alcanza la edad de trece mil setecientos millones de años. ¡Sí, 13.700.000.000 de años!**

**Describiremos el camino recorrido por las partículas elementales hasta el punto previo a formar parte de nuestra Tierra y tu cuerpo, historia que va desde la aparición de los elementos químicos primordiales — como el hidrógeno y el helio— hasta su transformación en las moléculas esenciales para la vida.**

## 1.1 Descubriendo lo fundamental

¿Han pasado mucho tiempo pensando en un problema difícil? Algunas personas nacen con la ampolleta encendida y pareciera que en poco tiempo pueden alcanzar conclusiones. A otros, un poco más distraídos, quizás nos tome un poco más comprender ciertos fenómenos.

En tiempos globalizados y con acceso a la información, el camino para resolver dudas cada día se hace más y más corto. Sin embargo, mi infancia se desarrolló en los años noventa y para contestar preguntas y tareas del colegio recurría al *Icarito* —una guía educativa que llegaba a las casas como suplemento de un diario— o a la enciclopedia que la abuelita guardaba con ternura para que sus nietos “se culturizaran”. Vengo de una familia de mineros: prácticamente todos los días escuchaba conversaciones sobre hierro, oro y plata. Es más, mi padre, mis abuelos y mis bisabuelos fueron pirquineros, por lo que desde muy pequeña me habitué a los conceptos de sondaje, ley, explotación, minerales y elementos químicos. Quizás por eso, una de las primeras preguntas capciosas que me hice fue: ¿cómo y cuándo aparecieron los elementos químicos? Tenía ocho años y si bien intuía que faltaban incógnitas por despejar, aprendí varias cosas: que con la minería se explota un recurso no renovable —una vez que se lo extrae no vuelve a formarse naturalmente— y que en todo el planeta existen yacimientos de metales (como cobre, oro y hierro), de minerales y de piedras preciosas como el lapislázuli (en Chile —la Región de Antofagasta y la Región de Atacama— y en Afganistán).

Los años pasaron y cerca de los quince por fin tuve mis primeras clases de química y física. Me ayudaron a avanzar

en busca de la respuesta. La protagonista de estos recuerdos es la famosa tabla periódica<sup>1</sup> de los elementos químicos.

Tan difícil, tan complicada, tantos números, tanta información. Quizás por eso fueron innumerables las ayudamemorias que hicimos con mi mejor amiga para el número de valencias<sup>2</sup> de cada átomo. Después de todo el esfuerzo terminamos por aprenderla de memoria. En este punto ya sabíamos que un átomo estaba conformado por partículas elementales llamadas: neutrones —que no poseen carga eléctrica—; protones —que poseen carga eléctrica positiva—; y electrones —con carga negativa—, y que todo nuestro mundo está absolutamente construido solo en base a átomos: el papel que estás sosteniendo, la pantalla de computador, tus manos, tus ojos, las estrellas, todo.

Una vez que comprendes el ordenamiento de la tabla periódica ya no parece tan difícil, y las principales deducciones a las que es posible llegar son: a) que la tabla está ordenada por número de protones del núcleo atómico y b) que este número va creciendo de uno en uno a medida que te mueves hacia la derecha. Por ejemplo, el hidrógeno es el primero de la lista porque posee 1 protón, le sigue el helio con 2 protones en la segunda posición, y así; luego, transitamos por el carbono con 6 protones o saltamos hasta el oro que tiene 79 protones en su núcleo atómico. A la cantidad de protones en un átomo se le denomina “número atómico” (Z).

A un núcleo atómico también se le puede conocer por su número de neutrones, y a ellos se les denomina isótopos (del griego *isos*: igual, *topos*: lugar). Como ejemplo, el hidrógeno posee 1 protón, mientras que su isótopo, el

deuterio, posee 1 neutrón y 1 protón; si le agregamos otro neutrón, al deuterio se le denominará tritio (de naturaleza radiactiva). El átomo de carbono, que tiene por definición seis protones y seis neutrones (#protones = #neutrones), se convertirá en isótopo cuando posea los mismos seis protones, pero con neutrones extra (por ejemplo, el átomo de carbono con un neutrón extra se convierte en carbono-13,  $^{13}\text{C}$ . Con dos neutrones extras se llama carbono-14<sup>3</sup>,  $^{14}\text{C}$ ). Estos neutrones extra cambian sus características físicas y reacciones químicas, haciéndose muchas veces inestables o de vida media-corta. Como resumen, podemos decir que: “A un elemento químico se le conoce por el número de protones y a un isótopo por el número de neutrones”.

La suma de la cantidad de protones y neutrones se conoce como “número másico” (A). En el ejemplo específico del carbono, su número másico es 12, mientras que el número másico de sus varios isótopos sería 13 (6 protones y 7 neutrones, para el carbono-13) y 14 (6 protones y 8 neutrones para el carbono-14).

En el estudio de la química y sus reacciones se utiliza una simbología para presentar información de un elemento químico y sus isotopos usando la siguiente forma:  $^A_Z\text{X}$ ; X es el elemento químico,  $Z$  es el número atómico y  $A$  es el número másico, ambos ya mencionados. También en otros textos se puede encontrar de la forma  $^A\text{X}$ , que es la que utilizaremos. Aprender sobre la tabla periódica me ayudó a reconocer y entender algunas cosas, pero al mismo tiempo introdujo nuevos enigmas. La materia estaba hecha de átomos, en un juego de electrones, protones y neutrones. Entonces, ¿es posible manipular los elementos de la

naturaleza? Recuerdo haber revisado mi tabla periódica de color amarillo para comprobar que el mercurio tenía 80 protones y que justo al lado se encontraba el oro, con 79 protones, a 1 de distancia. Si solo era cosa de agregar protones, ¿podía el humano transformar un elemento en otro? No parecía simple; mi mamá siempre nos tomó la temperatura con un termómetro de mercurio<sup>4</sup> y nunca vi que ella lo transformara en oro. Otro tipo de cosas inimaginables sí, pero mercurio en oro ¡jamás! Había algo que no estaba entendiendo.

Las respuestas no llegaron en ese preciso momento, pero algunas se desbloquearon cuando recibí de regalo un libro de astronomía básica que contenía las primeras pistas reales. Un título decía: “Cosmología: *big bang*” y luego de un par de párrafos: “Diez segundos después de la explosión... aparecieron en el mundo los núcleos de hidrógeno y helio ionizados” (Era la *Guía a los cielos de Chile*, de Jorge Ianiuszewski).

## 1.2 Las fuerzas

No fue sino gracias a mis primeras clases de física y astrofísica en la universidad que finalmente armé el rompecabezas que me había ocupado tantos años. Lo primero que aprendí en la clase de Introducción a la Física fue: ¿cómo y cuándo afloraron los elementos químicos en el universo? ¿Cómo los átomos pueden ser la base de todo? Partimos desde lo básico: los conceptos esenciales de física contemporánea. El primero de estos conceptos son las cuatro fuerzas fundamentales que rigen la naturaleza.

La fuerza nuclear fuerte es la que mantiene a protones y



neutrones unidos en las inmediaciones del núcleo atómico, siendo de corto alcance. Es, además, la causa de que logre superarse la repulsión de los protones. Si tenemos dos cargas positivas estas se van a repeler, pero la fuerza fuerte va a combatir la repulsión de las cargas enganchando a protones y neutrones en la estructura atómica, de la misma manera que si aplicas mucha fuerza podrías hacer que dos imanes de la misma polaridad se toquen entre sí.

**Legend:**

- Metales básicos
- Actinidos
- No metales
- Halógenos
- Gases nobles
- Alcalinos
- Alcalinotérreos
- Metales de transición
- Lantánidos
- Metaloides

N° Atómico		Símbolo	
00	AB	Nombre	Masa atómica
1	H	Hidrógeno	1,00794
2	He	Helio	4,002602
3	Li	Litio	6,941
4	Be	Berilio	9,012182
5	B	Boro	10,811
6	C	Carbono	12,0107
7	N	Nitrógeno	14,0067
8	O	Oxígeno	15,9994
9	F	Flúor	18,998403
10	Ne	Neón	20,1797
11	Na	Sodio	22,98976
12	Mg	Magnesio	24,3050
13	Al	Aluminio	26,98153
14	Si	Silicio	28,0855
15	P	Fósforo	30,97396
16	S	Azufre	32,065
17	Cl	Cloro	35,453
18	Ar	Argón	39,948
19	K	Potasio	39,0983
20	Ca	Calcio	40,078
21	Sc	Escandio	44,95591
22	Ti	Titanio	47,887
23	V	Vanadio	50,9415
24	Cr	Cromo	51,9962
25	Mn	Manganeso	54,93804
26	Fe	Hierro	55,845
27	Co	Cobalto	58,93319
28	Ni	Níquel	58,6934
29	Cu	Cobre	63,546
30	Zn	Zinc	65,38
31	Ga	Galio	69,723
32	Ge	Germanio	72,64
33	As	Arsénico	74,92160
34	Se	Selenio	78,96
35	Br	Bromo	79,904
36	Kr	Kriptón	83,798
37	Rb	Rubidio	85,4678
38	Sr	Estroncio	87,62
39	Y	Itrio	88,90585
40	Zr	Zirconio	91,224
41	Nb	Niobio	92,90638
42	Mo	Moolibdeno	95,94
43	Tc	Tecnecio	(98)
44	Ru	Rutenio	101,07
45	Rh	Rodio	102,9055
46	Pd	Paladio	106,42
47	Ag	Plata	107,8682
48	Cd	Cadmio	112,404
49	In	Indio	114,818
50	Sn	Estaño	118,710
51	Sb	Antimonio	121,760
52	Te	Telurio	127,60
53	I	Yodo	126,9044
54	Xe	Xenón	131,293
55	Cs	Cesio	132,9054
56	Ba	Bario	137,327
57	La	Lantano	138,9054
58	Ce	Cerio	140,116
59	Pr	Praseodimio	140,9078
60	Nd	Neodimio	144,242
61	Pm	Prometio	(145)
62	Sm	Samario	150,36
63	Eu	Europio	151,964
64	Gd	Gadolinio	157,25
65	Tb	Terbio	158,9253
66	Dy	Disprosio	162,500
67	Ho	Holmio	164,9303
68	Er	Erbio	167,259
69	Tm	Tulio	168,9342
70	Yb	Iterbio	173,054
71	Lu	Lutecio	174,9668
72	Hf	Hafnio	178,49
73	Ta	Tantalio	180,9478
74	W	Wolframio	183,84
75	Re	Renio	186,207
76	Os	Osmio	190,23
77	Ir	Iridio	192,223
78	Pt	Platino	195,084
79	Au	Oro	196,9665
80	Hg	Mercurio	200,59
81	Tl	Talio	204,3833
82	Pb	Plomo	207,2
83	Bi	Bismuto	208,9804
84	Po	Polonio	(210)
85	At	Astato	(210)
86	Rn	Radón	(220)
87	Fr	Francio	(223)
88	Ra	Radio	(226)
89	Lr	Lutecio	(262)
90	Th	Torio	(232,038)
91	Pa	Protactinio	(231,036)
92	U	Uranio	(238,0289)
93	Np	Neptunio	(237)
94	Pu	Plutonio	(244)
95	Am	Americio	(243)
96	Cm	Curio	(247)
97	Bk	Berkelio	(247)
98	Cf	Californio	(251)
99	Es	Einsteinio	(252)
100	Fm	Fermio	(257)
101	Md	Mendelevio	(258)
102	No	Nobelio	(259)
103	Lr	Lutecio	(262)
104	Rf	Rutherfordio	(261)
105	Db	Dubnio	(262)
106	Sg	Seaborgio	(266)
107	Bh	Borio	(264)
108	Hs	Hassio	(269)
109	Mt	Mitnerio	(268)
110	Ds	Darmstadtio	(271)
111	Rg	Roentgenio	(272)
112	Cn	Copernicio	(285)
113	Nh	Nihonio	(284)
114	Fl	Flerovio	(289)
115	Mc	Moscovio	(288)
116	Lv	Livermorio	(293)
117	Ts	Teneso	(291)
118	Og	Oganesson	(294)

La fuerza electromagnética es la manifestación de la interacción de cargas eléctricas. Las cargas en movimiento dan origen a la fuerza magnética, mientras que su segunda manifestación es la fuerza electrostática: la atracción y repulsión de partículas cargadas eléctricamente en reposo —dos cargas de igual signo se repelen y cargas eléctricas distintas se atraen— es aquella que logra unir átomos y moléculas por medio de cargas eléctricas. Podemos

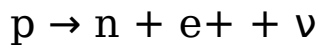
determinar su magnitud, dirección y sentido por medio de la ley de Coulomb “La fuerza eléctrica entre dos objetos cargados ( $q_1$ ,  $q_2$ ) es directamente proporcional al producto de sus cargas puntuales e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas”.

Existen ciertos materiales que están predispuestos a cargarse positivamente, como la lana, el pelo, la mica o el papel. Otros se cargan negativamente, como el teflón y la goma. Quizás alguna vez has sentido los efectos de la fuerza electrostática: por ejemplo, si tomas un globo y lo frotas contra un abrigo de lana y luego lo acercas a tu cabeza, lo más probable es que el pelo se vea atraído hacia el globo. Al friccionar el globo con la lana traspasaste cargas eléctricas entre ellos, dejando que el globo quedase cargado negativamente y pudiera así atraer tu cabello. Esta es la fuerza que hace que nuestro mundo tenga la forma<sup>5</sup> que tiene, pues rige el comportamiento de átomos y moléculas.

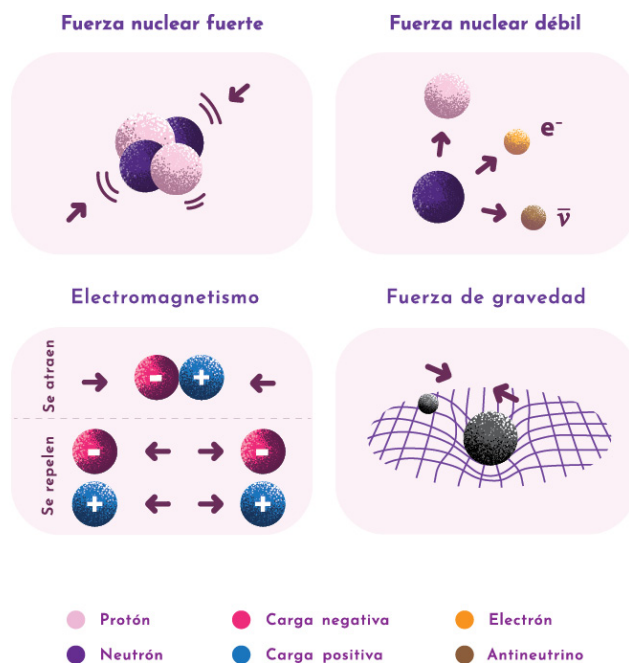
La fuerza nuclear débil es de corto alcance, más intensa que la fuerza gravitatoria y menos intensa que la fuerza nuclear fuerte y la fuerza electromagnética. Se manifiesta solo en el núcleo atómico y es responsable de la inestabilidad del núcleo, haciendo que este se desintegre o decaiga en otras partículas. El decaimiento beta ( $\beta$ ) es un efecto fascinante que se debe a la descomposición de un protón ( $p$ ) del núcleo atómico, convirtiéndolo en un neutrón ( $n$ ). Para que la transformación se realice se debe conservar la energía del sistema, por lo que, acompañado de esta metamorfosis, se crea en ese preciso momento de reacción un par positrón<sup>6</sup> ( $e^+$ ) neutrino<sup>7</sup> ( $\nu$ ).

El proceso puede ser protagonizado también por un neutrón que decae en protón, liberando al sistema un

electrón y un antineutrino<sup>8</sup> ( $\bar{\nu}$ ) (ver la figura 4).



La fuerza gravitatoria se muestra ante nosotros como la deformación del espacio y el tiempo —o, más precisamente, espacio-tiempo— en la interpretación de la teoría general de la relatividad de Albert Einstein (1879-1955). Esta fuerza hace que todas las masas en el universo se atraigan unas con otras debido a la deformación del espacio-tiempo.



**Figura 2.** Fuerzas fundamentales: fuerza fuerte, fuerza débil, fuerza electromagnética, fuerza de gravedad (deformación del espacio-tiempo).

¿Cómo funciona esta deformación? Imagina una bolita de vidrio y una bola pesada de metal, ¿cuál pesa más? O mejor dicho, ¿cuál “masa” más? Ahora, imagina que colocamos cada bolita sobre una malla plástica plana que

sostenemos en el aire, ¿cuál deforma más el espacio? Así es, la bola de metal. Y si colocamos ambas esferas en la misma malla, ¿cuál de las dos caerá en la deformación que genera la otra sobre la malla? La pequeña, ¿cierto? Esto ocurre como en el sistema solar, donde el Sol es la gran bola de metal y los planetas las bolitas de vidrio.

Este efecto es el responsable de que podamos convivir posando nuestros pies en la tierra, al mismo tiempo que lo hacen rusos, australianos y chinos, y observar el cielo en direcciones opuestas. De seguro ya has escuchado hablar de ella en su forma clásica (no la del doctor Einstein, sino más bien de la física newtoniana) conocida como la ley de gravitación universal de Newton: “La fuerza de gravedad entre dos masas ( $m_1$ ,  $m_2$ ) es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas”.

Es la fuerza que siempre existe entre dos partículas y, además, depende de  $G$ <sup>9</sup> (constante de gravitación universal). En palabras simples, y a nivel macroestructural, es la fuerza con que la Tierra nos atrae hacia ella —aquella que provoca que todos los planetas, estrellas y galaxias se atraigan entre sí—; pese a su enorme relevancia, de todas las fuerzas fundamentales es la menos intensa y la de mayor alcance.

Aunque hayas pensado que se me había ido la onda, la verdad es que quise hablarte de las fuerzas para que pudieras entender y explorar la naturaleza de los átomos y de nuestro entorno, es decir, el mundo en que vivimos. Esta será la base para comprender los siguientes capítulos.

Esas clases de primer año de universidad fueron, sin lugar a dudas, un trampolín para saltar a muchos otros temas interesantes, como el día en que se habló sobre las

familias de partículas, fermiones<sup>10</sup> y bosones<sup>11</sup>. ¡¿Qué?! ¿Por qué familias? ¿No eran acaso electrones, protones y neutrones las partículas que constituían la materia, todas ellas elementales e indivisibles? ¡Pues no! En el colegio se me había contado otra historia sobre los átomos. Esto era un mundo nuevo e irreal.

## 1.3 Las familias

Los fermiones y bosones son familias de partículas subatómicas. A la humanidad le tomó más de un siglo poder caracterizarlas y observarlas, desde el descubrimiento del electrón en 1897 por J. J. Thomson (1856-1940), a través de la experimentación con tubos de rayos catódicos<sup>12</sup>, pasando por los años dorados de la mecánica cuántica (1900-1930), hasta la década de 1960 y las primeras teorías sobre la existencia de partículas subatómicas que podrían constituir la materia, teorías desarrolladas independientemente por Murray Gell-Mann (1929-2019) y George Zweig (1937-). Y cuando digo partículas subatómicas me refiero a aquellas tales como los quarks<sup>13</sup>, de la familia de los fermiones observados por primera vez en experimentos realizados entre 1967 y 1973 a través del acelerador de partículas Stanford Linear Accelerator Center (SLAC, ahora llamado SLAC National Accelerator Laboratory). Otras partículas de suma importancia han sido detectadas recientemente, como el bosón de Higgs en 2012, mediante el gran colisionador de hadrones<sup>14</sup> (LHC, o Large Hadron Collider, operado por la Organización Europea para la Investigación Nuclear, CERN).

Los fermiones son partículas subatómicas

fundamentales que se dividen en dos clases: leptones y quarks. Cada clase consta de seis partículas, conformando un linaje de doce partículas fermiónicas en total. Los leptones son como los niños de esta familia, poseen poca masa y su exponente más popular es el electrón ( $e^-$ , con carga eléctrica negativa). Otros similares al electrón en masa y comportamiento son el muon ( $\mu$ ), el tau ( $\tau$ ), el neutrino electrónico ( $\nu_e$ ), el neutrino muónico ( $\nu_\mu$ ) y el neutrino tauónico ( $\nu_\tau$ ).

De los quarks podríamos decir que son madres y padres de la familia. Poseen una masa mayor que los leptones y, cuando se agrupan, pueden dar nacimiento a partículas más grandes, tales como protones y neutrones (hadrones). A los quarks se les identifica como: arriba (u), abajo (d), encanto (c), extraño (s), cima (t) y fondo (b); estupendos nombres para estas partículas que además se acompañan de sus antipartículas.

Un protón está constituido siempre por los quarks arriba-arriba-abajo (uud), mientras que un neutrón es siempre arriba-abajo-abajo (udd). Ya les conté que los neutrones se podían convertir en protones y los protones en neutrones. La razón: gracias a la fuerza fuerte, un quark puede cambiar de identidad de arriba-abajo o viceversa, sin dejar el grupo de tres al que pertenece.

Los fermiones interactúan por medio de las cuatro fuerzas de la naturaleza y son los constituyentes de la materia. Poseen carga eléctrica y número cuántico<sup>15</sup> de espín semientero:  $1/2$ ,  $3/2$ , etcétera, obedeciendo al llamado principio de exclusión de Pauli. Antes de continuar recordemos que los números cuánticos nos proveen una descripción de la naturaleza de los electrones o, mejor

dicho, la probabilidad de encontrar un electrón en una zona del espacio, por medio de cuatro valores denominados números cuánticos. El primer número cuántico es el número cuántico principal ( $n$ ), el que nos indica si el electrón se encuentra cerca o lejos de su núcleo atómico (1 muestra el nivel de energía más cercano al núcleo); el número cuántico secundario ( $l$ ) señala la forma que tiene el orbital u órbita, es decir, la región probable en que se encontraría a un electrón alrededor de su núcleo. El orbital más simple es una zona esférica y la que le sigue es una zona con forma de alas de mariposa; a partir del segundo orbital sus formas son cada vez más complejas. El siguiente número es el número cuántico magnético ( $m_l$ ), que nos indica la orientación del electrón en la órbita: en el caso donde la órbita describe una esfera solo puede tener una única orientación en un plano tridimensional, pero para la órbita en forma de mariposa las orientaciones son tres, a lo largo de los tres ejes de un plano tridimensional ( $x, y, z$ ); dicho esto, podemos inferir que el valor del número magnético está influenciado por el número secundario; por último, el número de espín ( $m_s$ ) indica la dirección de giro en su propio eje y puede tomar valores de  $1/2$  y  $-1/2$  (que indican sentido de rotación horario o antihorario).

Para representar el principio de Pauli podemos imaginar que somos fantasmas transparentes. Ahora que eres fantasma, entrelaza tus manos hasta dejarlas unidas en el mismo lugar del espacio físico. ¿Puedes? ¡Claro! ¡Pero solo en tu imaginación! Porque ni en la realidad humana ni en la mecánica cuántica lograrías que tus manos ocupen el mismo espacio y se superpongan. Es imposible. Esto es precisamente lo que Pauli indicó usando electrones: dos electrones no se pueden superponer si sus números



cuánticos son idénticos.

Los bosones son como los abuelos: conforman un núcleo familiar distinto, siguen otras reglas dentro de la casa, pero siempre en contacto con sus hijos, buscando la forma de mantener integrada a la familia dando un mensaje de unidad. A los bosones se les conoce como las “partículas mensajeras”, pues envían mensajes desde las fuerzas de la naturaleza a las partículas de materia para que actúen acorde al campo. El bosón gluón, proveniente del inglés *glue*, que significa pegamento, es la partícula de la fuerza nuclear fuerte que se contacta con los quarks para que estos siempre se mantengan unidos.

Otra partícula bosón es el fotón, que carece de masa y es la mensajera de la fuerza electromagnética, encargada de la interacción con los átomos. Los bosones Z y W son las partículas intermediarias de la fuerza débil, y son de los bosones más masivos. El bosón W está presente en el cambio de identidad de los quarks: en otras palabras, bosones en la transformación de un protón a neutrón y viceversa. Si resumimos, podemos decir que una de las partículas mensajeras de la fuerza débil es el bosón W, el que interactúa durante el proceso de decaimiento de un neutrón en protón más un electrón y un antineutrino.