

1. CONSTITUCION INTIMA DE LA MATERIA.
2. MESA REDONDA: ASPECTOS MEDICOS Y FARMACOLOGICOS DEL DOPING Y SU INCIDENCIA EN EL DEPORTE CHILENO
3. MESA REDONDA: SOBRE CONTAMINACION AMBIENTAL Y SALUD.

La constitución íntima de la materia

por *Hernán Chávez**

Lo que va transcurrido de este siglo ha puesto a prueba constantemente nuestra capacidad de asombro. Grandes teorías han impulsado grandes avances tecnológicos y a su vez la tecnología ha obligado muchas veces a las mentes a buscar nuevas explicaciones. Un tema que siempre nos ha apasionado es el de la constitución de la materia. Trataré de resumir aquí lo básico del conocimiento a este respecto en los últimos 80 años.

Recordaremos algunas preguntas muy antiguas y que han mantenido su vigencia en la evolución del saber: ¿Qué es la materia?... ¿Cuál es el último fragmento de materia individualizado? Trataremos de responderlas y agregaremos otras interrogantes más recientes como: ¿Qué es la antimateria?... ¿Cuál es el constituyente más pequeño conocido?

La materia viva nos permite fijar un marco de referencia desde el punto de vista de las dimensiones. Las células y bacterias tienen tamaños que varían entre 0,2 y 10 micrones; los componentes celulares y los virus entre 10 y 100 Angstrom. Las proteínas tienen dimensiones de alrededor de 100 Å y los aminoácidos alrededor de los 10 Å... y hemos llegado a los límites de la espectroscopía electrónica. Bajo estos límites entramos a las dimensiones del átomo, donde el conocimiento inicial se ha obtenido mediante el estudio de las líneas espectrales por los átomos en ignición.

EL ATOMO

A pesar de que el mundo científico del siglo XIX aceptó la idea de que los elementos estaban formados por átomos, su conocimiento era muy escaso.

Al descubrirse el electrón con su carga y masa Thompson elaboró en 1898 el primer modelo de átomo, "el pan de pascua", donde la masa del pan sería positiva y las pasas negativas, en total la materia se mantiene neutra. Pero, Rutherford en 1911 descubre el núcleo mediante la dispersión de partículas alfa y elabora otro modelo: un núcleo positivo y electrones girando a su alrededor para contrarrestar la atracción (modelo solar). ¡Sin embargo, este modelo es imposible!... mediante la teoría electromagnética se puede demostrar que toda partícula cargada sometida a movimiento acelerado irradia, es decir, pierde energía, esto significa que el electrón caería sobre el núcleo destruyéndose la materia. ¡Según los cálculos esto ocurriría en un cien milonésimo de segundo! Algo parecido ocurre con los planetas que pierden energía constantemente conforme se desplazan sobre sus órbitas, de modo que año a año sus órbitas empequeñecen levemente y con el tiempo tendrán que caer hacia el sol... Por lo tanto en el caso atómico deberá existir algo que impida la pérdida de energía de los electrones y el consecuente colapso.

En 1913 se solucionaron estas dificultades cuando Niels Bohr dio una interpretación cuántica al átomo. A comienzos de siglo Planck había

*Depto. de Física y Matemáticas Fac. de Ciencias Químicas y Farmacológicas, U. de Chile.

esbozado la novedosa idea: si la materia se presenta en pequeños conjuntos entonces con la energía podría ocurrir lo mismo y presentarse en pequeños conjuntos de energía o "cuantos". Esto significa que la energía existe en pequeñas unidades, cabe una pregunta: ¿Cómo es que no se habían dado cuenta antes? Ocurre que estos paquetes de energía son tan pequeños que sólo se pueden detectar a escala atómica. Esta maravillosa idea ha permitido dar explicación razonable a muchos fenómenos cuyas descripciones llenan las bibliotecas de química, física y biología del mundo. De partida permitió explicar la naturaleza de la luz al exponer Einstein que ésta se transmite en paquetes de luz o cuantos de luz llamados fotones con una energía dada por $E = hf$, donde h es la llamada constante de Planck y f es la frecuencia de la radiación. Este fotón en principio misterioso se fue conociendo mejor en la medida que se desarrolló la espectroscopía y la teoría cuántica de la materia, así por ejemplo se sabe que su masa es cero pero que es atraído por campos gravitatorios. Todo esto ha sido puesto a prueba teórica y experimentalmente. Otro gran logro de la idea de los cuantos fue justamente la idea de átomo de Bohr: el electrón giraría en el átomo de hidrógeno describiendo órbitas con energías dadas por $E = -Rh/n^2$, donde R es una constante (Rydberg), h es la constante de Planck y n es un número entero llamado cuántico. Esto unido a la relación $E = hf$ permite describir las principales líneas espectrales producidas por el hidrógeno al quemarse. Lamentablemente este modelo describe bien sólo los átomos hidrogenoideos y el avance de las técnicas espectroscópicas fue poco a poco dejando en descubierto muchas debilidades del modelo.

En este camino de progreso en la descripción del átomo, hombres como Schrödinger, de Broglie, Heisenberg, Born, Fermi, Dirac y muchos otros han contribuido al conocimiento íntimo de la materia actual. Así aceptamos hoy día que el electrón se puede encontrar en ciertas zonas del espacio, estas son zonas donde "probablemente" se encuentre. Aquí las ideas nuevas se suceden y otra vez se pone a prueba nuestra capacidad de asombro. En estas dimensiones el concepto de partícula cambia en lo que debe ser una de las más grandes teorías de este siglo: el electrón tiene un comportamiento dual entre onda y partícula. Esto que en principio parece una idea esotérica fue demostrando experimentalmente por Davisson y Germer el año 27. Pero esta "partícula" según Heisenberg proporciona una información

limitada: si se especifica dónde se halla en un instante, no se le puede conocer su velocidad; o por el contrario si se le disparara a una cierta velocidad, no se podrá especificar con exactitud su posición (Principio de incertidumbre). Estas limitaciones podrían desanimar a cualquiera, pero a pesar de ello se han podido describir las zonas preferenciales de este electrón en torno al núcleo: los orbitales atómicos.

Tenemos entonces una situación de gran simetría, por una parte el fotón que tiene un comportamiento onda-partícula y, por otra parte, el electrón con su comportamiento partícula-onda.

EL NUCLEO

Tenemos que la situación alrededor de 1930 para el átomo comprendía un núcleo cargado positivamente de protones que se habían descubierto en 1911. Sin embargo no todo estaba aclarado, puesto que la masa del núcleo no siempre es directamente proporcional a la carga del mismo y los elementos pesados tienen mucha más masa que la calculada con los protones. Por lo tanto deberán existir otras partículas que acompañen a los protones. James Chadwick en 1932 aclaró esta situación al descubrir una partícula que se llamó neutrón por no tener carga y el cual tiene casi la misma masa que el protón. Sólo el hidrógeno no tiene neutrones. Con este descubrimiento se abrieron las insospechadas puertas del núcleo y así quedó demostrado cuando Enrico Fermi disparando neutrones sobre elementos químicos hizo realidad la vieja fábula de los alquimistas "la transmutación". Este hombre, que explicara el decaimiento beta y la emisión del neutrino (una nueva partícula), aclaró al mundo algo impresionante: como partiendo de un elemento puede obtenerse otro. Desde entonces los fenómenos de fisión y fusión del núcleo pertenecen al bagaje cultural del hombre contemporáneo. La fisión más típica es la del Uranio al ser impactado por un neutrón en lo que constituye un reactor nuclear.

La fusión es decir la unión de átomos ligeros es más difícil de realizar debido a la repulsión electrostática, en este proceso se produce más energía que en la fisión. Dos átomos de hidrógeno se pueden juntar para formar un átomo de helio y la energía para unirlos se puede obtener a altas temperaturas. El descubrimiento de este hecho ha permitido explicarse la evolución de los elementos químicos. El hidrógeno pesado se convierte en helio en el sol lo cual ocurre también en las otras estrellas jóvenes. Con el tiempo el sol, en su mayor parte se convertirá en helio

y ésta será una estrella más caliente donde los núcleos de helio podrán chocar para formar carbono, y luego oxígeno, silicio, etc. Los límites para la formación de elementos están dados por su capacidad de romperse (fisión) dando una energía tremenda. Es así que el elemento plutonio sintetizado por Fermi ha sido el avance más dramático de este siglo, por una parte está el gran contenido del logro humano de fabricar un elemento químico y por otra parte las devastadoras consecuencias de la bomba de plutonio en Nagasaki.

LAS ANTIPARTICULAS

Con el descubrimiento de las dos partículas del núcleo se llegó a una etapa muy importante en el conocimiento de la materia. Se pensó por lo tanto que era una etapa final. ¡La química se reducía de 92 elementos a sólo tres partículas elementales! En base a estos tres constituyentes se podrían comprender estos elementos y todos los elementos transuránicos obtenidos más tarde.

La idea de haber llegado a una etapa final duró poco. Poco antes de 1932 Dirac había elaborado una teoría satisfactoria para explicar el comportamiento del electrón con su spin (cantidad de giro sobre sí mismo) y como resultado anexo predijo algo inesperado: deberían existir electrones positivos (positrones). Poco después se detectaba experimentalmente y sin lugar a dudas el electrón positivo en la radiación cósmica que impacta la superficie de la tierra. El positrón fue el primer ejemplo de antimateria descubierta.

La idea de antipartícula procede del hecho de que ésta se anula al chocar con su correspondiente partícula. Así el electrón se anula con el positrón y el resultado del choque es un par de fotones (luz) los cuales no tienen carga ni masa y su spin es uno. Es interesante acotar que el fenómeno inverso también ocurre en la naturaleza, es decir, la materialización de un par electrón-positrón a partir de luz de energía suficiente (formación de pares). Esto se produce, por ejemplo, cuando los rayos gamma llegan a un núcleo atómico y corresponde a uno de los mecanismos por los cuales se produce daño biológico: el rayo gamma se transforma en electrón en el organismo (célula) y el electrón desencadena reacciones de formación de radicales libres, los cuales son altamente destructivos.

Un principio muy general es que a toda partícula conocida o por conocerse, le corresponde una

antipartícula que tiene la misma masa y generalmente el mismo spin. Si la partícula es cargada entonces la antipartícula tiene la carga opuesta. En general los números cuánticos de las partículas y antipartículas coinciden en valor absoluto. Hay casos en que la partícula y antipartícula son la misma cosa como el fotón y el pión neutro.

Tenemos entonces que al electrón le corresponde el positrón, al protón el antiprotón, al neutrón el antineutrón, etc. Muchas otras antipartículas han sido detectadas experimentalmente. Entonces para obtener un anti-átomo de hidrógeno deberá juntarse un antiprotón con un positrón para que se desplace a su alrededor; esto podría extenderse a los átomos más complicados y luego éstos formarían anti-moléculas... y luego componentes celulares... y luego células, etc.

Si esto se puede aplicar siempre. ¿Por qué no nos enfrentamos con antimateria en nuestra experiencia diaria? La respuesta está en que si las tres partículas básicas (electrones, protones y neutrones) se ponen en contacto con sus respectivas antipartículas dan lugar a una energía radiada en forma de explosión. Así se han originado muchas especulaciones sobre la existencia de planetas en otras galaxias formados exclusivamente de antimateria, estos serían análogos a los conocidos... hasta ahora las observaciones no permiten negar que esto pueda ocurrir. Según las investigaciones astronómicas en todo el sistema planetario, incluyendo al sol, los átomos están formados de protones positivos, electrones negativos y neutrones ordinarios. Menos segura es la afirmación para todas las estrellas y materia interestelar de la vía láctea. Pero, ¿qué ocurre en las otras miles de millones de galaxias, alejadas de nuestra Vía Láctea millones de años-luz? Por ahora no hay respuesta.

En los últimos 50 años se han descubierto cientos de partículas y la situación actual vuelve a ser complicada. Las novedades provienen del núcleo atómico, en la tabla adjunta se muestran las características de algunas partículas elementales corrientes.

La diferencia entre neutrino y antineutrino es particularmente interesante. La única diferencia entre ellos es el sentido del spin (cantidad de giro propio), así suponiendo que ambos se mueven hacia la derecha uno giraría a favor del movimiento y el otro al revés, algo así como una rueda y una antirueda en un movimiento hacia la derecha. Se verificó que esto se podía cumplir solamente si la masa del neutrino era cero resolvién-

Tabla				
Leptones	Masa en reposo	Vida media(s)	Spin	Antipartícula
electrón (e ⁻)	1	estable	1/2	e ⁺
neutrino-e (ν _e)	0	estable	1/2	$\bar{\nu}_e$
neutrino u (ν _u)	0	estable	1/2	$\bar{\nu}_u$
mesón u (μ ⁻)	207	1,5 x 10 ⁻⁶	1/2	μ ⁺
<i>Hadrones</i>				
neutrón (n)	1839	6,5 x 10 ²	1/2	\bar{n}
protón (p)	1836	estable	1/2	\bar{p}
mesón π (π ⁺)	273	1,8 x 10 ⁻⁸	0	π ⁻
mesón π (π ⁰)	264	7 x 10 ⁻¹⁷	0	π ⁰
mesón K (K ⁺)	966	8 x 10 ⁻⁹	0	K ⁻
hiperón Ω (Ω ⁻)	3276	~ 10 ⁻¹⁰	3/2	$\bar{\Omega}^+$
FOTON (γ)	0	estable	1	γ

dose así un problema experimental difícilísimo cual era la medida de esa masa.

Otra partícula de interés general es el mesón. En 1935 H. Yukawa predijo que partículas llamadas mesones, de mayor peso que los electrones, intervienen en las fuerzas nucleares. De acuerdo a esta teoría los mesones rodean como una nube a un nuevo núcleo y dan lugar a lo que se conoce como protón o neutrón. Estos mesones pueden ser neutros o con carga. ¡El modelo atómico se repite a escala menor! Las fuerzas que actuarían entre un neutrón y otro, y entre un protón y otro, son el resultado del intercambio de mesones neutros entre ellos. ¡Este mesón actúa parecido al fotón! Doce años después de formulada esta teoría se detectaron experimentalmente estas partículas. Actualmente se les llama piones o mesones pi. La detección sólo se pudo hacer luego que aceleradores de partículas poderosos suministraran grandes energías a las partículas para así producir piones. Por otra parte, los piones duran muy poco (7 x 10⁻¹⁷ seg) por lo que sólo se pudo hacer las mediciones en 1950. Como se puede ver en la tabla los piones resultaron ser tres: el positivo, su antipartícula y el neutro.

Poco a poco se han descubierto más y más partículas. A las partículas relacionadas directamente con las fuerzas nucleares se les llama Hadrones ¡Y son cientos! A las partículas que no participan en las interacciones nucleares se les llama Leptones (por ej.: el electrón, los neutrinos y otra partícula llamada muón. El fotón forma una categoría por sí solo.

LOS QUARKS

Los hadrones o partículas pesadas y los leptones o partículas livianas han recibido el nombre de partículas elementales. Hasta el momento se acepta que los leptones y los fotones sean partículas elementales... sin embargo, los hadrones se comportan como sistemas compuestos. En 1964 se llegó a la necesidad teórica y experimental de que los hadrones estarían formados por tres elementos que se llamaron quarks (u, d y s). Estos cuentan con sus correspondientes antiquarks. La situación es parecida a la que se presentó al reducir la tabla periódica a las tres partículas fundamentales: electrón, protón y neutrón. Ahora un protón resulta constituido de los quarks u, u y d; por otro lado el neutrón sería u, d y d, etc.

Hemos visto que la comodidad de pensar que todo está resuelto es fugaz. El año 1970 a raíz del desarrollo de la teoría de los quarks se llegó a la necesidad de la existencia de un cuarto miembro (c). Como las partículas conocidas se podían explicar con sólo los tres primeros quarks, era necesario que existiera una nueva partícula y efectivamente en el año 1974 ésta se descubrió, es bastante más pesada que el protón, es muy estable y está formada teóricamente por un c y un anti-c. Esta partícula se descubrió en dos laboratorios al mismo tiempo, en uno se les llamó partícula J y en el otro ψ, actualmente es conocida como partícula J/ψ.

Todo esto ha continuado, y se han seguido presentando evidencias de nuevos quarks. Hasta

1976 habían 6 y en 1977 se descubrió una nueva partícula (Upsilon)... ¿Y luego?

A los quarks no se les ha dado características de partículas elementales sino que de constituyentes. No se ha detectado un quark libre, lo cual sí se ha hecho con las llamadas partículas elementales. El problema que ha surgido en los últimos años es cómo se mantienen unidos los quarks, es así como se ha postulado la existencia de otros constituyentes llamados gluones (glue = pega-

mento) las cuales los mantendrían unidos. Todo esto está en manos de los físicos teóricos y experimentales y pasará algún tiempo antes que cambiemos nuestro concepto de materia. La naturaleza nos está enseñando que siempre mantiene secretos, y a pesar del progreso de nuestro siglo en el conocimiento íntimo de la materia nadie podría predecir lo que ocurrirá en los 20 años que restan de este siglo.