

SOBRE LA ESTRUCTURA DE LA MATERIA: ¿DEMOCRACIA SUBNUCLEAR O PARTICULAS ELEMENTALES?

José L. Torres Hernández

Departamento de Física. Universidad Michoacana
Morelia, Michoacán. México

(recibido octubre 8, 1981; aceptado junio 25, 1982)

RESUMEN

Se revisan y comparan hipótesis históricamente importantes sobre estructura de la materia, enfatizando sus raíces filosóficas y su relación con las dos corrientes actualmente dominantes.

ABSTRACT

Historically relevant hypotheses on the structure of matter are reviewed and compared, emphasizing their philosophical roots and their connection with the two dominant points of view nowadays.

PROLOGO

El presente ensayo contiene un estudio comparativo de las hipótesis más importantes que sobre la estructura de la materia se han propuesto a través de la historia, y de las suposiciones e implicaciones filosóficas asociadas con estas hipótesis. Está dividido en cinco secciones:

- I. Introducción
- II. La hipótesis de democracia subnuclear
- III. Democracia subnuclear y filosofía occidental
- IV. Democracia subnuclear y filosofía oriental
- V. Comentarios

Las dos primeras secciones describen nuestras ideas actuales sobre la estructura de la materia, y pueden leerse de manera selectiva como "diccionario" de apoyo de las tres últimas, que es donde se lleva a cabo el estudio comparativo aludido.

Dos son actualmente las ideas principales sobre estructura de la materia. De acuerdo con una de ellas, existen entes aun más básicos que protones, neutrones y demás partículas "subnucleares". De acuerdo con la otra, no existe tal nivel más básico que el subnuclear: con él hemos llegado por fin al término de la búsqueda de los componentes primordiales de las substancias. Esta última es la hipótesis de "democracia subnuclear".

Las implicaciones de estas dos proposiciones son vastas, y van más allá de la física. La primera de ellas deja abierta la posibilidad de que la búsqueda de los componentes primarios no termine nunca: pasamos de cuerpos macroscópicos a moléculas, átomos, electrones y núcleos, partículas subnucleares, y a otro nivel más básico del cual los llamados "quarks" forman parte. Esto vuelve natural considerar desde ahora la estructura interna de los quarks, y así sucesivamente. La otra hipótesis nos dice, por el contrario, que la naturaleza se organiza a partir del nivel subnuclear, cuyas partículas nos muestran su elementalidad de manera por demás sutil: siempre que queramos "romper" una de ellas, obtendremos otras similares.

La primera hipótesis apunta hacia una riqueza cualitativa aparentemente infinita en la estructura microscópica de la materia. La segunda, hacia el agotamiento de una de las fuentes de inspiración más fértiles en la historia intelectual del hombre: la exploración minuciosa de la estructura de la materia.Cuál de ellas resultará triunfadora, si esto sucede, es una cuestión que se decidirá basándose principalmente en información experimental. Sin embargo, cualquiera que sea la posición emergente, tendrá repercusiones importantes en las demás ramas del conocimiento, sobre todo la biología y las ciencias sociales, dado el papel de ciencia pionera que históricamente ha desempeñado la física.

El primer punto de vista entre los dos mencionados resulta más familiar, pues abierta o implícitamente es el preferido en la mayoría de los libros, por razones principalmente históricas. Debido a esto la otra corriente, democracia subnuclear, será enfatizada en cierta medida en la primera parte del ensayo.

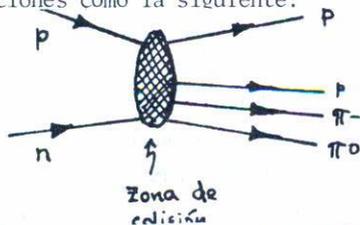
I. INTRODUCCION

Una técnica experimental para esclarecer la estructura de un objeto consiste en dividirlo, estudiar las partes resultantes, y dividir las a su vez, si es posible. Este ha sido el procedimiento empleado en los estudios experimentales sobre estructura de la materia a través de miles de años: se dividieron piedras y gotas de agua, se dividieron las partes resultantes, y se repitió el proceso tantas veces como pareció posible hacerlo. Basados en esta experiencia, los antiguos propusieron dos hipótesis contrarias: según algunos la materia tenía estructura continua, y el proceso de división de partes podía continuarse indefinidamente; según otros, la estructura de la materia era discreta, y no podía continuarse el proceso de división de sus partes más allá de ciertos constituyentes elementales, sus "átomos".

Un ingrediente totalmente nuevo en el estudio de la estructura de las substancias se hizo evidente a partir de la primera década de este siglo: para dividir a las partes más pequeñas de la materia, se necesita perturbarla (golpearla) cada vez más fuertemente. Específicamente,

se necesita hacer chocar unas partes con otras a energías más y más elevadas. J.J. Thomson (1856-1940) necesitó solamente de choques moderadamente violentos entre átomos (de acuerdo con la concepción actual), para observar que estos átomos liberaban electrones⁽¹⁾; produjo los choques simplemente elevando la temperatura de las sustancias en unos cientos de grados, por medio de una corriente eléctrica. Lord Rutherford⁽²⁾ (1871-1937) tuvo que bombardear sustancias con partículas alfa de energías mucho más elevadas para concluir que el átomo contenía una zona eléctricamente negativa de tamaño 10^{-8} cm aproximadamente, y un núcleo positivo de alrededor de 10^{-13} cm de diámetro. Se requirieron energías aún más elevadas⁽³⁾ para comprobar que los núcleos expelían protones, neutrones y otras partículas al tratar de "romperlos" por medio de colisiones. A partir de la década de los 30's se observaron colisiones en la radiación cósmica y en ciclotrones, en las que las partículas involucradas poseían energías cinéticas mayores que su energía de masa en reposo (obtenida por medio de la fórmula de Einstein, $E=mc^2$). En los aceleradores modernos se imparten a las partículas a ser usadas en colisiones energías miles de veces mayores que las asociadas con sus masas en reposo⁽⁴⁾.

Del estudio de estas colisiones energéticas, se esclareció gradualmente una característica inesperada de los fenómenos a energías elevadas: las "partes" resultantes no son en general más "pequeñas" que las partículas originales. El tamaño de estas partículas no se refiere a su extensión en el espacio, que es una propiedad difícil de definir⁽⁵⁾. Se refiere más bien a la magnitud de sus propiedades intrínsecas, tales como la masa, carga eléctrica, carga fuerte, carga débil, número bariónico y otras que se mencionarán más adelante. Así, por ejemplo, se observan reacciones como la siguiente:



donde p es el protón, n el neutrón y π es el pión.

Esta reacción parecería indicar que el neutrón "está compuesto" de un protón, un pión negativo y un pión neutro, o sea, que estas tres últimas partículas son más elementales que el neutrón. Sin embargo, existen varias dificultades con esta interpretación:

- (i) Las propiedades de las "partes" no son todas más pequeñas que las del "todo" (el neutrón):

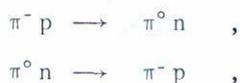
Propiedad Partícula	masa	carga eléct.	spin (Z)	iso- spin (Z)	# bariónico	# leptón- nico
n	1.1	0	$\pm \frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	1	0
p	1	1	$\pm \frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$	1	0
π^-	0.14	-1	0	-1	0	0
π^0	0.13	0	0	0	0	0

- (ii) Se observan también las siguientes reacciones:

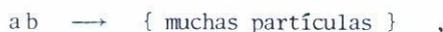


La primera reacción parecería indicar que entre el protón y el neutrón éste último es más "elemental", pues el protón se "desintegró" en tres partículas: n, π^+ , π^0 . La segunda reacción implicaría que es el protón la partícula más básica entre ambas, pues el neutrón se desintegró dando un protón más otras partículas. La tercera implicaría, de acuerdo con el mismo criterio de desintegración, que el π^- se "fraccionó" dando dos π^- 's, idénticos a él mismo, y un π^+ adicional.

(iii) Se observan también reacciones como



donde las partículas iniciales y resultantes intercambian sus papeles, por lo que resulta imposible decidir cuáles son más elementales. Se observan además reacciones del tipo



donde a y b son partículas arbitrarias y "muchas partículas" significa decenas o cientos de ellas, entre las cuales pueden o no aparecer las iniciales a y b.

Estas dificultades hacen muy problemática la clasificación de las partículas de acuerdo con su mayor o menor "elementaridad", pues siempre que existen reacciones interpretables como la desintegración de una partícula en otras más elementales, podemos observar otras reacciones donde las partículas supuestas más elementales se desintegran para dar a la original entre sus "constituyentes". Una manera de enfrentar estas dificultades es por medio de la hipótesis de "democracia sub-nuclear", que será descrita en la sección II.

El panorama actual sobre la estructura de la materia, el cual ha ido emergiendo progresivamente durante las cuatro últimas décadas, es el siguiente:

- Existen partículas constitutivas de los cuerpos macroscópicos, sus moléculas; las propiedades físicas y químicas de estos cuerpos macroscópicos dependen de los tipos de moléculas que contienen, y de la forma en que estas moléculas están arregladas en el espacio (formando cristales, sólidos amorfos, líquidos, gases).
- Las moléculas están constituidas por alrededor de cien tipos distintos de "átomos", que son moléculas que no pueden descomponerse en otras más ligeras por medios químicos (o sea, en colisiones de baja energía, menor que 0.1 eV)⁽⁴⁾. Estos átomos son las partículas constitutivas de los llamados elementos químicos. Las moléculas contie-

nen desde uno hasta millones de átomos (como en el caso de algunas moléculas orgánicas; hemoglobina, por ejemplo).

- Los átomos contienen electrones, protones y neutrones. Los electrones se encuentran en un volumen de radio aproximadamente 1 Angstrom (10^{-8} cm), y los protones y neutrones se encuentran en una zona mucho menor, de alrededor de 1 Fermi (10^{-13} cm) de diámetro, en el centro del volumen electrónico. Los electrones pueden separarse de estos átomos en choques con energías en el rango aproximado de 1 a 1000 eV. Para separar protones y neutrones de los núcleos se requieren energías de colisión del orden de 10^6 eV (= 1 MeV).
- Existen partículas inestables que decaen produciendo partículas estables, que son los protones, electrones, neutrinos y fotones, y sus antipartículas (a ser definidas más adelante). Estas partículas inestables generalmente se producen en choques con energías del orden de 10^9 eV, o mayores. Las partículas inestables, junto con los productos estables de sus decaimientos, reciben el nombre de partículas sub-nucleares. Sus tiempos de decaimiento varían en un rango enorme: de 10^{-23} segundos (partícula p, por ejemplo), a varios minutos (en el caso del neutrón). Las partículas sub-nucleares se identifican por medio de ciertas propiedades, cuyos valores numéricos reciben el nombre de "números cuánticos". Estas propiedades son: masa (o carga gravitacional), carga eléctrica, carga fuerte, carga débil, spin, iso-spin, número bariónico, número leptónico, extrañeza y otras. Por ejemplo:

Propiedad Partícula	m	q	s	I	B	L	P	S
Fotón (γ)	0	0	1	0	0	0	-1	0
Protón (p)	1	+1	$\pm \frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$	1	0	+1	0
Anti-protón (\bar{p})	1	-1	$\pm \frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	-1	0	-1	0
Electrón (e^-)	0.5×10^{-3}	-1	$\pm \frac{1}{2}$	0	0	1	+1	0
Positrón (e^+)	0.5×10^{-3}	+1	$\pm \frac{1}{2}$	0	0	-1	-1	0
PiÓN (π^+)	0.14	+1	0	1	0	0	-1	0
KaÓN (k^-)	0.49	-1	0	$+\frac{1}{2}$	0	0	-1	+1

La notación en la tabla anterior es la siguiente:

- m = masa
- q = carga eléctrica
- s = spin (componente "z")
- I = iso-spin (componente "z")
- B = número bariónico
- L = número leptónico
- P = paridad
- S = extrañeza

- Correspondiendo a cada partícula, existe otra cuyos números cuánticos tienen todos el mismo valor absoluto y el signo opuesto, excepto por la masa, que siempre es positiva. A esta última partícula ha dado en llamársele "anti-partícula" de la primera. Ejemplos de pares partícula - antipartícula: electrón - positrón, protón - antiprotón, π^+ - π^- , etc.
- Las partículas subnucleares reaccionan entre sí cuando están cerca unas de otras (o sea, en colisiones). En estas reacciones se conservan ciertas propiedades, sin excepción conocida: energía y momentum, momento angular, carga eléctrica, número bariónico y número leptónico. Las demás propiedades son conservadas en algunas reacciones y no en otras, lo que da lugar a una clasificación de las interacciones en fuertes, electromagnéticas y débiles, de acuerdo con las propiedades conservadas en cada caso:

Propiedad ¿conser- vada? Interacción	(E, \vec{p})	\vec{J}	B	L	I	P	S
Fuerte	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Electromagnética	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí
Débil	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	No

Aquí (E, \vec{p}) es la energía y el momentum y \vec{J} el momento angular total.

Ejemplos de reacciones:

$$\begin{array}{l}
 \text{(a) } \pi^- p \rightarrow \pi^0 n \quad , \\
 \left. \begin{array}{l}
 \text{iso-spin inicial} = -1 + \frac{1}{2} = -\frac{1}{2} \\
 \text{iso-spin final} = 0 - \frac{1}{2} = -\frac{1}{2}
 \end{array} \right\} \text{ se conserva} \quad , \\
 \left. \begin{array}{l}
 \text{paridad inicial} = (-1)(+1) = -1 \\
 \text{paridad final} = (-1)(+1) = -1
 \end{array} \right\} \text{ se conserva} \quad .
 \end{array}$$

Se puede demostrar que las demás propiedades se conservan. La reacción es fuerte.

$$\begin{array}{l}
 \text{(b) } \pi^0 \rightarrow 2\gamma \quad , \\
 \text{iso-spin inicial} \left\{ \begin{array}{l} \text{componente "z"} = 0 \\ \text{total} = 1 \end{array} \right. \quad , \\
 \text{iso-spin final} \left\{ \begin{array}{l} \text{componente "z"} = 0 \\ \text{total} = 0,1 \end{array} \right. \quad .
 \end{array}$$

No se conserva el iso-spin. Se conservan las demás propiedades. Interacción (o decaimiento) electromagnética.

$$\begin{array}{l}
 \text{(c) } \Lambda \rightarrow p\pi^- \quad , \\
 \left. \begin{array}{l}
 \text{iso-spin inicial} = 0 \\
 \text{iso-spin final} = +\frac{1}{2} - 1 = -\frac{1}{2}
 \end{array} \right\} \text{ no se conserva} \quad , \\
 \left. \begin{array}{l}
 \text{extrañeza inicial} = -1 \\
 \text{extrañeza final} = 0
 \end{array} \right\} \text{ no se conserva} \quad .
 \end{array}$$

Examinando los cambios de las demás propiedades listadas en la tabla anterior se llega a la conclusión de que el decaimiento de la partícula Λ se debe a una interacción débil.

- Existen partículas que sólo pueden tener interacciones electromagnéticas y débiles: los leptones (electrones, muones, neutrinos, la recientemente descubierta partícula τ y sus antipartículas). Existen partículas que pueden tener interacciones fuertes, electromagnéticas y débiles: los hadrones (protones, neutrones, piones, etc.).
- Además de las interacciones fuertes, electromagnéticas y débiles, existen las gravitacionales, no incluidas en la tabla anterior porque hasta ahora se han estudiado sólo entre cuerpos macroscópicos (planetas, piedras, etc.), no entre partículas subnucleares.
- Se piensa que la estructura y comportamiento microscópico de la materia dependen de las tres primeras interacciones mencionadas, y que la

estructura global del cosmos (su tamaño, distribución de galaxias, etc.), está determinada principalmente por la interacción gravitacional.

- La estabilidad del protón se ha puesto en duda últimamente debido a predicciones de ciertas teorías que le asignan una vida media del orden de 10^{32} años⁽²⁷⁾. Además, si los experimentos que indican una masa del neutrino distinta de cero resultan ser correctos⁽²⁸⁾, entonces seguramente se tendrá que esta partícula también es inestable, decayendo o reaccionando con su antipartícula para dar lugar a fotones. Las consecuencias de la inestabilidad del protón y de la masa del neutrino serían extraordinarias: prácticamente toda la masa del universo está en forma de protones; si éstos son inestables el cosmos evolucionará hacia un estado final de radiación electromagnética sin planetas, estrellas, ni galaxias. Si el neutrino realmente tiene una masa del orden de 14 eV como se propone, entonces hay suficiente masa en el universo como para "cerrarlo" gravitacionalmente: su expansión actual terminará eventualmente e iniciará un período de contracción hasta un volumen probablemente nulo.

El problema fundamental

Los puntos anteriores no están sujetos a controversias importantes, pues contienen evidencia esencialmente experimental. Esto no implica, sin embargo, que la evidencia se haya entendido y organizado en términos de un esquema teórico. Los nombres de algunas propiedades de las partículas, extrañeza por ejemplo, no podrían ejemplificar mejor la actitud de los investigadores ante la aparentemente arbitraria danza de rostros y valores de los atributos de las partículas. ¿Por qué el electrón y el protón tienen cargas eléctricas de exactamente la misma magnitud y opuestas? ¿A qué corresponden los números bariónicos y leptónicos que hoy empleamos como se usaban las "valencias" en las reacciones químicas, cuando aún no se sabía que en realidad correspondían a cargas eléctricas? ¿Por qué el neutrón tiene masa tan parecida a la del protón? ¿Por qué el protón parece ser estable y el neutrón no lo es? ¿Por qué el electrón tiene masa 0.5 eV, y no 0.6 eV, por ejemplo?

Todas éstas, y muchas más, son preguntas en espera de respues-

tas. Una espera que se prolonga ya por casi medio siglo. Definen juntas el problema fundamental sobre la estructura de la materia, como se le entiende en la actualidad:

- (a) ¿Cuántas partículas sub-nucleares existen?
- (b) ¿Cómo calcular sus propiedades intrínsecas (masa, carga eléctrica, número bariónico, etc.)?
- (c) ¿Cómo calcular las amplitudes de colisión entre estas partículas?

II. LA HIPOTESIS DE DEMOCRACIA SUBNUCLEAR

Basado en evidencia experimental similar a la descrita en la Introducción (aunque mucho más escasa), Heisenberg⁽⁶⁾ propuso en 1943 la hipótesis de que, a nivel subnuclear, no hay partículas más elementales que otras: cualquiera de ellas debe poder obtenerse de colisiones entre cualesquiera de las demás, teniendo en cuenta las leyes de conservación. Esta es la hipótesis de "democracia subnuclear", y de acuerdo con ella la milenaria búsqueda de los componentes elementales de la materia termina en el siglo XX, en el nivel subnuclear: siempre que se trate de investigar la estructura interna de partículas subnucleares, los "componentes" encontrados serán a su vez partículas subnucleares, entre las cuales generalmente se encontrarán algunas idénticas a las originales.

Esta hipótesis ha encontrado al correr del tiempo diversos adherentes, quienes le han dado distintas formas. Uno de los primeros, y tal vez el más persistente, es G.F. Chew, quien propuso su hipótesis llamada de "bootstrap"⁽⁷⁾, de acuerdo con la cual las propiedades de todas las partículas subnucleares que interaccionan fuertemente deben poder obtenerse a partir de características muy generales de sus colisiones: covariancia relativística, causalidad, unitaridad, cruzamiento y dualidad⁽⁸⁾.

Hagedorn⁽⁹⁾ propuso otra versión de esta idea en una serie de artículos publicados durante los años 60's. De acuerdo con él, cada partícula subnuclear es una "bola de fuego" (fireball) que contiene en su interior a todas las partículas (o bolas de fuego) posibles. De acuerdo con su esquema, una partícula dada se distingue de las demás por la particular y específica distribución de bolas de fuego que contiene en su

interior. Además, postula que el conjunto de todas las distribuciones de bolas de fuego internas admisibles da lugar al conjunto de las partículas observables. Dada una bola de fuego, define una temperatura de la misma y propone una distribución interna de bolas de fuego que es función de sus masas y de esta temperatura.

Frautschi⁽¹⁰⁾ adoptó la idea de Hagedorn y propuso distribuciones de bolas de fuego interiores que dependen sólo de sus masas. Lo mismo que Hagedorn, sus distribuciones son del tipo exponencial: $p(m) \sim m^\alpha e^{-\beta m}$, con la diferencia de que no define una temperatura para la bola de fuego externa. En la expresión anterior $p(m)$ es el número de partículas interiores con masas cercanas a m , y α y β son constantes positivas.

La hipótesis de democracia subnuclear gozó de gran popularidad entre los físicos durante los años 50's y 60's, y el interés sobre ella ha disminuido un poco durante la última década, en la que ha cedido terreno a una manera distinta de estudiar y clasificar a las partículas. De acuerdo con esta última manera, digamos tradicional, de clasificar partículas, sólo una fracción de ellas son realmente elementales (quarks, leptones, fotones, gluones y bosones pesados⁽¹¹⁾), y las demás resultan de combinaciones de estas partículas básicas. De acuerdo con esta clasificación, el electrón es una partícula elemental, y el protón no lo es, pues resulta de la unión de tres quarks.

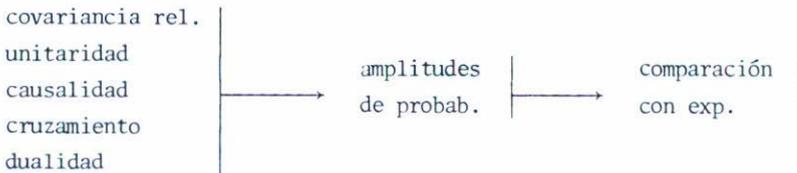
La diferencia fundamental entre estas dos teorías estriba en que, al considerar a todas las partículas subnucleares al mismo nivel, "democracia subnuclear" implica que el mismo método con el que puedan calcularse las propiedades (masa, carga eléctrica, etc.) e interacciones de una de ellas, debe ser adecuado para calcular las propiedades e interacciones de todas las demás partículas. Las propiedades de todas ellas, al ser obtenibles dentro del mismo esquema de cálculo, no pueden ser independientes ni arbitrarias. Por el contrario, la otra hipótesis, que llamaremos "de partículas elementales" de aquí en adelante, implica que, aunque las propiedades e interacciones de las partículas compuestas son calculables a partir de las de sus correspondientes partículas constitutivas, las masas y otras propiedades de las partículas básicas son parámetros arbitrarios, no calculables. Aun cuando se relacionen entre

sí algunas propiedades de partículas básicas distintas (por ejemplo, isospin, extrañeza y carga eléctrica de los quarks en el esquema de clasificación $SU(3)^{(4)}$), otras propiedades, entre ellas sus masas, se aceptan como cantidades independientes y arbitrarias, a ser determinadas por métodos experimentales.

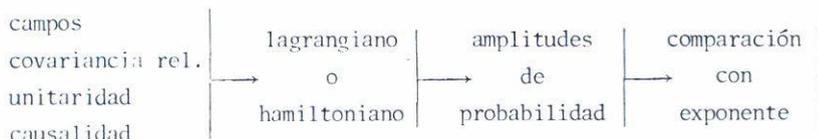
Este es el criterio que se empleará en lo que sigue para decidir sobre la similaridad de una hipótesis dada sobre partículas con las ideas modernas: si las propiedades de estas partículas se suponen relacionadas entre sí, diremos que la hipótesis es congruente con "democracia subnuclear"; si estas propiedades se suponen independientes y arbitrarias, diremos que la hipótesis es más cercana a "partículas elementales".

Existe además una diferencia importante en los métodos de investigación teórica empleados: aunque las dos corrientes aceptan los postulados de la mecánica cuántica, en el sentido de que sólo podemos calcular probabilidades de eventos y no trayectorias de partículas, estas probabilidades se construyen de maneras muy distintas en los dos esquemas. Los adherentes de la hipótesis de democracia subnuclear inventan directamente las amplitudes basándose en propiedades muy generales de los eventos de colisión que desean explicarse. Estos requerimientos generales ya fueron mencionados anteriormente: covariancia relativística, unitaridad, causalidad, cruzamiento y, más recientemente, dualidad. En cambio, en el esquema de partículas elementales se construyen las probabilidades requeridas utilizando campos⁽¹¹⁾ como entes auxiliares, no directamente observables; con estos campos se construye una función (el lagrangiano o el hamiltoniano), y a partir de esta función se calculan las amplitudes de probabilidad. Esquemáticamente:

(a) Democracia subnuclear:



(b) Partículas elementales



Ninguno de los esquemas propuestos hasta la fecha es completamente satisfactorio. Por un lado, todas las amplitudes de probabilidad inventadas basándose en democracia subnuclear son correctas sólo en rangos muy restringidos de energía de colisión, o para un número limitado de colisiones. Por otro lado, las teorías de campos propuestas hasta la fecha son tan complicadas que, con excepción de electrodinámica cuántica (que es una teoría restringida a las interacciones entre electrones y fotones), relativamente pocas de sus predicciones experimentales se han comparado con el experimento, por lo que es imposible concluir sobre su validez o invalidez de manera definitiva. En particular, las masas de las partículas compuestas requieren de cálculos tan intrincados que ninguna de ellas ha sido calculada numéricamente con la aproximación adecuada.

Las dos corrientes teóricas descritas (democracia subnuclear y partículas elementales) se han considerado generalmente como diametralmente opuestas. Sin embargo, en opinión de Heisenberg⁽⁶⁾, aun esta última corriente conduce a democracia subnuclear. Su argumento se basa en que, aun si existen quarks como partículas "básicas", y de sus colisiones podemos obtener a las demás partículas, de colisiones entre partículas compuestas debemos poder obtener quarks, con lo que volveríamos a tener "democracia". Entonces, la aparente no observabilidad de quarks aislados estaría estrechamente ligada con su carácter "aristocrático" entre las partículas subnucleares.

III. DEMOCRACIA SUBNUCLEAR Y FILOSOFÍA OCCIDENTAL

"Filosofía Occidental" comprenderá en nuestro caso las ideas propuestas sobre el origen y la estructura de la materia por filósofos del Oriente Medio, Europa y América. Esta definición geográfica es con-

veniente porque, históricamente, ha habido flujo y reflujo de ideas entre las dos primeras regiones; América es incluida en el grupo porque a partir del siglo XVI ha sido un apéndice de Europa desde el punto de vista filosófico.

Filosofía egipcia, babilónica y hebrea

Es muy difícil comparar nuestras ideas sobre la estructura de la materia con las de estos filósofos. Lo anterior se debe a que, aunque sus cosmogonías están perfectamente definidas⁽¹²⁾, en términos de un caos original (primordial, en Egipto y Babilonia; creado, en la Biblia), del cual se formó o fue creado un orden (el cosmos) en el que el hombre es uno de los caracteres postreros, poco se ocuparon estos pensadores de los detalles de estructura de este caos original o del orden posterior, más allá de decir que tenía carácter líquido ("océano original"), sólido ("la primera colina", "la tierra firme"), seco o mojado. Además, las discusiones sobre el tema no fueron propiamente filosóficas, i.e., sujeto de argumentación, sino religiosas, o sea, basadas en entes divinos y presentadas como dogma.

Filosofía griega

La mayor parte de las discusiones actuales sobre el origen, características y estructura de la materia fueron iniciadas por filósofos griegos. Es tal la riqueza de corrientes y caracteres que será conveniente llevar a cabo las comparaciones a través de ideas representativas⁽¹³⁾:

(i) Hipótesis de un continuo como base primordial

Esta idea, inspirada de seguro en la aparentemente infinita divisibilidad de sólidos y líquidos cuando se les examina por medios puramente mecánicos, tuvo muchos adeptos. La escuela de Mileto postulaba un solo elemento primordial: según Tales (~ 640-547 A.C.), este elemento era agua; según Anaxímenes (? - 525 A.C.), aire; de acuerdo con Anaximandro (~ 610-546 A.C.), este elemento o primer principio era "lo ilimitado", aunque no abunda sobre su localización o transformabilidad. Otros pensa-

dores, como Filolao (~450 A.C.) y Empédocles (~482-422 A.C.), postulaban cuatro elementos —fuego, aire, agua y tierra— como los componentes de todas las substancias que conocemos. De acuerdo con Aristóteles (384-322 A.C.), existen cinco elementos primordiales: los cuatro anteriores, más el "éter". Según los estoicos (Zenón de Citio (336-264 A.C.), Crysipo (281-208 A.C.)), existen cinco elementos: los cuatro antes mencionados, más "pneuma", substancia que permea todo el cosmos y contribuye a dar cohesión al agua y a la tierra; a través del pneuma se propagan las señales y las interacciones por todo el universo, el cual responde a los estímulos o perturbaciones esencialmente como un organismo.

Aunque en estas teorías no se considera la existencia de partículas para explicar la estructura de la materia, se pueden hacer aun algunas comparaciones con las ideas actuales. Así, de acuerdo con Anaxímenes, aire es el elemento primordial; sin embargo, por un proceso de condensación progresiva de este aire se obtienen agua, tierra y piedras; de su rarefacción se obtiene el fuego, y el resto de la materia resulta de la unión de estos elementos. Por lo tanto, sus ideas pueden re-expresarse diciendo que existen cinco elementos (fuego, aire, tierra, agua y piedras), los cuales son todos equivalentes, en el sentido de que pueden transmutarse entre sí por medio de condensaciones y rarefacciones. Hay por lo tanto "democracia" entre los elementos primordiales. De acuerdo con los otros pensadores, los elementos primordiales son independientes, por lo que sus propiedades no están relacionadas; esto aleja sus ideas de la hipótesis actual de democracia subnuclear.

Anaxágoras (~499-428 A.C.) merece consideración aparte, pues de manera muy explícita y enfática postuló la infinita divisibilidad de todos los cuerpos: "...De la misma manera que el oro está constituido de polvo de oro, el mundo es un agregado de cuerpos minúsculos, las partes de los cuales son como el todo..."; "...No hay una parte más pequeña de lo que es pequeño, sino siempre hay algo más pequeño..." Por supuesto, estas ideas son opuestas a democracia subnuclear y a partículas elementales, pues las dos implican que el proceso de subdivisión no puede continuarse indefinidamente.

(ii) Hipótesis atómica

Según los propugnadores de esta idea, Leucipo (~450 A.C.), Demócrito (~400 A.C.), Platón (428-384 A.C.), Epicuro (341-271 A.C.), Lucrecio (96-55 A.C.), el proceso de subdivisión de los cuerpos termina cuando se alcanza el nivel de sus "átomos". Según Demócrito, Epicuro y Lucrecio, existe una variedad infinita de átomos, distinguiéndose unos de otros por su tamaño, su peso y su forma (cóncavos, convexos, lisos, dentados, etc.). Esta idea es opuesta a democracia subnuclear, y aunque se acerca bastante a la hipótesis actual de partículas elementales, no coincide exactamente con ella, pues requiere de una variedad infinita de átomos. La hipótesis actual lleva implícito el requerimiento de que el número de partículas elementales debe ser finito (y razonablemente pequeño, dadas nuestras limitaciones de cálculo).

El atomismo de Platón es diferente del anterior, pues considera un número finito de átomos distintos (cuatro: átomos de fuego, aire, agua y tierra). Además, la característica fundamental de estos átomos es su forma geométrica: tetraedro, cubo, octaedro e icosaedro, para los átomos de fuego, tierra, aire y agua, respectivamente. Sus ideas son entonces muy cercanas a las actuales sobre partículas elementales, y totalmente opuestas a democracia subnuclear.

Este método de Platón, de caracterizar a los átomos no por medio de imágenes y analogías, sino matemáticamente, es extremadamente interesante, pues lo relaciona por un lado con la escuela pitagórica (según la cual los "primeros principios" deben describirse por su carácter matemático -numérico-), y por otro lado con el método de trabajo de la mayoría de los físicos modernos que se dedican al estudio de la estructura de la materia. Este método de trabajo puede describirse someramente como una extrema abstracción y matematización de los conceptos empleados en la construcción de modelos, ya sea que estén basados en la hipótesis de democracia subnuclear, o en la de partículas elementales. Basta examinar ejemplares de las últimas décadas de revistas de investigación sobre estructura de la materia y cosmología, para convencerse de que en grado cada vez mayor los físicos operan de manera congruente con los preceptos tan claramente expuestos por Dirac en su famoso libro "The Princi-

ples of Quantum Mechanics"⁽¹⁴⁾: "...Las nuevas teorías, si se les juzga aparte de su expresión matemática, están construidas a partir de conceptos físicos que no pueden explicarse en términos de cosas conocidas previamente al estudiante, que no pueden siquiera explicarse adecuadamente con palabras... La matemática es la ciencia especialmente adaptada para tratar con conceptos abstractos de cualquier tipo, y no hay límite a su poder en este campo... Por esta razón un libro sobre la nueva física, si no es una simple descripción de trabajo experimental, debe ser esencialmente matemático... Hay que remarcar que el objeto principal de la ciencia física no es proveer imágenes, sino formular las leyes que gobiernan los fenómenos, y aplicar estas leyes para descubrir nuevos fenómenos... La justificación del esquema total depende, aparte de su consistencia interna, del acuerdo de los resultados finales con el experimento..."

La matematización del trabajo de investigación en física que ha resultado de esta nueva forma del "método científico" es tan profunda, que algunos investigadores han manifestado recientemente su preocupación ante la posibilidad de que este trabajo de investigación llegue a convertirse en un ejercicio puramente matemático, correcto pero irrelevante⁽¹⁵⁾.

Es conveniente señalar aquí que, siendo la física la ciencia modelo para todas las demás, dado su mayor grado de evolución, esta matematización de la física implicará seguramente en el futuro una estructura similar en las demás ciencias. La biología exhibe ya en cierta medida esta matematización, y la misma tendencia es observable en las ciencias sociales. Por supuesto, dado el nivel actual de evolución de estas últimas, parece saludable que adquieran un carácter más cuantitativo. No hay que olvidar, sin embargo, la preocupación de los físicos señalada en el párrafo anterior.

La Edad Media

En nuestro caso comprenderá el período que va del fin del esplendor griego (~siglo I D.C.) hasta el siglo XV, en el cual Copérnico describió su teoría heliocéntrica en su famoso tratado De Revolutionibus Orbium Coelestium. Este período está dominado filosóficamente hablando por pensadores del mundo islámico, a partir del siglo VIII. El período anterior a ellos no es de interés en nuestra discusión, pues tuvo lugar

durante el mismo en Europa, en el mundo románico, un cambio radical en la definición de problemas relevantes para los pensadores más connotados: las discusiones cambiaron del estudio del hombre y la naturaleza al estudio e interpretación detallada y exhaustiva, diríase obsesiva, de un solo libro, la Biblia. La Ciudad Divina⁽¹⁶⁾, el libro de San Agustín, figura principal de esa época, contiene discusiones sobre prácticamente todos los problemas centrales de esos siglos; ninguno de ellos se ocupa de la estructura de la materia.

Durante el período de preponderancia islámica no aparecieron ideas radicalmente nuevas sobre la estructura de las substancias. La mayoría de los pensadores se concretó a defender o atacar ideas propuestas con anterioridad por los griegos. Así, Rhazes (864-925) habla de los cuatro elementos primordiales (fuego, aire, agua y tierra), distinguiéndolos por sus grados de rarefacción, y atribuyendo su origen a la mezcla de "materia absoluta" con el "vacío", en proporciones diversas. Moses Maimónides (1135-1204), por su parte, incluyó en su Guía de los Perplejos una discusión contraria a la concepción atomística de la materia.

Alhazen (965-1035) merece consideración aparte: postulaba que los cuerpos no pueden dividirse infinitamente, sin cambiar su carácter; aceptaba la existencia de los cuatro elementos primordiales arriba citados, pero proponía que existe una partícula elemental de cada uno de ellos. Además, si se divide la partícula elemental de agua, se obtiene aire; si se divide la partícula elemental de aire, se obtiene fuego. Ya que éste es el elemento más ligero, sus partículas elementales son indivisibles. Sus ideas muestran una curiosa mezcla de las concepciones de Anaxímenes con la hipótesis atomística. En la transmutabilidad de los elementos primordiales esta teoría guarda semejanza con democracia subnuclear; en la inmutabilidad de las partículas de fuego, presenta una conexión con la teoría de partículas elementales actual.

Filosofía europea del siglo XV al siglo XVIII

Durante este período, en el que el pensamiento europeo pugnó por restar méritos a las proposiciones griegas (contradiciéndolas, no ignorándolas), tratando con esto de despejarse el camino y avanzar por nuevos derroteros, las discusiones sobre la constitución de la materia deja-

ron de ser centrales. Las elaboradas argumentaciones de la Edad Media sobre causas y estructuras generales dieron paso al tratamiento de problemas concretos y especializados, y a una actitud de desconfianza y rechazo hacia proposiciones globales que tratan de explicar "el todo" de lo que nos rodea. "...Los griegos...un pueblo más adicto al estudio de la filología que de la naturaleza..." dice Newton (1642-1727) en sus Principia. Y pone Galileo en boca de Salviati en su Diálogo sobre dos Nuevas Ciencias: "El presente no es el tiempo apropiado para investigar la causa de la aceleración de la gravedad...opiniones varias han sido expresadas por diversos filósofos...algunos la explican como una atracción hacia el centro...otros por repulsión de las partes muy pequeñas del cuerpo...aun otros la atribuyen a ciertos esfuerzos en el medio que rodea al cuerpo que cae, y que se cierra detrás de él... Todas estas fantasías, y otras, deben ser examinadas; pero no vale en realidad la pena..."

Sin embargo, el problema de la estructura de la materia no fue ignorado del todo. Newton mismo consideraba en la sección de "Cuestiones" de su libro de Optica⁽¹⁷⁾, en las "Cuestiones" # 29 y 31, la posibilidad de que la luz estuviera constituida por pequeños cuerpos, y de que los objetos materiales estuvieran constituidos por átomos: "...Después de considerar todas estas cosas, parece probable para mí que Dios en el Principio formó a la materia en partículas sólidas, masivas, duras, impenetrables y móviles, con los tamaños, formas, propiedades y proporciones en el espacio, como más convenía al fin para el cual las había formado..." Newton propone además que estas partículas son inmutables y que producen unas sobre otras fuerzas como la de gravitación, electricidad, magnetismo, y otras aún desconocidas por su corto alcance, a las cuales serían atribuibles, entre otros, los fenómenos químicos. Desgraciadamente no dice más que lo incluido en la cita anterior sobre las interacciones entre los átomos. Sin embargo, puede decirse que sus hipótesis de inmutabilidad e independencia de caracteres de las partículas que propone, acerca mucho sus ideas a la hipótesis de partículas elementales actual. De hecho, la inmutabilidad de las partículas es propuesta con menos determinación que la aparente, pues en otra "Cuestión", la # 30, Newton se plantea la posibilidad de la transmutabilidad de los objetos en luz, y viceversa. Si la luz y los objetos están compuestos por átomos, esto abre al menos

la posibilidad de transmutación entre átomos, y los relaciona en sus propiedades.

Descartes (1516-1650) considera a la extensión espacial de los cuerpos como su única propiedad intrínseca. Otras propiedades, como peso, dureza y color, las considera provenientes de la interacción de unos cuerpos con otros, o dependientes del sistema de referencia utilizado para observarlos. De acuerdo con esta posición, los átomos, con sus características de dureza, peso, etc., no tienen un lugar en su esquema, y propone que la materia es infinitamente divisible, ya sea "real" o "mentalmente", en el caso de que hubiera partículas materiales tan pequeñas que un experimentador no tuviera los medios prácticos para dividirlos. Propone además que el medio planetario e interestelar es fluido, que arrastra a los cuerpos celestes en su movimiento, y tal que sus vórtices originan los efectos gravitacionales. Estas ideas son completamente distintas de democracia subnuclear y de partículas elementales, y se asemejan bastante a las empleadas por Einstein⁽¹⁾ en la construcción de su teoría general de relatividad: los cuerpos se toman como volúmenes con masa, y los efectos gravitacionales se hacen provenir de la curvatura del espacio-tiempo en el que están inmersos y del que forman parte constitutiva estos cuerpos; el espacio-tiempo es un ente activo que transmite ondas gravitacionales y que mueve cuerpos (aunque estos cuerpos actúan a su vez modificando las características del espacio-tiempo, que correspondería al fluido interestelar de Descartes).

Pierre Gassendi (1592-1655) propuso ideas sobre atomismo similares a las de Newton, con anterioridad a él. Esencialmente, su trabajo consistió en tomar las ideas atomísticas de Epicuro, y asignar a los átomos un origen divino. Esta condición de origen divino es común a la casi totalidad de los pensadores del período bajo consideración.

Emmanuel Kant (1724-1804) propuso una cosmogonía en la que originalmente la materia del sistema solar estaba desintegrada en átomos, en relación a los cuales dice Kant: "...No negaré que la teoría de Lucrecio, o de sus predecesores Epicuro, Leucipo y Demócrito, tiene mucha semejanza con la mía..." También él asigna a sus átomos, a sus movimientos e interacciones, un origen divino. Lo dicho sobre la comparación con ideas modernas al discutir el trabajo de Newton se aplica también a

este caso.

Roger Boscovich (1711-1787), jesuita serbo-croata, propuso una teoría atomística basada en un solo tipo de partículas: puntuales, con masa, y centros de fuerzas complicadas, más y más repulsivas a distancias muy pequeñas de las partículas, alternativamente atractivas, nulas y repulsivas a distancias un poco mayores (para explicar la estabilidad de la materia en términos de posiciones especiales en las que las fuerzas son nulas), y continuamente atractivas a distancias grandes (para explicar la atracción gravitacional). Las partículas que propone son permanentes e inmutables, pues no pueden dos de ellas coincidir nunca, dada la infinita fuerza de repulsión que tendrían que vencer para acercarse a una distancia nula. Sus ideas constituyen entonces un caso extremo de la hipótesis de partículas elementales: propone una sola partícula básica.

Esta teoría de Boscovich influenció grandemente las ideas atomísticas de Faraday (1791-1867), quien postuló átomos que eran fuentes de fuerzas (gravitacionales, electromagnéticas), pero no puntuales, sino extendidos por todo el volumen donde las fuerzas producidas por ellos no son nulas. Esta idea es extraordinariamente similar a la imagen que prevalece hoy en día sobre partículas, de acuerdo con la hipótesis de partículas elementales: las partículas se conciben como fuentes de campos (los cuales dan lugar a las interacciones), con sus propiedades extendidas por el volumen en el que el campo originado no es nulo, en el sentido de que en todo este volumen la probabilidad de encontrar a la partícula es distinta de cero.

La hipótesis atomística de Daniel Bernoulli (1700-1782) es conveniente considerarla al final de este período, pues supone la existencia de átomos no para explicar con ellos la estructura total de la materia, o para construir toda una cosmología, sino con un fin limitado y utilitario: para estudiar el comportamiento de un gas contenido en un recipiente. Este carácter práctico de la hipótesis atomística, refiriéndose siempre a problemas limitados y específicos, será una característica principal de las ideas propuestas en el nuevo período a ser considerado (siglo XIX y principios del actual). De hecho, como Bernoulli sólo necesita las propiedades mecánicas de estos átomos (masa, posición y veloci-

dad), no discute su naturaleza intrínseca (tipos, transformabilidad, etc.) en profundidad, y no es posible hacer comparaciones detalladas con ideas modernas.

Filosofía europea del siglo XIX

A partir del siglo XIX las hipótesis sobre estructura de la materia son gradualmente más "científicas" y menos "filosóficas", es decir, al referirse a problemas específicos (reacciones químicas, comportamiento térmico de gases, etc.), y no a problemas generales (cosmogonías y cosmologías), es gradualmente más sencillo realizar experimentos que corroboren o contradigan las consecuencias de las hipótesis propuestas, en el contexto limitado en el que fueron avanzadas. Esto hace menos urgente la argumentación filosófica al respecto.

Cuando dos o más sustancias reaccionan químicamente las porciones que participan en la reacción no son arbitrarias. Por ejemplo, si inicialmente se tienen 1 gramo de oxígeno y 3 gramos de hidrógeno, y después de la reacción (formación de agua) sólo queda 1/2 gramo de oxígeno, la cantidad de hidrógeno con la que reaccionó el otro medio gramo es siempre la misma, 1/16 de gramo. La razón de las masas que reaccionan es una constante: si en lugar de 1/2 gramo de oxígeno hubiera reaccionado 1 gramo del mismo, lo habría hecho con 1/8 de gramo de hidrógeno. Este tipo de información llevó a Dalton (1766-1844) a proponer que las sustancias estaban compuestas por átomos, y que las reacciones químicas consisten en la unión o separación de átomos completos, en números constantes y específicos para cada reacción. Postuló que los átomos se distinguen unos de otros por sus masas y formas geométricas, y que los de las sustancias químicas elementales (hidrógeno, oxígeno, etc.: sustancias imposibles de descomponer químicamente en otras más ligeras) son inmutables. Esta hipótesis de Dalton es extremadamente importante por varias razones:

- (i) Corresponde a la idea hoy aceptada sobre reacciones químicas, en base a observaciones experimentales: existen partículas en las sustancias, caracterizadas por su masa y estructura.
- (ii) A partir de la exposición de sus ideas, el problema de la estructura de la materia recobró gradualmente su importancia, hasta ocupar

finalmente la posición central que tiene en nuestros días. Su hipótesis atómica fue adoptada por Maxwell (1831-1879) y por Boltzmann (1844-1906) para explicar el comportamiento térmico de los gases, y por Einstein y otros a principios de este siglo para estudiar el problema del movimiento browniano⁽¹⁾. Los resultados obtenidos por estos investigadores dieron lugar eventualmente a experimentos en los cuales pudieron observarse al fin átomos aislados, durante la década de los 20's⁽¹⁸⁾.

- (iii) Hoy sabemos que las partículas de Dalton, sus átomos, no son inmutables, y que están compuestas por otras partículas, tales como electrones y protones, cuya función y estructura tratamos de explicar por medio de hipótesis como democracia subnuclear y partículas elementales. La situación que vivimos actualmente sobre partículas subnucleares resulta entonces muy similar a la que se tenía en tiempos de Dalton en relación con las reacciones químicas de las sustancias que nos rodean.

Su postulado sobre la inmutabilidad e independencia de los átomos de las sustancias elementales lo acerca por un lado a la hipótesis actual de partículas elementales, y por otro a filósofos griegos como Platón, quien proponía átomos distintos para los "cuatro elementos primordiales": fuego, aire, agua y tierra.

Aunque el problema que nos ocupa se refiere al comportamiento y estructura de partículas subnucleares, es de interés mencionar el enconado debate provocado por las ideas de Dalton durante la segunda mitad del siglo pasado y a principios de éste⁽¹⁾, debate que terminó sólo con la observación experimental de átomos aislados. Por un lado estaba Boltzmann, basando su teoría de gases en la hipótesis atómica; opuestos a él estaban "los positivistas", cuyo líder más connotado era Ernst Mach (1838-1916). Estos últimos representaban en las ciencias la fuerte corriente filosófica positivista del siglo pasado y parte de éste. Atacaban la hipótesis atómica porque se basaba en partículas inobservadas, sin proponer métodos para detectarlas individualmente. Constituían entonces entes ocultos en términos de los cuales pretendían entenderse la química y la teoría de gases, y los entes ocultos (ángeles alados, mentes divinas, etc.) habían sido desterrados de la física por científicos

de los dos siglos anteriores, después de grandes esfuerzos. Cuán escandalizados se encontrarían estos pensadores en nuestro tiempo, cuando trata de explicarse la estructura de la materia en términos de ciertos entes, los quarks, por medio de teorías que los aceptan no sólo como inobservados, sino que los postulan como inobservables⁽¹¹⁾.

La intensidad de esta disputa entre Boltzmann y los positivistas fue en aumento, con Boltzmann llevando tal vez la peor parte, al no poder convencer a sus críticos por medio de argumentos terminantes: la observación experimental de átomos aislados aún estaba en el futuro lejano⁽¹⁸⁾. Víctima de una crisis depresiva, y en circunstancias no muy claras, se suicidó en 1906.

Filosofías americanas

Sólo mencionaré las pre-colombinas, pues las posteriores son apéndices tardíos de esquemas europeos. El estado de las ideas sobre el origen y composición de la materia era en general similar al de las filosofías egipcia, babilónica y hebrea, descritas anteriormente. El Popol-Vuh⁽¹⁹⁾ describe la cosmogonía quiché, en términos muy similares a los de las filosofías recién mencionadas: se habla de un mar original, de la emergencia de la tierra de este océano primordial, y de la creación posterior de los seres vivos y el hombre; sin embargo, no se ataca el problema de la estructura de este mar primordial, ni de la tierra que emergió. En la cosmogonía tarasca⁽²⁰⁾ juega un papel preponderante el fuego, y lo mismo sucede en las culturas incaicas y pre-incaicas⁽²¹⁾, pero otra vez el problema de la estructura detallada del fuego o de las demás sustancias no parece haber sido tratado, al menos en los escasos documentos que sobrevivieron al trauma de la conquista. La filosofía náhuatl está bastante mejor estudiada⁽²²⁾: postula una cosmogonía que se inicia con el dios dual Ometéotl ("el que se inventa a sí mismo") y sus cuatro primeros hijos o manifestaciones, agua, aire, tierra y fuego, uno de los cuales ha sido preponderante en cada uno de los cuatro "soles" (edades o universos) que han tenido lugar a la fecha, y terminado en forma catastrófica. Vivimos en el "quinto sol", el cual terminará también, debido esta vez a movimientos telúricos. Desgraciadamente, estas interesantes ideas no fueron desarrolladas en más detalle, dejando sin atacarse el

problema del carácter y estructura de los cuatro elementos primordiales, por lo que no es posible hacer comparaciones minuciosas con nuestras ideas actuales, más allá de decir que, siendo los "hijos" de Ometéotl en realidad sus diversas apariencias, entonces agua, aire, tierra y fuego son realmente manifestaciones de un mismo ente o principio, lo cual los convierte en elementos básicamente equivalentes. En este sentido indirecto se puede decir que las ideas de la escuela filosófica náhuatl se acercan más a democracia subnuclear que a partículas elementales.

IV. DEMOCRACIA SUBNUCLEAR Y FILOSOFIA ORIENTAL

Filosofía oriental comprenderá en este trabajo las principales escuelas filosóficas hindúes y chinas, maestras tradicionales de esa parte del mundo. La discusión se centrará nuevamente en las ideas históricamente más importantes, y no en las contribuciones de filósofos individuales. La razón para esto es que los filósofos orientales han presentado su trabajo como una crítica o ampliación del de sus predecesores, sin considerar las contribuciones propias como una ruptura con la tradición intelectual de la que forman parte. Por lo tanto, el estudio de las ideas principales nos llevará directamente a las proposiciones originales, las cuales fueron formuladas en la manera que nos han llegado durante el primer milenio anterior a nuestra era⁽²³⁾.

Filosofía hindú

Comprende dos doctrinas principales: la "ortodoxa", que reconoce la autoridad de los Vedas y Upanisads y la "no-ortodoxa", que incluye al jainismo y al budismo.

Los Vedas y los Upanisads fueron recopilados durante los siglos IX - V A.C., y contienen la síntesis del pensamiento filosófico y religioso de los invasores arios de la India (~2500 A.C.), con las ideas de los pueblos conquistados. Jainismo y budismo son escuelas filosófico-religiosas iniciadas hacia el siglo VI A.C. por los líderes Verdhama y Sidarta Gautama, respectivamente.

Los puntos de vista ("darsanas") ortodoxos se clasifican en seis "sistemas", cada uno de los cuales comprende varios sub-sistemas o

escuelas. En cinco de estos sistemas ortodoxos (yoga, samkhya, vedanta, nyaya y vaisesika) el cosmos se considera sujeto a pulsaciones periódicas: caos, seguido de un período de organización progresivamente mayor, que evoluciona hacia el caos, y así sucesivamente. El sistema restante (mimasa) postula un universo eterno y no-fluctuante.

El cosmos pulsante, en su evolución hacia una mayor organización, da lugar por un lado a las almas y por otro a su aspecto material. Estos dos componentes del universo evolucionan paralela, pero no separadamente: las almas necesitan asociarse a cuerpos materiales para poder mostrar sus atributos (lenguaje, locomoción, etc.), y estos cuerpos materiales necesitan de las almas para tener experiencias. El punto más elevado en la evolución de las almas lo constituye su liberación ("moksa") de la necesidad de asociarse con cuerpos materiales. Esta idea de liberación de las almas permea todo el pensamiento hindú.

Nos interesa en este ensayo considerar la estructura y el modo de evolución del aspecto material del universo, para hacer nuestras comparaciones con las ideas actuales correspondientes. De acuerdo con uno de los sistemas filosóficos (samkhya), cuando aparece el substrato material a partir del caos, se organiza en infra-átomos, los cuales se combinan entre sí para producir átomos, que son capaces de provocar sensaciones. De las combinaciones de átomos se obtienen los cuerpos macroscópicos. Durante el período de disolución, los átomos se disocian en infra-átomos, los cuales finalmente desaparecen. Este esquema está más cerca de nuestras ideas actuales de partículas elementales, que de democracia subnuclear: los infra-átomos son partículas elementales independientes en sus propiedades, pues tienen existencia inmutable una vez creados, al menos hasta su destrucción colectiva en el siguiente período de disolución cósmica.

De acuerdo con otro sistema filosófico (vaisesika), existen átomos puntuales, indestructibles, y los períodos cíclicos de organización y caos del cosmos deben entenderse respectivamente como episodios de combinación y separación de estos átomos. De acuerdo con esta escuela, los átomos se combinan en pares (diádicas), que ya no son puntuales, aunque su tamaño es diminuto; las diádicas se combinan para formar moléculas, de tamaño mayor, y las moléculas se combinan para constituir los

cuerpos macroscópicos. Se postula además que los pasos de partículas puntuales, a diminutas, a moléculas, requieren de ciertos "saltos cuánticos", no explicados ni descritos, y necesarios porque entidades pequeñas ("menores que la unidad") como los átomos producirían por multiplicación con otras semejantes entes aún más pequeños. Estas ideas de átomos indestructibles e independientes son afines a la hipótesis actual de partículas elementales.

Entre las escuelas no-ortodoxas, el jainismo postula un cosmos no creado, finito y eterno, también con una composición dual de materia y almas, estando su aspecto material estructurado atómicamente. Los átomos propuestos son permanentes, como en el caso recién descrito, llegándose a la misma conclusión que en el párrafo anterior sobre su relación con nuestras ideas actuales.

En el budismo, las discusiones cosmológicas no están muy desarrolladas, debido principalmente a que el mismo Buda les restó importancia, al considerar "indeterminadas" cuestiones como la finitud o infinitud del universo o la naturaleza y localización del Nirvana (punto cimiento en el proceso de re-encarnaciones sucesivas de las almas, el cual marca la liberación —moksa— de las mismas). Lo que queda en claro es que el cosmos budista debe tener una duración prácticamente infinita, para contener todas las re-encarnaciones requeridas para alcanzar el Nirvana. En cualquier caso, las comparaciones con ideas modernas no pueden basarse directamente en ideas cosmológicas y proto-científicas concretas derivadas de esta doctrina, sino que hay que llevarlas a cabo de una manera indirecta, menos específica, como se hará en los párrafos siguientes.

La discusión en la mayor parte de este trabajo se ha centrado en ideas científicas o proto-científicas propuestas por diversos pensadores o escuelas para explicar y fundamentar sus cosmogonías y cosmologías. Existen ideas filosóficas aún más generales que será conveniente estudiar también, pues contienen aunque sea implícita, y en ocasiones ambiguamente, estímulos y restricciones para aquellos pensadores que, habiéndolas adoptado, construyen modelos concretos sobre la naturaleza y estructura del cosmos. Las ideas aludidas son tan generales que es posible encontrar trazas de ellas en los preceptos que caracterizan a muchas escuelas filosóficas distintas, incluyendo algunas que se definen explí-

citamente como contrarias o independientes de tales ideas generales.

Una de estas hipótesis básicas en filosofía oriental es la de transmigración de las almas, ya mencionada; el objetivo central es "moksa", o liberación de las mismas, a través de un proceso de ocupación sucesiva de cuerpos más y más organizados y elevados. Una cadena de cuerpos con grados progresivos de perfección la constituyen, por ejemplo: átomos, gusanos, perros, hombres malos, hombres buenos, etc. La liberación buscada es con respecto a la necesidad de las almas de ocupar cuerpos sujetos a sufrimientos y deseos, con el objeto de proseguir su evolución. Esta idea permea todas las escuelas filosóficas hindúes, y es tal vez la que las identifica más claramente.

Otra de estas ideas básicas está enunciada explícitamente en la escuela filosófica ortodoxa llamada vedanta. De acuerdo con una de las corrientes principales de esta escuela, brahman (la potencia que constituye y sostiene el universo) y atman (el yo, el alma), son entes esencialmente idénticos. A lo largo del desarrollo del pensamiento hindú esta identidad se ha expresado de muchas maneras, algunas de ellas extremas; por ejemplo, en un texto budista puede leerse⁽²⁴⁾:

"En el cielo de Indra se dice que hay una red de perlas, colocadas de tal manera que si se observa una perla, se miran todas las demás reflejadas en ella. De la misma manera, cada objeto en el mundo no es solamente él mismo, sino que involucra a todos los demás objetos, y es de hecho todo lo demás. En cada partícula de polvo existen incontables Budas".

Esta proposición de equivalencia, aunque expresada de manera tan general, es congruente con las suposiciones e implicaciones de la hipótesis actual de democracia subnuclear. De acuerdo con esta hipótesis, no hay unas partículas más básicas o elementales que otras, y en este sentido todas son equivalentes. Más aún, de acuerdo con la hipótesis afín de "bootstrap" (cf. sección II), cada partícula está constituida por todas las demás: hablando con ligereza, se puede re-expresar esto diciendo que el "cosmos" (la partícula externa o compuesta) es idéntico al "micro-cosmos" (las partículas internas o constitutivas). Este es precisamente el punto de vista general de la escuela vedanta: el macro-cosmos (i.e., Brahman) y el micro-cosmos (el alma individual) son idénticos.

Se incluirán algunas observaciones sobre este paralelismo en la sección de Comentarios.

Filosofía china

Una dificultad importante en el estudio del pensamiento filosófico hindú proviene de que es muy difícil separarlo de concepciones religiosas. En el caso del pensamiento chino hay una dificultad similar: es en muchas ocasiones difícil distinguirlo de un mero recetario moral. Su proceso de desarrollo es muy similar al del pensamiento hindú: fueron establecidas escuelas por grandes maestros, más o menos contemporáneos con sus contrapartes hindúes (Confucio (551-479 A.C.), Lao Tzu (~siglo VI A.C.), Mo Tzu (~468-376 A.C.)), y los pensadores posteriores han sido principalmente comentadores de las ideas originales, quienes han propuesto diversas interpretaciones y modificaciones, sin llegar a fundar corrientes radicalmente nuevas.

Son tres las escuelas principales del pensamiento chino: confucionismo, taoísmo y yin yang. Su desarrollo histórico se divide usualmente en varios períodos: el de las Cien Escuelas, un fertilísimo episodio en el que numerosas corrientes contendieron, siendo representadas por pensadores muy disímiles: diplomáticos, campesinos, militares, etc.; el Período Medio (~221 - ~960 D.C.), caracterizado por la predominancia inicial del confucionismo, hasta ser eclipsado por el taoísmo y después por el budismo; el Período Moderno (960-1900), definido por el retorno del confucionismo ("neo-confucionismo"); y el Período Contemporáneo, correspondiente a este siglo, en el que el neo-confucionismo, en total decadencia, entró en contacto con filosofías occidentales, hasta ser esencialmente erradicado en los años 50's, cuando el marxismo se convirtió en la doctrina oficial, con el consiguiente debilitamiento de la argumentación filosófica fuera de su contexto.

El problema central del pensamiento chino se refiere a la relación entre los individuos y la sociedad a la que pertenecen. La preocupación más importante de las Cien Escuelas, del confucionismo y del taoísmo, es la obtención de la felicidad individual, en el contexto de las restricciones impuestas por la preservación del grupo social. Aunque muy interesante en sí, no podemos discutir en el presente ensayo este as-

pecto exclusivamente humanístico de la escuela china, pues nos interesan aún más las proposiciones cosmológicas concretas, en particular las que se ocupan de la estructura microscópica de la materia. Baste decir que, según Confucio, el individuo encuentra su felicidad, preservándose y consolidándose al mismo tiempo el grupo social, cuando cada miembro de este grupo conoce y acepta su lugar en la estructura, y las ventajas y obligaciones que le van aparejadas. Esto dió lugar a una sociedad totalmente reglamentada, aun en sus pequeños detalles; por ejemplo, hubo reglas en tiempos de Confucio sobre el lado de la calle en el que debían transitar hombres y no mujeres, y viceversa; reglas sobre el número correcto de clavos en un ataúd, etc.

De mucho más interés en este ensayo es la escuela filosófica yin yang, por sus proposiciones cosmológicas concretas. Originándose hacia el siglo III A.C., esta escuela nunca fue abiertamente dominante, aunque influyó profundamente a través de la historia a todas las demás. Así, por ejemplo, el Libro de los Cambios (I Ching), considerado como un texto confucionista clásico, propone una cosmología basada enteramente en los preceptos de la escuela yin yang. De acuerdo con estos preceptos, existen en el universo dos fuerzas o principios básicos: yin (pasivo, negativo, débil, desintegrador) y yang (activo, positivo, fuerte e integrador). Además de estos principios o fuerzas, existen los llamados cinco agentes o elementos (metal, madera, agua, aire y tierra). El acontecer universal se explica entonces como debido a los diversos grados de predominio de yin o yang, y a la combinación de los cinco elementos, con preponderancia temporal de uno de ellos. Además, se propone que los cinco agentes giran, por lo que los grados de predominio se alternan cíclicamente. Aunque originalmente los cinco agentes eran concebidos como elementos materiales, posteriormente se les consideró más como principios o fuerzas, de naturaleza similar a yin y yang.

Se obtiene así un universo en perpetuo estado de rotación, con predominios alternos y cíclicos de los principios y agentes mencionados. Debido a que esta rotación se supone no caótica, sino regular, armónica, y aun predecible, resulta entonces que el acontecer universal tiene estas mismas características de armonía y predecibilidad. Esta visión de rotación cósmica se traduce entonces en la implicación de que todo se

desarrolla en ciclos, la historia inclusive, pues, siendo el hombre parte del universo, está sujeto en su constitución y comportamiento a las mismas leyes cósmicas.

Desgraciadamente, en esta visión cosmológica no se hace énfasis en la estructura de los cinco agentes o elementos (¿continua?, ¿corpúscular?), por lo cual no se puede hacer una comparación directa con las ideas modernas sobre estructura de la materia. Sin embargo, la proposición de que los cinco elementos son capaces de transmutarse unos en otros (pasando así de una época de predominio a otra), acerca estas ideas más a democracia subnuclear que a partículas elementales: los elementos no son inmutables, no hay unos más básicos que otros, hay "democracia" en el sentido de su transmutabilidad, y esta democracia y transmutabilidad deben ser atributos de sus componentes básicos, si uno hace la hipótesis adicional de que tienen una estructura discreta.

V. COMENTARIOS

Las proposiciones sobre estructura de la materia estudiadas en el ensayo anterior pueden dividirse en cuatro grupos principales:

- (i) La materia es infinitamente divisible. Sus componentes fundamentales son independientes en sus propiedades.
- (ii) La materia es infinitamente divisible. Sus componentes fundamentales pueden transmutarse entre sí.
- (iii) La materia no es infinitamente divisible. Sus átomos son independientes en cuanto a sus propiedades.
- (iv) La materia no es infinitamente divisible. Sus átomos son transmutables entre sí, por lo que sus propiedades no son independientes.

Hay además variantes de estas ideas en relación con la permanencia o impermanencia de las substancias y partículas básicas. En la actualidad, las hipótesis más favorecidas son las dos últimas; sin embargo, nuestro vistazo hacia el pasado demostró que las cuatro de ellas han encontrado adherentes a través de la historia, y que (i) y (iii) han sido tal vez las más favorecidas.

La proposición de democracia subnuclear constituye en nuestros días la hipótesis más novedosa, aunque puede decirse que su período de

máxima popularidad tuvo lugar en los años 50's y 60's, y que la hipótesis de partículas elementales ha sido la más favorecida durante la última década, sobre todo por los éxitos de las llamadas teorías de norma unificadas⁽¹¹⁾.

Históricamente, esta hipótesis de democracia subnuclear puede relacionarse superficialmente con la escuela de Mileto en Grecia, y un poco más estrechamente con las escuelas orientales vedanta, de la India, y yin yang, de China, y con la cosmogonía náhuatl.

El estudio de la estructura de la materia no ha realizado grandes avances durante las últimas décadas: no hay a la fecha ningún esquema teórico a partir del cual hayan podido calcularse las masas o interacciones fuertes de las partículas observadas, aunque se han logrado avances importantes en el cálculo de interacciones electromagnéticas y débiles⁽¹¹⁾. Algunos autores⁽²⁵⁾ opinan que la hipótesis de democracia subnuclear proveerá el contexto teórico necesario para resolver éste que es el problema central sobre estructura de la materia, como se le entiende en la actualidad. Es un hecho peculiar que esta idea pueda relacionarse de manera clara sólo con escuelas orientales (aparte de la cosmogonía náhuatl).

Sin embargo, y aunque los autores recién aludidos no proponen lo contrario, es relevante mencionar que la validez de la hipótesis de democracia subnuclear es una cuestión que sólo decidirá el experimento. En la ciencia, la antigüedad o el "pedigree" de una idea no son aspectos necesariamente relacionados con su veracidad. Además, aunque es un tributo a la vitalidad del pensamiento hindú y chino que ideas científicas modernas les sean afines, también es cierto que hay una enorme distancia en precisión y sofisticación científica entre democracia subnuclear y las cosmologías vedanta y yin yang. Dos mil quinientos años no han transcurrido en vano. Democracia subnuclear es una hipótesis concisa y concreta sobre el problema específico de las masas e interacciones de partículas, existiendo métodos precisos para medir estas masas e interacciones, con el objeto de decidir sobre la veracidad de teorías particulares. Por el contrario, las proposiciones de las escuelas orientales mencionadas son completamente generales, y, cuando se les aplicó originalmente al problema de la estructura del cosmos, esto se hizo de una mane-

ra totalmente proto-científica: sin definir métodos de observación y medición de las cantidades involucradas, y sin dar por lo tanto un criterio preciso y eficaz para decidir sobre la veracidad de las hipótesis propuestas. Tal vez jocosamente, pudiera decirse que estas proposiciones, y muchas de las más antiguas sobre la estructura del mundo, guardan alguna semejanza con las predicciones del horóscopo: son de naturaleza tal que se aplican superficialmente a muchas situaciones no equivalentes, y rigurosamente a ninguna.

Hay una característica de la idea hindú sobre la equivalencia entre micro-cosmos (almas) y macro-cosmos (brahman) que la aleja de los procedimientos científicos útiles hasta la fecha, y tiene que ver con la aparente imposibilidad que implica de aislar una parte de la naturaleza, un "sistema", para estudiarla como si fuera independiente del resto. Esta posibilidad de estudiar a un sistema sin tener que describir simultáneamente al resto del universo ha estado detrás de todos los avances científicos de los últimos siglos; de hecho, el llamado método científico no se concibe sin esta posibilidad: nuestras capacidades de medición y análisis están restringidas siempre a un número razonablemente pequeño de variables, con las cuales obviamente sería imposible describir al "todo". Esta implicación científicamente desafortunada de la hipótesis de equivalencia atman-brahman es común también a la idea estoica del cosmos orgánico ("pneumático"), que responde en su totalidad cuando cualquiera de sus partes es perturbada. Por supuesto, no hay contradicción entre las prácticas científicas actuales y la conocida frase de que "no se puede tocar una flor sin perturbar una estrella"; por el contrario, partiendo de la suposición de que existen interacciones de largo alcance, se les ordena en grados de importancia, y en un problema dado es posible en general decidir cuáles interacciones o perturbaciones son relevantes, y cuáles no. Por ejemplo, si se quiere estudiar el movimiento de una piedra o avión cerca de la Tierra, no es necesario tomar en consideración las atracciones gravitacionales que sobre estos cuerpos ejercen el Sol y Júpiter; sin embargo, si el cuerpo es un satélite que se moverá a grandes distancias de la Tierra, es imperioso tomar en cuenta las atracciones gravitacionales mencionadas, incluyendo las de algunos astros más pequeños, para describir correctamente la trayectoria. Otro ejemplo

lo constituyen las interacciones entre partículas: en colisiones de neutrones a energías elevadas, los efectos gravitacionales de la Tierra son irrelevantes; sin embargo, en el estudio de interacciones de neutrones a muy bajas energías (neutrones "super-fríos"⁽²⁶⁾), los efectos gravitacionales de la Tierra son muy importantes, y deben ser incluidos en la descripción, pues los neutrones cambian su energía de maneras esenciales y distintas si viajan hacia arriba, hacia abajo, o en una dirección intermedia, debido a su peso, que es una fuerza actuando siempre hacia abajo.

Por último, es interesante remarcar el paralelismo entre las cosmologías hindúes, yin yang y náhuatl. La analogía entre ellas se basa en la idea peculiar de la transmutación de los elementos primordiales, dando lugar a épocas sucesivas de predominio de cada uno de ellos. Existe en la filosofía griega una hipótesis similar de transmutación de elementos, en las ideas de Anaxímenes; sin embargo, la explicación de la evolución del universo en términos del predominio alterno de sus elementos básicos parece ser ajena a esta filosofía.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Lisa Douglass sus comentarios y sugerencias sobre el manuscrito.

REFERENCIAS

1. R.M. Besanzon, The Encyclopedia of Physics, Van Nostrand Reinhold Co. (1974) pp. 272-273. Otra referencia, que contiene además una de las discusiones más completas sobre el desarrollo conceptual de la física, es el clásico trabajo de d'Abro: A. d'Abro, The Rise of the New Physics, 2 Vols., Dover Publications (1951). Otra discusión clásica del desarrollo conceptual de la física se puede encontrar en: A. Einstein & L. Infeld, The Evolution of Physics, Cambridge University Press (1971).
2. R.M. Besanzon, loc. cit., p. 79. Rutherford llevó a cabo estos experimentos en 1910-1911. Las partículas alfa son núcleos de helio.
3. R.M. Besanzon, loc. cit., pp. 624-625.
4. Los aceleradores más potentes que se tienen a la fecha se encuentran en Chicago, E.U.A. (acelera protones a energías de 500 GeV), y en Génova, Suiza (produce choques con energías equivalentes superiores a 1200 GeV). Una buena referencia sobre física de altas energías, con énfasis en procedimientos experimentales, es: D.H. Perkins, Introduc-

- tion to High Energy Physics, Addison Wesley Publishing Co. (1972).
5. Los tamaños geométricos de las partículas se definen en términos de sus distribuciones de carga, las cuales se obtienen de los experimentos a través de los llamados "factores de forma" (Perkins, Ref. (4)). Un problema con esta definición es que resultan tamaños distintos si se mide la distribución de carga eléctrica, carga fuerte o carga débil.
 6. W. Heisenberg, *Bulletin of the Atomic Scientists*, Vol. 29, No. 10 (1973) pp. 4-10.
 7. G.F. Chew, *S-Matrix Theory of Strong Interactions*, W.A. Benjamin (1961).
 8. Unitaridad se refiere a la conservación de las probabilidades de mecánica cuántica; cruzamiento y dualidad consisten en relaciones entre diversas amplitudes de probabilidad que pueden definirse para una reacción dada, cambiando el carácter de algunas de las partículas de incidentes a emergentes, y viceversa. Para una discusión más detallada de estos términos, ver Chew (Ref. (7)), y Perkins (Ref. (4)).
 9. R. Hagedorn, *Suplemento al Nuovo Cimento* 2 (1965) 147-186.
 10. S. Frautschi, *Physical Review D*3 (1971) 2821.
 11. Descripciones muy claras e instructivas sobre quarks y teorías de campos, en especial las llamadas teorías de norma unificadas, pueden verse en: Y. Nambu, "The Confinement of Quarks", *Scientific American*, Vol. 235, Nov. 1976, p. 48; D.Z. Freedman, P. van Nieuwenhuizen, "Supergravity and the Unification of the Laws of Physics", *Scientific American*, Vol. 238, Feb. 1978, p. 126.
 12. C.H. Long, *Alpha, the Myths of Creation*, Collier Books (1963). Ver también el capítulo del Génesis en la Biblia.
 13. La referencia principal para toda la sección III es: S. Sambursky, *Physical Thought from the Presocratics to the Quantum Physicists*, Pica Press (1975). Excelente colección de escritos originales. Todas las citas de la sección III fueron tomadas de esta referencia, excepto en los casos en que se dice explícitamente lo contrario.
 14. P.A.M. Dirac, *The Principles of Quantum Mechanics*, 4a. Ed., pp. 10 y 15, y Prefacio a la Primera Edición, Oxford University Press (1970).
 15. S. Glashow, "Can High Energy Physics become Trivial?"; *Nature*, Vol. 273 (1978) 479.
 16. San Agustín (356-430), *The City of God*, Image Books, Division of Doubleday & Co. (1958).
 17. I. Newton, *Opticks*, Dover Publications (1952).
 18. R.M. Besanzon, Ref. (1), pp. 72-73.
 19. Popol-Vuh, *Las Antiguas Historias del Quiché*, Fondo de Cultura Económica, México (1960).
 20. José Corona Núñez, *Mitología Tarasca*, Ed. Balsal, Morelia, Michoacán, México (1973).
 21. Inca Religion, *Encyclopaedia Britannica*, Vol. 9 (1975) pp. 259-261.
 22. Miguel León Portilla, *La Filosofía Náhuatl*, Cap. II y III, Universidad Nacional Autónoma de México (1974).
 23. Referencia principal para la sección IV: Paul R. Edwards, Ed., *The Encyclopedia of Philosophy*, 8 Vols., Macmillan Publishing Co. (1967). Artículos: Indian Philosophy, Vol. 4, pp. 155-169; Jainism, Vol. 4, pp. 238-239; Chinese Philosophy, Vol. 2, pp. 87-96; Buddhism, Vol. 1, pp. 416-420. Ver también Alpha (Ref. (12)), y Juan B. Bergua, *Mito-*

- logía Universal, 2 Vols., Ediciones Ibéricas (1960).
24. Cita tomada de: F. Capra, Particle Physics and Eastern Philosophy, Acta Physica Austriaca, Suppl. IX (1972) 874-893.
 25. Ver, por ejemplo, los escritos de Chew (Ref. (7)), y Capra (Ref. (24)).
 26. R. Golub, W. Mampe, J.M. Pendlebury & P. Ageron, "Ultracold Neutrons", Scientific American, Vol. 240, June 1979, p. 106.
 27. S. Weinberg, "The Decay of the Proton", Scientific American, Vol. 244, June 1981, p. 52.
 28. F. Reines, H.W. Sobel and E. Pasierb, "Evidence for Neutrino Instability", Physical Review Letters 45 (1980) 1307.