

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA

**La Importancia de la Concepción Clásica y Relativista de los Conceptos de Espacio, Tiempo, Materia y Movimiento en la Elaboración y Crítica de los Modelos Empleados en la Fisicoquímica (Material Didáctico para el Laboratorio de Ciencia Básica de la E.N.E.P. Cuautitlán)**

**T E S I S**

Que para obtener el título de :  
**INGENIERO QUIMICO**

**p r e s e n t a :**

**CARLOS MARTINEZ VERA**

---

México, D. F.

1980

M-29277



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CLAS. Tesis  
ADQ. 221  
FECHA 1980  
FASC. mb. 20



PAGINA 1

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

LA IMPORTANCIA DE LA CONCEPCION CLASICA Y  
RELATIVISTA DE LOS CONCEPTOS DE ESPACIO,  
TIEMPO, MATERIA Y MOVIMIENTO EN LA ELABO-  
RACION Y CRITICA DE LOS MODELOS EMPLEADOS  
EN LA FISICOQUIMICA  
(MATERIAL DIDACTICO PARA EL LABORATORIO  
DE CIENCIA BASICA DE LA E.N.E.P. CUAUTI-  
TLAN).

CARLOS MARTINEZ VERA

INGENIERO QUIMICO

1 9 8 0



PAGINA 2

PRESIDENTE: PROF. JOSE MARIA GARCIA SAIZ  
VOCAL: PROF. CARLOS CASTAÑEDA ESTRADA  
SECRETARIO: PROF. RICARDO MEJENES QUIJANO  
1er. SUPLENTE: PROF. SILVIA TEJADA CASTAÑEDA  
2do. SUPLENTE: PROF. ANIBAL BASCUÑAN BLASET

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA: ESCUELA  
NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CUAUTITLAN

SUSTANTE: Carlos Martínez Vera

*CMV*

ASESOR: I.Q. Carlos Castañeda Estrada

*Castañeda*



DEPTO. DE PASANTES Y  
EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA



## CONTENIDO.

## INTRODUCCION

- I EL SURGIMIENTO DE LA CONCEPCION CLASICA
- II LA CONCEPCION CLASICA DE LA NATURALEZA
  - La Concepción Clásica del Espacio
  - La Concepción Clásica del Tiempo
  - La Materia en la Concepción Clásica
  - El Concepto Clásico del Movimiento
- III EL MODELO CINETICO-CORPUSCULAR
  - El Modelo Cinético-Corpuscular de la Na  
turaleza
  - El Modelo Cinético-Corpuscular del Estado  
gaseoso
  - El Modelo Cinético-Corpuscular de los -  
Líquidos y de las Soluciones
  - La Insuficiencia de la Concepción Clásica  
para la Comprensión de la Primera --  
Ley de la Termodinámica

IV LA DESINTEGRACION DE LA CONCEPCION CLASICA Y EL SURGIMIENTO DE LOS NUEVOS CONCEPTOS

La Teoría de la Relatividad Especial

La Materia y la Energía

La Teoría de la Gravedad de Einstein

V ANALISIS DE LA FORMA DE EXPOSICION DEL MODELO DE LOS GASES IDEALES Y DE LAS SOLUCIONES IDEALES EN DOS LIBROS DE FISI-COQUIMICA

BIBLIOGRAFIA

## INTRODUCCION.

La experiencia adquirida en el Laboratorio de Ciencia Básica en la E.N.E.P. Cuautitlán ha mostrado la incapacidad que tienen los estudiantes para comprender y criticar los modelos que se les presentan en los libros de texto de fisicoquímica. Se ha visto que el estudiante no comprende porqué se le presentan precisamente esos modelos y no otros, no sabe como se originaron y es incapaz de subsumirlos en un marco de referencia más amplio.

El propósito de éste trabajo, es proporcionarle al alumno los elementos que le permitan comprender los modelos fisicoquímicos que se desarrollaron antes del surgimiento de la mecánica cuántica, tales como los de los gases y las soluciones ideales, entender cómo y porqué se desarrollaron dichos modelos y percatarse de sus limitaciones.

No es suficiente para comprender un modelo enlistar los supuestos fundamentales que lo constituyen. Hay que ubicar dichos supuestos en el marco de una concepción del mundo, aclarar la relación que existe entre la estructura interna del modelo y la estructura supuesta de la realidad, ya que todo modelo lleva implícita o explícitamente una concepción del mundo.

Este trabajo se propone contribuir a la comprensión de que buena parte de los modelos fisicoquímicos que se le presentan al estudiante durante su formación se insertan dentro de un modelo más amplio, un modelo de la Naturaleza en su totalidad: el Modelo Cinético-Corpuscular y que éste modelo, como todo modelo, se origina en una forma de concebir el mundo: la Concepción Clásica de la Naturaleza.

Con éste fin, en el primer capítulo se expone lo que es una concepción del mundo y el origen de la concepción clásica. En el segundo -

se presentan los atributos de los conceptos fundamentales de dicha concepción: espacio, tiempo materia y movimiento (el concepto de causalidad se trata en el siguiente capítulo). En el tercer capítulo se trata el modelo cinético-corpuscular de la Naturaleza como un modelo que se inserta en la concepción clásica del mundo.

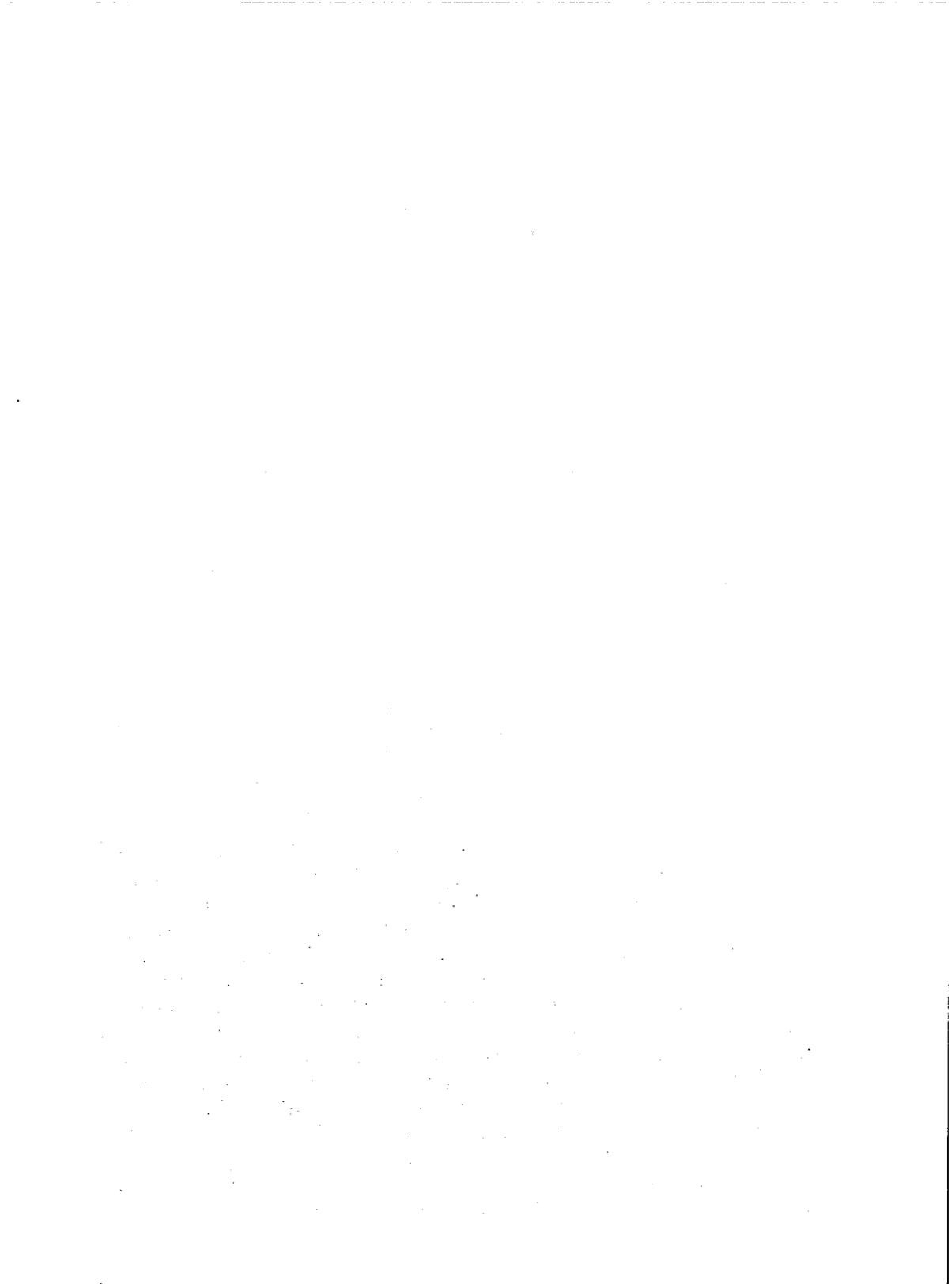
Este modelo de la Naturaleza no podía estar desligado de el modelo elaborado para cada objeto en particular. El trabajo continúa con la aplicación del modelo cinético-corpuscular a los gases ideales, las soluciones ideales (indicando las limitaciones del modelo) y a la interrelación materia-energía (mostrando la insuficiencia del modelo para comprender el concepto de energía interna).

La concepción clásica del mundo y los modelos que con ella se desarrollaron fueron criticados a principios de este siglo por la mecánica cuántica y la teoría de la relatividad. El surgimiento de estas dos teorías permitió delimitar el alcance de la concepción y los modelos clásicos para dar razón de la realidad. Con objeto de comprender mejor las limitaciones de estos modelos y de situar el origen de éstas en la concepción del mundo en la que se insertan dichos modelos se presenta la forma en que la teoría de la relatividad modificó y superó los conceptos clásicos del mundo dando lugar a una nueva concepción de la Naturaleza.

La incapacidad de los estudiantes para comprender los modelos fisicoquímicos tiene su origen en la forma en que se presentan los modelos en los textos de fisicoquímica. Para fundamentar esta tesis en el último capítulo de este trabajo se analiza la forma de exposición de los modelos de los gases y las soluciones ideales en dos textos de fisicoquímica seleccionados por su amplia utilización en las universidades de nuestro país.

## I

## EL SURGIMIENTO DE LA CONCEPCION CLASICA



## EL SURGIMIENTO DE LA CONCEPCION CLASICA.

### 1. ¿Qué es una concepción del mundo?

Una concepción del mundo es una creencia común de una escuela, de una corriente filosófica, de un grupo, de una secta, en un conjunto enlazado y consistente de opiniones ideas, que les permiten formarse una imagen coherente del Universo y explicárselo. Es una forma de pensar al mundo, de visualizarlo, de estructurarlo.<sup>22</sup>

Cualquier grupo social requiere de creencias compartidas por todos sus miembros que le den homogeneidad y cohesión. Ninguna sociedad podría subsistir sin un sistema de creencias compartidas y sin un marco conceptual aceptado que sean transmitidos día a día por la educación y la práctica social. Los científicos y filósofos, como miembros de un grupo social, son partícipes de las creencias dominantes en ese grupo y ese momento y, en general, a menos que su actividad los lleve a cuestionar dichas creencias, trabajan presuponiéndolas. En las teorías científicas como en las filosofías hay un aparato conceptual supuesto en ellas. La ciencia se refiere a hechos, objetos y las relaciones entre ellos. Ya que tiene que dar razón de estos hechos, objetos y sus relaciones el pensamiento científico parte de ciertas creencias básicas, con las cuales interpretarlos y explicarlos que no puede poner en duda en su proceso explicativo. Explicar quiere decir subsumir hechos o relaciones entre hechos bajo esquemas conceptuales cuya validez se acepta. Sólo cuando un sistema filosófico o una teoría se muestra incapaz de dar razón de los hechos, éstos serán cuestionados. En esos casos, la pregunta ya no se refiere a hechos, objetos o relaciones entre ellos, sino a las creencias básicas y a los conceptos supuestos en ellas. Sólo entonces se hace necesario poner a prueba el aparato conceptual. En este momento se pasa del cuestionamiento científico al filosófico. Este último no se refiere a hechos u objetos sino al marco conceptual supuesto en cualquier pensamiento sobre esos hechos u objetos, por consiguiente, atañe a las creencias básicas que anteceden a cualquier interpretación o explicación racionales. Así la filosofía se encuentra en el límite de todo pensamiento científico. Sin embargo, aun el

cuestionamiento más radical tiene que seguir admitiendo algunas creencias básicas de las que no puede deshacerse. Pero, por más limitado que sea este cuestionamiento siempre conduce a la clarificación de conceptos oscuros y al abandono de aquellos infundados así como a la formulación de nuevos conceptos y creencias.<sup>22</sup>

## 2. ¿Cuáles son las concepciones del mundo?

Esquemáticamente podemos decir que ha habido dos concepciones del mundo en las que se sustenta el pensamiento científico: la Concepción Clásica y la Concepción Relativista. La concepción clásica, newtoniana o cinético-corporal se refiere a los conceptos de espacio, tiempo, materia, movimiento y causalidad que explícita o implícitamente están en la base de todos los trabajos científicos y en gran parte de los filosóficos desde las especulaciones pre-científicas sobre la Naturaleza de los antiguos pensadores griegos, sobre todo Demócrito y Leucipo, hasta comienzos del presente siglo en que el desarrollo científico hace necesario poner a prueba el aparato conceptual supuesto en todos ellos. El siglo que vivimos produce una verdadera revolución en el pensamiento científico que va a criticar y a negar los conceptos clásicos fundamentales dando lugar al surgimiento de otros conceptos capaces de permitir la explicación de los nuevos descubrimientos científicos y -- que van a constituir lo que denominaremos en este trabajo la Concepción Relativista. Pero en ella, a diferencia de la concepción clásica, el aparato conceptual que sustituye a los conceptos clásicos arriba mencionados forma parte de la teoría misma. Ahora los supuestos son otros: la constancia de la velocidad de la luz, la velocidad límite para la propagación de cualquier fenómeno, etc.

## 3. Los orígenes de la concepción clásica.

### 3.1. El papel de los sentidos en la elaboración de la concepción clásica del mundo.

El hombre posee un conjunto de órganos sensoriales para registrar el mundo externo y una gran capacidad muscular para transformarlo. Con el aparato físico senso-muscular, que es relativamente comprensible, comenzó el conoci-

miento racional del mundo y la formación intuitiva de los conceptos clásicos de la Naturaleza. La ciencia clásica, como afirma J. Bernal, se originó a partir de la "extensión de la organización senso-motora del hombre"<sup>4</sup>. La ciencia en su origen se va a ocupar de las cosas que se ven, se sienten y se hacen.

La extensión física de la percepción y de la actividad humana inicialmente fue producto de la actividad muscular. Los sentidos, y sobre todo la vista, tienen un gran alcance sin necesidad de instrumentos. La extensión de la actividad muscular mediante el uso de herramientas fue anterior a la extensión de los sentidos por medio de instrumentos como los lentes o el radar.

Nuestras percepciones se presentan en relaciones de lugar y tiempo. Percibimos el espacio a través de la vista y del movimiento. En la cadencia de los sonidos, el oído que los escucha, juega un papel fundamental en la percepción del tiempo.

El movimiento muscular forma parte de las sensaciones. En los músculos hay un conjunto de dispositivos que miden el esfuerzo e indican el grado de tensión que soportan. La fuerza se siente tan directamente como se ven las cosas. Aunque la idea matemática de inercia llegó muy tarde, la sensación de inercia es inmediata e íntimamente relacionada a la fuerza que se requiere para poner en movimiento un cuerpo. La experiencia nos informa así, de la fuerza, la inercia, el movimiento, el espacio y el tiempo.

A través del tacto matizamos y descubrimos nuevas propiedades que la observación de los objetos nos sugiere. -- Las propiedades mecánicas de los cuerpos -resistencia, solidez, elasticidad- así como la textura nos brindan una variada red de propiedades que permiten diferenciar y conceptualizar a esos objetos de la Naturaleza. La materia que los ha de constituir se nos ofrece como una explicación a su existencia, pero también como una gran incógnita. La "materia" es el concepto que emplea la concepción clásica para dar cuenta del sustrato último que constituye a los objetos que se presentan en la Naturaleza, incluido el hombre.

### 3.2. El surgimiento de la concepción clásica.

Hemos analizado muy brevemente el papel de los sentidos en la formación de las ideas intuitivas que se encuentran en la base de la concepción clásica y que van a dar lugar a los conceptos fundamentales del modelo clásico de la Naturaleza. Asimismo vimos como el hombre se había percatado intuitivamente de la existencia del espacio, tiempo materia y movimiento. Veamos ahora rápidamente como se desarrollaron y afinaron gradualmente dichos conceptos fundamentales hasta conformar una concepción del mundo.

El desarrollo de estas ideas y su clarificación estuvo estrechamente ligado al de la ciencia y la técnica. Esta última consistía en el desarrollo de prácticas cuya finalidad era la satisfacción de necesidades primarias como por ejemplo la fabricación de cerveza y pan o los avances en metalurgia realizados en la antigüedad en Egipto, Mesopotamia, India y China. La ciencia, cuya función, como hemos mencionado, es dar razón de los hechos, de los objetos y de sus relaciones nace por un lado de los intentos de comprender, explicar y mejorar las técnicas desarrolladas empíricamente. Por otro lado, ligada a la religión y a la filosofía (de la que en sus orígenes difícilmente se diferenciaba) surge, como dice J. Bernal, "de la necesidad de organizar las relaciones del hombre con el Universo como un acto social" y de dar una imagen coherente de la Naturaleza basada en un conjunto interrelacionado de ideas y creencias que permitan explicarla y que al ser aceptadas por los miembros de una sociedad le den homogeneidad y cohesión a ésta.

El desarrollo del concepto del tiempo y su cuantificación están estrechamente ligados a la agricultura. Desde el comienzo de ésta el calendario adquirió una importancia fundamental. Los hombres necesitaban saber cuando llovería cuando se producirían las crecidas de los ríos, cuando helaría, cuando habría sequía. Había que determinar cuando se tenía que sembrar y cuando cosechar. Alguien, entonces, tuvo que ocuparse del calendario -el sacerdote, el mago o el astrónomo.

Predecir todo esto exigía observaciones continuas y --

llevó al descubrimiento fundamental de que hay fenómenos o sucesos que se producen con regularidad. Por ejemplo, la crecida del río Nilo era un acontecimiento anual que se producía con toda regularidad y la totalidad de la vida agrícola se tenía que organizar alrededor de este suceso.

Descubrir la regularidad en los fenómenos exigía una cuantificación, cuando menos aproximada, del tiempo, y a su vez, el descubrimiento de la regularidad permitía cuantificar el tiempo.

En sus inicios, la historia del calendario de hecho es la historia de la ciencia. El calendario implicaba el conocimiento y la comprensión de los movimientos celestes. El propósito original con el que se observó el firmamento fue su elaboración. Se trataba de relacionar los movimientos y las posiciones del Sol, la Luna y las estrellas con el calendario del agricultor. Como resultado de la observación del firmamento el hombre se formó un primer modelo del Universo: éste era como una gran casa con techo y paredes en la que estaban en constante movimiento un conjunto de puntos luminosos: el Sol, la Luna y las estrellas visibles. Había otros puntos, las estrellas más lejanas, que aparentemente no se movían. Se pensaba que marcaban los límites del Universo y que estaban fijas sobre una esfera que lo delimitaba. Los puntos luminosos aparentemente describían trayectorias circulares. Se le atribuyó entonces una esfera a mayor o menor distancia de la Tierra a cada uno de ellos, encerrados todos ellos dentro de la esfera de las estrellas fijas. La observación del movimiento aparente de la esfera celeste permitió definir las unidades de tiempo al subdividirla en trescientos sesenta grados. La cuantificación del tiempo fue fundamental en la formalización y precisión de este concepto.

A su vez, el concepto de espacio adquiere una importancia fundamental y se hace necesario cuantificarlo con el surgimiento de los problemas de la agrimensura: el concepto cuantitativo del espacio surge estrechamente relacionado con los problemas de la medición de terrenos -áreas y longitudes. Posteriormente, con el auge del comercio se requerirá medir volúmenes.

Los conocimientos sobre la medición de longitudes, áreas y volúmenes desarrollados en la antigüedad fueron sistematizados y desarrollados por Euclides. En su geometría queda formalizado el concepto clásico de espacio y perfectamente definida su estructura que corresponden a la noción intuitiva de éste.

En la búsqueda de un conjunto enlazado y consistente de ideas que le permitan al hombre formarse una imagen coherente de la Naturaleza, visualizarla como un todo y estructurarla sobresale de manera especial el pensamiento de la antigua Grecia. Fue en ella donde por primera vez se desarrollo una concepción del mundo, un conjunto de ideas coherente y completo que permitían explicar su unidad y diversidad.

Para los primeros filósofos griegos había dos problemas fundamentales que constituían el centro de interés de su filosofía: el problema de la sustancia de la que está hecha la Naturaleza y el problema de la estructura general de la Naturaleza.<sup>13</sup>

La proposición de los elementos como las sustancias más simples a partir de las que se forman todas las cosas es parte de un intento de imaginar el Universo como un todo unitario -una totalidad-, de explicar su diversidad y de resolver los problemas relativos a la estructura de la materia.

Había dos caminos para explicar la diversidad de formas de la materia. La demostración empírica de que algunas sustancias son diferentes formas de la misma sustancia básica inducía a pensar que la materia presenta una diversidad sólo aparente y a suponer que todas las sustancias materiales son únicamente diferentes formas de una sola sustancia básica. O la diversidad de la materia se puede explicar como debida a la diversidad de estructuras de unas pocas sustancias elementales.

Así, Tales de Mileto, situándose dentro de la primera forma mencionada de explicar la diversidad de la materia, propone al agua como el elemento fundamental. Su pensamiento es muy simple: si el agua existe como sólido, líquido y

gas y toda la materia existe en alguno de estos tres estados, entonces el agua debe ser el constituyente fundamental de la materia, la base de todas las cosas. Así, a partir del agua como elemento básico, el elemento que le da unidad a la materia, intenta explicar la diversidad de ésta: todos los cuerpos de la Naturaleza constituyen sólo diferentes estadios de condensación o dilatación de una sustancia primaria única: el agua. Esto no explicaba mucho pero daba por lo menos una cierta imagen natural en la que desaparecían los dioses y sólo quedaba la Naturaleza.

Un gran avance del pensamiento griego fue la idea de la infinitud del Universo. Anaximandro es quien formula más precisamente la infinitud de éste en el espacio y la idea de que el número de los mundos es infinito, así como la de que el mundo es infinito en el tiempo. Según él, el principio de todas las cosas, "el infinito", por el que probablemente debemos entender el aire, invisible y transparente, no nace ni perece, sino que es fuente inagotable de los mundos que nacen y perecen. Es importante notar que ya en estas primeras explicaciones está implícito un principio de conservación: El principio de conservación de todas las cosas, que no nacen ni perecen.

Para Heráclito, filósofo cuyo tema es el Universo, la realidad es dinámica. En su sistema el tiempo adquiere una importancia fundamental: más que objetos existen sucesos. En él la noción del devenir es lo fundamental para explicar tanto la Naturaleza como la sociedad. A partir de la observación de ellas se da cuenta que nada es permanente y rígido en el Universo, que todo está en perpetuo cambio, en movimiento y en transformación permanente: "Todo pasa. No puedes bañarte dos veces en el mismo río, pues nuevas aguas corren siempre sobre ti". Para él no existe más que el devenir que se da como el resultado de la lucha de los contrarios: "el combate es la ley del Universo y la guerra es la madre de todas las cosas, la reina de todo". En su filosofía el tiempo es infinito, el Universo no tiene comienzo ni fin: este orden de cosas "no ha sido creado por ningún dios, ni por ningún hombre, sino que siempre ha sido, es y será". Para Heráclito la esencia del devenir, del cambio, del movimiento, es el fuego (una llama está en perpetuo cambio, siempre está en movimiento), un fuego primor

dial, "eternamente viviente" que no se debe comprender sólo como una materia primordial, sino como una ley universal que es el principio a la vez del nacimiento de todas las cosas particulares, del movimiento de los astros y de la conducta moral de los humanos. Este fuego entonces no sólo es una materia y una fuerza; es también un ser inteligente, el principio universal que Heráclito identificaba a veces con Zeus.<sup>20</sup>

La diversidad de cosas nace de ese fuego, que tan --- pronto se enciende como se apaga. Según que el fuego se enfríe y devenga sólido o se recaliente y se vuelva fluido y móvil, nacen las diferentes materias que componen el mundo. La realidad y el valor de toda cosa están determinadas por la intensidad del fuego: cuanto más grande es el calor, más intensos son el movimiento, la fuerza vital, la conciencia; cuanto más grandes son la humedad y el --- frío, más dominan la rigidez y la muerte. Su interpretación de la cosmología y la astronomía es como sigue: periódicamente el Universo se reabsorbe en el fuego primordial, después se constituye de nuevo a partir de ese fuego. Los astros nacen de "las exhalaciones claras y puras de la Tierra".<sup>20</sup> El Sol es una masa de vapor ígneo reconstituyéndose día con día.

Para el desarrollo de las concepciones del mundo fueron muy importantes las paradojas formuladas por Parménides y Zenón. En una época en la que los pensadores centran su atención en los problemas cardinales del movimiento ellos hicieron patentes las dificultades con que choca el pensamiento al someter a análisis lógico el concepto de movimiento. Expresaron dichas dificultades en forma de paradojas. Una de ellas, planteada por Zenón, es la siguiente: si una flecha disparada por un arco estuviera en movimiento, entonces en cada momento del tiempo durante su vuelo debe encontrarse (reposar) en algún lugar del espacio. Pero ¿cómo puede estar en reposo si se encuentra en movimiento?; ¿cómo puede ser el movimiento una suma de estados de reposo?, si en todo instante de su vuelo la flecha está en reposo entonces resulta que a lo largo de aquel no se moverá. La suposición entonces de que una flecha disparada por un arco se mueve lleva a su propia negación y de ahí a una contradicción. Este razonamiento lle-

vó a estos filósofos a pensar que el movimiento no existe realmente, que es una ilusión. La negación del cambio y del movimiento los llevó a sostener que el Universo es estático y a negar la realidad del tiempo. El sistema que construyeron es opuesto al de Heráclito. Como la creencia en la existencia del movimiento se fundamenta en la percepción sensorial, Zenón concluyó que los sentidos nos engañan y que la experiencia no es una fuente confiable de conocimiento. De ahí en adelante el problema de la adquisición del conocimiento fue fundamental.

Tratando de superar este tipo de problemas Platón y otros filósofos plantearon un apriorismo extremo. Para Platón todo saber es la rememoración por el alma de objetos del conocimiento que ha contemplado directamente en una vida precedente a la existencia terrestre. Esos objetos del conocimiento son las ideas y el papel de la ciencia es hacer surgir del alma las imágenes de esos recuerdos que constituyen el conocimiento verdadero. Para él las ideas son existentes sólidos, inmóviles y rígidos, no siendo los fenómenos sino sus apariencias, sus imitaciones, sus imágenes o impresiones.<sup>20</sup> Así, por ejemplo, el Sol debe moverse siguiendo una trayectoria circular ya que debe imitar a esta figura perfecta, ideal.

Otra respuesta al problema planteado por Zenón fue la que dieron los empiristas que consideran que la experiencia es el último criterio de verdad. Ellos extrajeron una conclusión diferente de los argumentos de Zenón. Estando de acuerdo con él en que el movimiento implica una contradicción (es decir, en que la suposición de que algo se mueve lleva a una contradicción), ellos no aceptan la conclusión extraída por Zenón de que el movimiento, como contradictorio en sí mismo, no existe. Como empiristas reconocen la realidad del movimiento ya que la experiencia inequívocamente lo sostiene. Así, ellos sostienen que el movimiento existe y que implica una contradicción; que todo cambio y todo movimiento implica una contradicción; que la Naturaleza es esencialmente contradictoria.

Entre los pensadores que afirmaron la realidad del movimiento sosteniendo que la experiencia es el último criterio de verdad están Leucipo y Demócrito. Retomando el -

espíritu materialista de los primeros pensadores griegos intentaron explicar el mundo desde sí mismo sin recurrir a entes, como los dioses, externos a éste. En su sistema ya se encuentran implícitos los atributos fundamentales - del espacio, tiempo y movimiento de la concepción clásica que luego serán explicitados por Newton.

La sustancia fundamental de la que está hecho el mundo se podía concebir continua como el agua o discontinua como la arena. Tales sostuvo la primera posibilidad. Leucipo y Demócrito la segunda. Ellos se percataron de que - la materia no se da como sustancia unitaria sino como una multiplicidad de materias articuladas cualitativa y cuantitativamente por lo que vieron la esencia de las cosas - en una multiplicidad de átomos. El aumento del número de elementos primarios y el intento de reducir la variedad - de fenómenos que ocurren en la Naturaleza a diferencias - de combinación cuantitativa y espacial de dichos elementos, constituyó un paso adelante con el monismo de los -- primeros filósofos griegos.

Leucipo y Demócrito trataban de explicar la realidad física sirviéndose del marco del espacio y del tiempo y - estableciendo un vínculo causal entre los sucesivos fenómenos. Ellos se imaginaban que las partículas de la materia poseían cierto volumen, forma y posición o ubicación en el espacio; que sus posiciones variaban en el tiempo o lo que es lo mismo, que se desplazaban a través del espacio con cierta velocidad y que interaccionaban entre sí - por medio de contacto directo, esto es, por medio de choques. Este mecanismo de interacción está relacionado con el principio de la necesidad o de la causalidad universal. Ellos eran deterministas, sostenían que todo acontecimiento es el efecto de una causa, que cada cosa en la Naturaleza tiene una causa. Leucipo afirmaba que "todo transcurre por necesidad", "nada ocurre porque sí, sino por causas determinadas y en virtud de la necesidad".

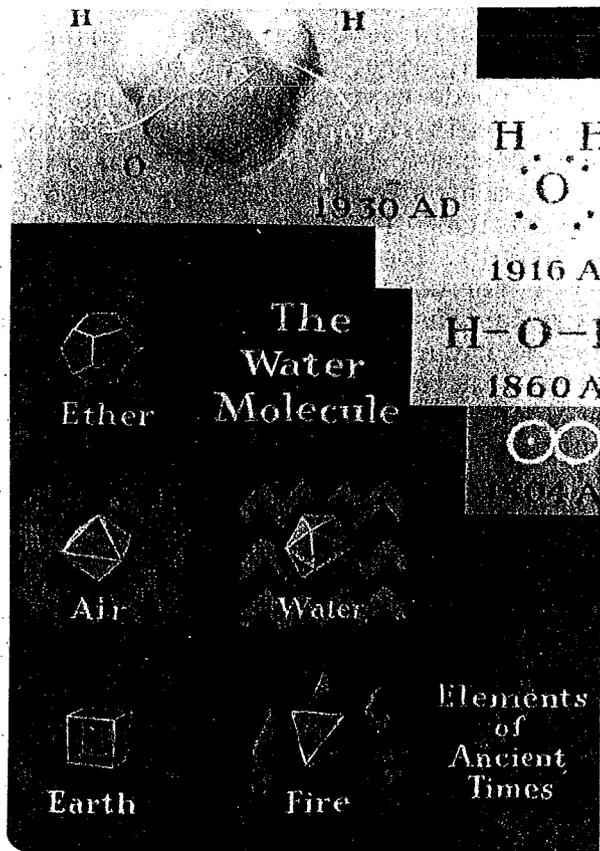
Aunque en el sistema de Leucipo y Demócrito encontramos las respuestas más avanzadas que dió el pensamiento - griego a los problemas fundamentales de éste: ¿cuál o cuáles son las sustancias de las que está hecho el mundo? y ¿cuál es la estructura de éste?, no fue su sistema ni el

más completo ni el más desarrollado. El sistema aristotélico fue el más completo y desarrollado que se elaboró en la antigüedad, el que explicó un mayor número de casos -- particulares, de fenómenos concretos.

De acuerdo con Aristóteles hay una materia universal y primaria de la que están hechas todas las cosas que existen. Esta materia se diferenciaba en cuatro elementos -- primarios: tierra, aire, fuego y agua. Esta división de la materia se puede expresar diciendo que la materia primaria se diferenciaba en aquellas cosas que son sólidas, -- las que son gaseosas, las líquidas y las radiantes. Con los cuatro elementos están asociadas cuatro cualidades o naturalezas básicas: lo caliente, lo frío, lo húmedo y lo seco. Por ejemplo, los cuerpos que en su estado natural son sólidos o terrosos son de naturaleza fría y seca, --- mientras que las sustancias líquidas son frías y húmedas y las cosas de naturaleza radiante son calientes y secas. La naturaleza exacta de una cosa se puede determinar por las proporciones en las cuales las naturalezas básicas están presentes en ella, las que a su vez se pueden determinar por la proporción de cada elemento en la composición de esa cosa.<sup>13</sup>

Aristóteles distinguía dos componentes en cada cuerpo: materia y forma. La materia de un cuerpo es aquello de lo que está hecho. La forma es aquello que hace que una cosa sea esa y no cualquiera otra. Por ejemplo, un árbol de -- manzana está hecho de un conjunto de sustancias, la materia que lo constituye, y su forma son todas aquellas propiedades que son atributos de ese árbol: su capacidad de crecimiento, de asimilar sustancias inorgánicas, etc.

El creía que las cosas tienen potencialidades para el cambio. Para él los cambios en el mundo se deben a procesos por medio de los cuales lo que era potencial se vuelve actual; lo que era menos perfecto trata de volverse -- más perfecto; y lo que no estaba donde le correspondía naturalmente se esforzaba por retornar a su lugar natural.<sup>13</sup> Este último punto en particular implicaba que las diversas regiones del espacio tenían propiedades diferentes: -- la materia tendía a desplazarse a una región del espacio que fuera acorde con ella.

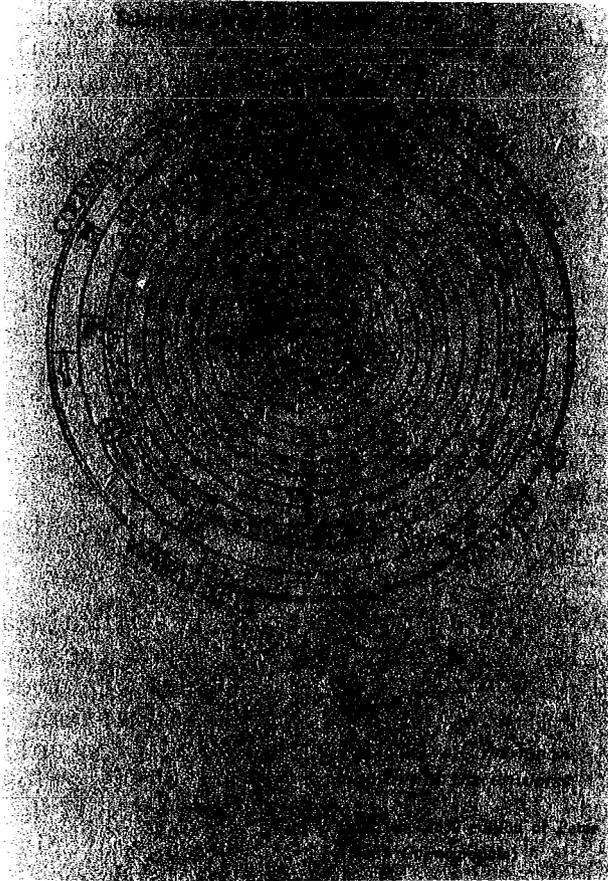


*Los elementos aristotélicos y el desarrollo -  
del modelo de la molécula del agua.*

Las ideas relativas a la naturaleza del cambio llevaron a la idea aristotélica de causa y con ésta a una forma de explicación que dominó en la ciencia desde la antigüedad hasta el fin de la Edad Media. Según Aristóteles - en toda investigación científica era necesario responder a las siguientes preguntas: ¿qué cuerpos materiales están involucrados en el proceso bajo estudio?, ¿de qué forma se lleva a cabo el proceso?, ¿cuál es la finalidad del -- proceso? y ¿cuál es la causa o estímulo inicial?<sup>13</sup>

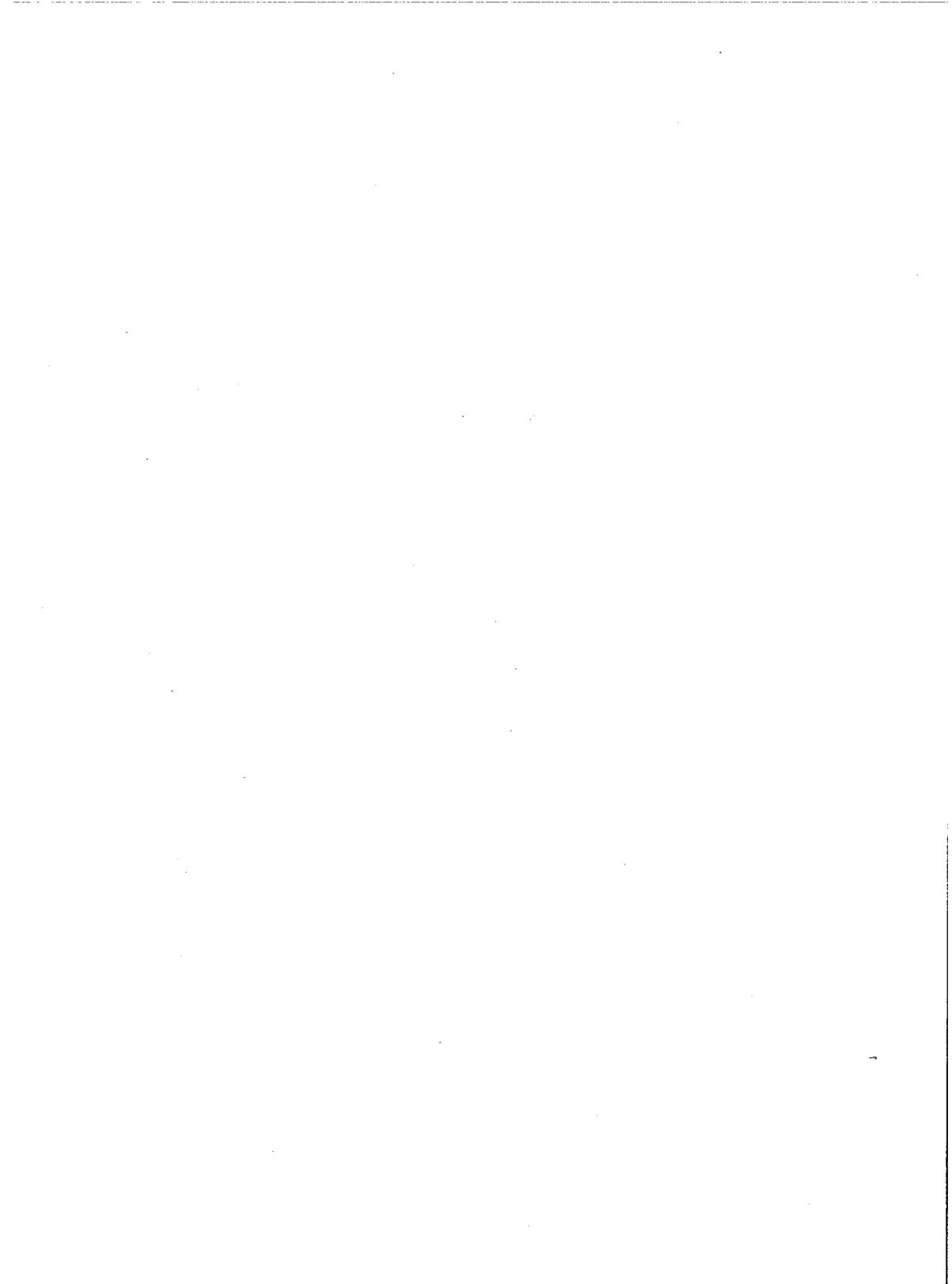
Otro punto fundamental del sistema aristotélico es -- que en él todas las cosas tienen una naturaleza esencial. ¿Qué significa esto? Veamos un ejemplo. Si una piedra se eleva a cierta distancia del suelo, entonces por necesidad ésta debe descender hacia la tierra. Está en la naturaleza de la piedra buscar su lugar natural, el cual es - estar en contacto con el suelo. Pero si la piedra al caer golpea la cabeza de una persona, esto es algo que sucede por casualidad, porque no está en la naturaleza esencial de la piedra golpear la cabeza de un hombre. Según Aristóteles podemos formular leyes de la Naturaleza únicamente para aquellas cosas o sucesos que se siguen de las naturalezas esenciales de las cosas, no para aquellas que ocurren por azar.<sup>13</sup>

La concepción aristotélica de la Naturaleza se mantuvo vigente hasta el Renacimiento cuando fue reemplazada - por la concepción cinético-corpúscular. En todos los procesos en los que se había aplicado el sistema de conceptos aristotélicos, los atomistas pudieron aplicar con éxito su propio aparato conceptual y explicarlos como re- reglos y cambios en el estado de movimiento de los corpúsculos de los que se suponía formada la materia. Sin embargo, las explicaciones de los nuevos fenómenos descubiertos en la segunda mitad del siglo XIX en base al sistema corpúscular se volvieron extremadamente complejas. En particular la necesidad de explicar los resultados de las investigaciones de Faraday en electricidad, magnetismo y -- luz mostró la insuficiencia del sistema corpúscular. Este sistema se encuentra tan arraigado en nuestra cultura que aún lo seguimos utilizando, seguimos haciendo uso de los modelos desarrollados en base a la concepción cinético--- corpúscular a pesar de la insuficiencia de ésta.



*Modelo precopernicano del universo.*

En éste trabajo se pretende hacer claro que una parte muy importante de los modelos fisicoquímicos que utilizamos y que se exponen en los libros de texto mas usuales - se insertan dentro de la concepción clásica de la Naturaleza y que las limitaciones de estos modelos, su insuficiencia para explicar los hechos experimentales encuentra su explicación en la insuficiencia de la concepción clásica para dar razón de la realidad. No se pretende desarrollar modelos en base a una nueva concepción de la Naturaleza, la complejidad de éstos los haría inoperantes. Pero creo que para la comprensión de los fenómenos fisicoquímicos y de la fisicoquímica como ciencia es fundamental conocer el marco en el que se insertan los modelos empleados por ésta y sus limitaciones e insuficiencias orgánicas.



## II

## LA CONCEPCION CLASICA

## LA CONCEPCION CLASICA DEL ESPACIO

" Me parece que la teoría atómica de los antiguos, - con sus átomos existiendo separadamente unos de otros, -- presuponía necesariamente un espacio como continente de - todos los objetos materiales ".

A. Einstein.<sup>14</sup>

En la concepción clásica de la naturaleza el espacio se concibe como un recipiente en el cual existe la materia y en el cual se mueve. Dicho recipiente se supone formado por un conjunto infinito de puntos sin dimensión, -- cualitativamente idénticos y sin intersticios entre ellos y se caracteriza por las siguientes propiedades:<sup>6</sup>

1. Homogéneo
2. Inmutable
3. Independiente de la materia
4. Infinito
5. Continuo
6. La relatividad de la posición
7. La relatividad de la magnitud
8. Tridimensional

¿COMO SURGE EL CONCEPTO DE ESPACIO? El concepto de espacio surgió cuando los antiguos pensadores griegos se plantearon el problema del ser y el no ser en relación al problema del movimiento.

Antes de Leucipo los griegos no concebían la existencia de algo que no fuera material. Al conjunto de todos los cuerpos materiales genéricamente le llamaron "el ser" (todo lo que "es", todo lo que existe, el "todo"). Parménides y sus discípulos hicieron ver que el "ser" era una unidad perfectamente compacta ya que si todo lo que "es" tiene una existencia material entonces la materia tiene que ser un continuo, no puede haber algo que no sea material que separe a las diferentes porciones de materia. ¿Cómo se puede entender el movimiento si la materia es un "Todo" perfectamente homogéneo, si cualquier porción de este "Todo" está completamente rodeada por materia? Al -- concebir a la materia como una unidad perfectamente com-

pacta y al no concebir la existencia de algo no material - se llegó de una manera natural a negar el movimiento.

Como el movimiento es un hecho empírico y su existencia es algo que no se puede negar, Leucipo y Demócrito lo fundamentaron postulando la existencia de algo que no era material a lo que llamaron "no ser". Ellos concibieron a la materia como corpuscular, es decir, como formada por pequeñas partículas o átomos indivisibles que se podían agrupar en conglomerados más grandes. El "no ser" era el divisor entre los conglomerados de materia y entre los corpúsculos y era el continente de la materia, el lugar en el que ésta existe y se desplaza; en pocas palabras el "no ser" es el espacio, al que no se concebía como algo real - antes del planteamiento de Leucipo.

### LAS PROPIEDADES DEL ESPACIO

LA HOMOGENEIDAD. La homogeneidad del espacio significa que sus propiedades no dependen de las regiones de éste, que son las mismas en cualquier región del espacio. Sostener su homogeneidad equivale a afirmar que el espacio está formado por puntos sin dimensión cualitativamente idénticos y distribuidos con la misma densidad en todo el espacio.

Cuando Aristóteles y sus seguidores atribuían las diferencias cualitativas de la materia a diferencias cualitativas del espacio estaban afirmando la heterogeneidad de éste: sostenían que cada tipo de materia tenía su lugar en el espacio, su "lugar natural", y era éste el que determinaba sus propiedades.

En contraposición a ellos los atomistas sostuvieron que la diversidad cualitativa de la naturaleza se debe a las diferentes formas y posiciones y a los movimientos de los átomos; no atribuían las diferencias cualitativas de la materia a diferencias cualitativas del espacio.

La creencia en la homogeneidad del espacio se mantuvo hasta el surgimiento de la teoría general de la relatividad. Aún pocos años antes del surgimiento de esta teoría, en 1897, B. Russell escribió (An Essay on the Foundations

of Geometry): "Todos los puntos (del espacio) son cualitativamente similares, y se distinguen por el mero hecho de estar situados unos fuera de otros"<sup>6</sup>. En esta cita Russell afirma la equivalencia cualitativa de todos los puntos de los que se supone formado el espacio y sostiene que la única diferencia entre los puntos es por la posición que ocupan en el espacio, esto es, sostiene el principio de yuxtaposición de dichos puntos (no puede haber dos puntos sobre puestos, los puntos espaciales están acomodados uno al lado del otro de tal manera que no hay intersticios entre ellos).

LA INMUTABILIDAD. Que el espacio sea inmutable quiere decir que sus propiedades no cambian a través del tiempo, que los puntos geométricos que lo constituyen mantienen -- las mismas relaciones entre ellos no sólo en cualquier región, sino también en cualquier momento. El espacio permanece idéntico a través del tiempo y posee una estructura rígida.

Si la homogeneidad se entiende no sólo como la equivalencia de todas las regiones del espacio en un momento dado, sino también como el que las propiedades del espacio son las mismas en cualquier región y en cualquier instante, entonces la homogeneidad en el espacio y en el tiempo es equivalente a la inmutabilidad del espacio.

Cuando los atomistas afirmaban que todos los cambios que ocurren en la naturaleza se deben a la interacción de los cuerpos que hay en ésta y no a cambios en el espacio ya estaban suponiendo la inmutabilidad de éste.

LA INDEPENDENCIA DEL ESPACIO DE SU CONTENIDO FISICO. Por esto entendemos que el lugar que ocupe la materia en el espacio no puede influir sobre ella, no puede provocar cambios cualitativos en ella ni ser causa de su movimiento y a su vez, la presencia de la materia no puede alterar -- las propiedades del espacio. Esta fue la posición de los atomistas griegos y sus seguidores, la posición contraria la sostuvieron Aristóteles y sus discípulos.

La inmutabilidad del espacio y su independencia de la materia fueron aceptadas por casi todos los científicos --

hasta comienzos de este siglo. Citemos a dos de ellos. William Gilbert (s. XVII) escribió: "... la posición no puede tener efecto en la naturaleza. La posición no es nada; no existe; todo poder reside en los propios cuerpos. Ni Venus, ni Mercurio, ni la Luna se mueven a causa de la posición en el mundo, ni las estrellas fijas permanecen en reposo a causa de la posición..."<sup>6</sup> Gilbert se percató de que la inacción causal o pasividad del espacio niega que el lugar o cambio de lugar pueda tener efecto causal sobre la materia. Newton, en sus Principia Matemática, afirmó: "El espacio absoluto, sin consideración hacia ninguna cosa externa, permanece siempre similar e inmóvil"<sup>6</sup>. En esta cita vemos que Newton estaba convencido de la inacción causal de la materia sobre el espacio y de la inmutabilidad de éste.

La independencia del espacio de su contenido físico se desprende de la homogeneidad del primero. Como el espacio está formado por un conjunto infinito de puntos sin dimensión, idénticos, sin intersticios entre ellos y con la misma densidad de puntos en cualquiera de sus regiones entonces la única diferencia que puede haber entre estos puntos es que estén ocupados o no por materia, pero esta diferencia no es una diferencia de los puntos en sí, sino que es casual y temporal. El que una región del espacio esté ocupada y no otra no es una propiedad del espacio y el que una porción de materia se desplace de una región a otra no produce ningún efecto sobre los puntos espaciales.

LA INFINIDAD. Un espacio infinito es aquel que carece de límites. La no existencia de límites para el espacio es una consecuencia de su homogeneidad: un espacio finito implica que existen límites o barreras (como las esferas cristalinas supuestas por Aristóteles y Ptolomeo en las que se encontraban las llamadas estrellas fijas y que constituían los límites del universo) constituidos por una clase especial de puntos más allá de los cuales no hay espacio: puntos que no estarían totalmente rodeados por otros puntos espaciales. La existencia de tales puntos es contraria a la hipótesis de homogeneidad por lo que en un espacio homogéneo no puede haber tales límites.

Ya entre los antiguos griegos se había reconocido que

las barreras materiales, por el hecho de estar en el espacio, no pueden ser límites de éste. Arquitas de Tarento, contemporáneo de Aristóteles, criticó la creencia de éste en un universo cerrado de esta manera: "Si estoy en la extremidad del cielo de las estrellas fijas, ¿puedo extender la mano o el báculo? Es absurdo suponer que no podría; y si puedo, lo que hay fuera debe ser o cuerpo o espacio. De igual manera, podemos llegar de nuevo al exterior de eso entonces, y así sucesivamente; y si siempre hay un nuevo lugar hacia el cual se puede extender el báculo, esto implica claramente una extensión sin límite"<sup>6</sup>. Este planteamiento según el cual el espacio es infinito e ilimitado -- también se encuentra en el segundo postulado de Euclides -- que dice: todo segmento rectilíneo puede extenderse más -- allá de sus extremidades infinitamente.

#### LA CONTINUIDAD O DIVISIBILIDAD INFINITA DEL ESPACIO.

Un espacio continuo es aquel en el cual cualquier región -- de éste por más pequeña que sea, siempre contiene un número infinito de puntos. Esto es, cualquier intervalo de espacio se puede subdividir una y otra vez sin alcanzar un límite. El espacio clásico se concibe como una colección -- de puntos infinitamente pequeños acomodados tan estrechamente que el resultado es un continuo. No puede haber regiones en las que no haya puntos ni en las que haya puntos de tamaño finito ya que tales regiones contravendrían la hipótesis de homogeneidad. En el primer caso se trata -- de regiones en las que no habría espacio. En el segundo, -- de intervalos en los que no habría otros puntos yuxtapuestos más pequeños que los constituyan, serían intervalos carentes de espacialidad, en los que se contradeciría la relación fundamental entre los puntos espaciales: la de yuxtaposición.

LA RELATIVIDAD DE LA POSICION. Esta característica -- del espacio clásico significa que todas las posiciones que puede ocupar un cuerpo en este espacio son equivalentes -- cualitativamente. Una partícula o un cuerpo no adquiere ni pierde atributos al pasar de una región a otra. Todas las posiciones son equivalentes en un espacio homogéneo. Cuando Newton demostró de una manera definitiva que no hay dos físicas, una celeste y otra terrestre, al aplicar las mismas leyes físicas a la explicación y predicción de los mo-



*Si el universo es limitado ¿qué hay fuera de él?*

vimientos de los cuerpos celestes y terrestres dió el golpe mortal a la doctrina aristotélica de los "lugares naturales" que sostenía la diferencia cualitativa de las regiones del espacio. Aunque Newton creía que las posiciones se podían determinar de una manera absoluta con respecto al espacio absoluto o con respecto a un cuerpo en reposo absoluto, al demostrar la aplicabilidad de las mismas leyes en todas las regiones y por lo tanto en todas las posiciones que puede ocupar un cuerpo afirmó la relatividad o la equivalencia de éstas. Esta característica también se desprende de la homogeneidad del espacio ya que en un espacio en el que todos sus puntos y todas sus regiones son cualitativamente idénticos e independientes de la materia el que una partícula o un conglomerado de éstas ocupe una región del espacio es equivalente a que ocupe cualquier otra.

LA MAGNITUD ES RELATIVA. De acuerdo con este atributo las propiedades del espacio son las mismas en todos los niveles de la existencia: cósmico, mesocósmico y microcósmico. La estructura del espacio es la misma en cualquier nivel que la consideremos, entendiendo por estructura la relación entre los puntos espaciales. (La estructura del espacio clásico se encuentra expresada en la geometría euclidiana). Este atributo fundamentó la creencia de que reduciendo las dimensiones de los cuerpos visibles en la misma proporción, podemos obtener un modelo satisfactorio de los objetos microfísicos, creencia que expresa el autor de Gulliver, J. Swift, así:

"De esta manera, observan los naturalistas que una pulga tiene pequeñas pulgas que en ella hacen presa; y éstas tienen otras más pequeñas todavía que las pican, y así proceden ad infinitum"<sup>6</sup>

Otro ejemplo fue la creencia en que el átomo era un sistema solar en pequeño siendo los electrones los planetas y el núcleo el sol (modelo del átomo de Bohr).

Si el espacio es homogéneo entonces las propiedades del espacio son las mismas en todos los niveles de la realidad. La igualdad del espacio microfísico y macrofísico

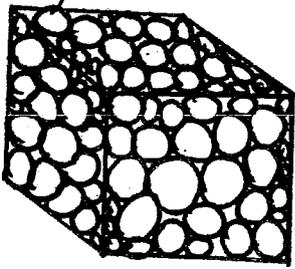
entonces se desprende de la homogeneidad del espacio.

Todas las propiedades del espacio que hemos mencionado se desprenden de su homogeneidad. La única propiedad que no se pudo deducir de ésta fue su carácter tridimensional cuya única justificación fue que lo requería nuestra experiencia.

¿Qué es el espacio?

¿Cómo nos damos cuenta de su existencia?

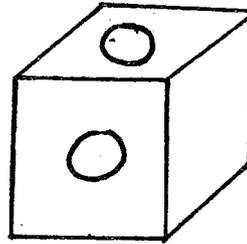
¿Qué es el vacío?



En un cubo lleno de canicas ¿puede desplazarse alguna de ellas - en el interior del cubo? ¿por qué?

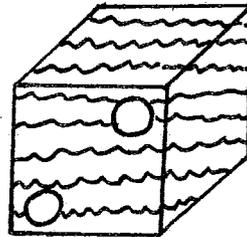
En este caso ¿puede desplazarse alguna de las canicas?

¿por qué?



Imagine que el cubo es de agua líquida, de paredes imaginarias, y que contiene sólo dos canicas, ¿puede desplazarse alguna de ellas?

¿por qué?



El espacio ¿está formado por "algo" o está vacío?

¿Puede concebir que el espacio sea continuo y atómico simultáneamente?

El estudio de la estructura tridimensional de las moléculas - permite explicar las propiedades químicas de las sustancias.

¿Constituye ésto una prueba de la tridimensionalidad del espacio?

## LA CONCEPCION CLASICA DEL TIEMPO

El segundo concepto fundamental de la concepción clásica es el del tiempo. Las características fundamentales de éste tal como se concebía clásicamente son:<sup>6</sup>

1. Es homogéneo.
2. Independiente de su contenido físico.
3. Continuo.
4. Infinito.
5. Las magnitudes temporales son relativas.
6. Fluye uniformemente.
7. Es unidimensional.

La sensación del tiempo está estrechamente ligada con los cambios de sensaciones, imágenes, vivencias, recuerdos, pensamientos. Nuestras sensaciones e imágenes se van alternando no en forma caótica, sino en cierto orden, de modo que las sentimos "antes" o "después" que otras; están dispuestas no sólo en un orden de coexistencia, sino también en un orden de sucesión, vinculado con la relación antes - después. Es un hecho empírico que todos los fenómenos obedecen un orden de sucesión. Si suponemos, como en la concepción clásica, que el tiempo está constituido por puntos temporales, estos puntos deben ser sucesivos, es decir, la relación fundamental entre los puntos temporales es la de sucesión.

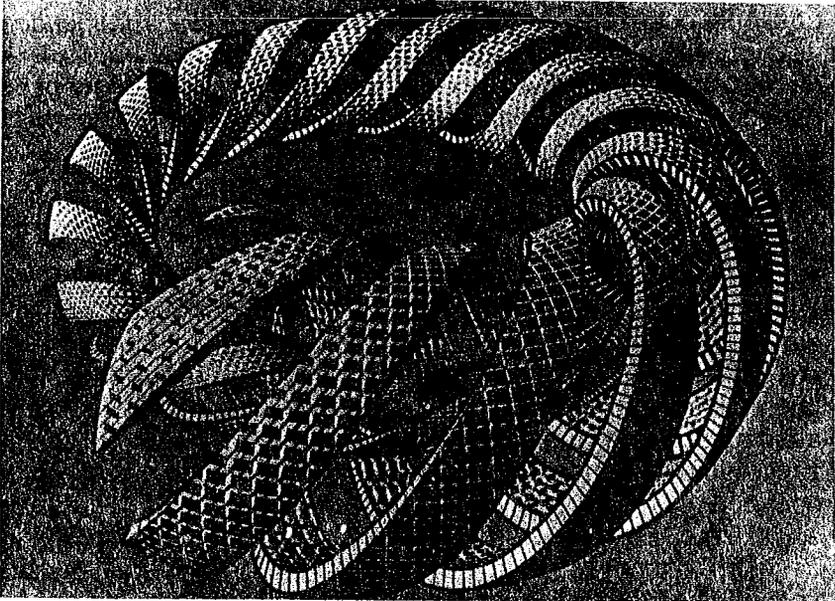
LA HOMOGENEIDAD. Para que el tiempo sea homogéneo, todo punto temporal tiene que estar precedido por un punto y seguido por otro. No puede haber intervalos, por más pequeños que sean, en los que no haya puntos. La densidad de puntos que hay en cualesquiera dos intervalos de tiempo tiene que ser la misma.

LA INDEPENDENCIA DE SU CONTENIDO FISICO. Así como en la concepción clásica el espacio es el continente de la materia, el tiempo es el "lugar" donde ocurre el movimiento, donde existe el movimiento. La independencia del tiempo de su contenido físico, la existencia del tiempo independientemente de que haya materia o no y de que ésta esté en movimiento o no, se desprende de la homogeneidad del tiempo.

Reduciendo todos los cambios físicos a cambios de posición de las partículas atómicas encontramos que los momentos sucesivos de las transformaciones físicas son diferentes --- mientras que los instantes sucesivos de tiempo carecen de otra diferenciación que la que resulta de su sucesión. Cualitativamente los instantes temporales son equivalentes, --- la única diferencia entre ellos es la posición que ocupan en la serie temporal. Dos momentos de tiempo siguen siendo sucesivos incluso si son idénticos todos los sucesos físicos que ocurren en esos momentos. Sólo la independencia -- del tiempo respecto al cambio hace que sea posible hablar de diferentes momentos de duración cuando no se produce -- ningún cambio, como cuando un cuerpo retiene su posición -- sin cambio alguno a través del tiempo, o cuando determinada cualidad psicológica persiste a través de cierto intervalo de tiempo.

La independencia del tiempo de su contenido físico -- fue sostenida por Isaac Barrow e Isaac Newton entre otros. Barrow, quien fuera maestro de Newton, la expuso de la siguiente forma: "Pero ¿implica movimiento el tiempo? De ninguna manera, replico, en cuanto se refiere a su naturaleza absoluta, intrínseca; no más que el reposo; la cantidad de tiempo no depende de uno ni de otro esencialmente; corran o estén quietas las cosas, estemos dormidos o despiertos, el tiempo fluye en su carrera uniforme. Imaginemos que todas las estrellas han permanecido fijas desde su nacimiento; nada se habría perdido para el tiempo; esa quietud habría durado tanto como se ha continuado el curso de ese movimiento"<sup>6</sup>. A la pregunta de que si del hecho de que transcurra el tiempo se sigue que tiene que haber movimiento -- Barrow responde, afirmando la independencia del tiempo de los procesos físicos, que independientemente de que ocurra un determinado fenómeno o no el tiempo transcurre en la -- misma forma.

Esta misma idea será expuesta por Newton unos años -- después: "El tiempo verdadero y matemático absoluto, de -- por sí y por su propia naturaleza, fluye uniformemente, -- sin consideración a ninguna cosa externa. También se llama duración. El tiempo relativo, aparente y vulgar es cierta sensible y externa medida de tiempo absoluto (duración), -



estimada por los movimientos de los cuerpos, ya exacta o desigual, y comunmente se utiliza en vez de tiempo verdadero; tal como una hora, un día, un mes, una semana". (Mathematical Principles of Natural Philosophy)<sup>6</sup>.

Como un desplazamiento en el tiempo, en virtud de la equivalencia cualitativa de los instantes sucesivos, no puede producir ningún efecto físico entonces los cambios en los cuerpos físicos únicamente deben resultar de causas físicas, no del tiempo en sí. El transcurso de éste, entonces no puede tener ningún efecto sobre la estructura, la forma de las leyes físicas. Si el tiempo no puede ser causa de nada entonces no hay razón por la que deban cambiar las leyes físicas y éstas deben permanecer inalterables.

La estructura del espacio también tiene que ser independiente del tiempo, ya que lo contrario implica la acción causal de éste sobre aquella y rompe la homogeneidad del tiempo y la del espacio en el tiempo.

LA DIVISIBILIDAD INFINITA DEL TIEMPO. Si el tiempo es continuo entonces en cada intervalo temporal, por más pequeño que sea, tiene que haber un número infinito de puntos temporales. Si el tiempo es homogéneo, entonces éste debe ser infinitamente divisible, ya que la homogeneidad implica que el tiempo fluya en todos los intervalos temporales por más pequeños que sean. Si consideramos un límite a la divisibilidad del tiempo entonces suponemos que existen "átomos" de tiempo, en los cuales éste no fluye, intervalos en los que no existen otros intervalos sucesivos. Serían intervalos no temporales cuya existencia contravendría la hipótesis de homogeneidad ya que según ésta si en un intervalo fluye el tiempo entonces tiene que fluir en cualquier otro. Entonces, si el tiempo es homogéneo también debe ser infinitamente divisible.

LA INFINIDAD DEL TIEMPO. Este atributo significa que el tiempo no tuvo un origen y no tendrá fin y también se desprende de su homogeneidad. Si existieran momentos iniciales en el pasado o finales en el futuro, tales momentos serían privilegiados con respecto a los demás momentos. No habría instantes de tiempo que los antecederan en el pri-

mer caso ni que los sucedieran en el segundo, a diferencia de lo que sucede con los demás instantes. Si el tiempo es homogéneo, todo instante temporal debe tener su antecesor y su sucesor.

La creencia en un momento inicial del universo se debió más a motivos teológicos que a razones científicas, y aún así, generalmente se refería al comienzo del universo en el tiempo y no al de éste con aquel. El tiempo casi -- siempre se consideró como el "lugar" en el que se crea el universo.

LA RELATIVIDAD DE LAS MAGNITUDES TEMPORALES. Por esto entendemos que la estructura del tiempo en intervalos muy pequeños es la misma que en intervalos muy grandes, - que la del microcronos es igual a la del macrocronos. Así como sólo el espacio euclidiano homogéneo admite la posibilidad de construir figuras geométricas con las mismas - propiedades en cualquier escala, sólo el tiempo homogéneo que fluye uniformemente, simbolizado por la línea recta - permite contraer o dilatar segmentos temporales sin distorsión. En el tiempo homogéneo mientras la longitud del intervalo es relativa el orden de sucesión de los puntos temporales permanece constante por pequeños o grandes que sean los intervalos considerados.

LA UNIFORMIDAD DEL CURSO TEMPORAL. Esta propiedad -- significa que el ritmo de todos los cambios es constante, ha sido el mismo en el pasado y será el mismo en el futuro. No varía de una región del espacio a otra ni con el - transcurso del tiempo. Aunque no se puede hallar ninguna evidencia empírica de ella se sostuvo porque era lógicamente más sencillo suponer la constancia que la variabilidad y porque la idea de un tiempo no uniforme lleva a una contradicción con la inacción causal del tiempo. Cualquier contracción o expansión del tiempo en todas las regiones del espacio implicaría un cambio en la velocidad con la - que se desarrollan todos los procesos físicos y no habría forma de percatarnos de esta alteración, ya que ésta también incluiría a los procesos por los cuales medimos la - rapidez con la que se desarrollan los fenómenos.

LA UNIDIMENSIONALIDAD. Al igual que la tridimensionalidad del espacio no se sigue de su homogeneidad, el carácter unidimensional del tiempo tampoco se sigue de su homogeneidad y sólo se mantuvo porque la experiencia lo requiere.

*¿Cómo se manifiesta el tiempo?*

*¿Qué es el presente? ¿Cuánto "dura"?*

*¿Existe el pasado? ¿Y el futuro?*

*Si el pasado ya no existe y el futuro todavía no y si el presente es un instante infinitamente pequeño, un instante sin duración entonces, ¿cómo podemos hablar del presente, de algo que no tiene duración?*

*¿Es el tiempo algo real y objetivo en donde se dan todos los procesos físicos y químicos o el tiempo no existe y a lo que le damos este nombre es una medida del movimiento?*

*¿Son independientes del tiempo los cambios fisicoquímicos a los que llamamos envejecimiento siendo la única relación entre ellos que los segundos ocurren en la dirección en que transcurre el primero?*

¿Sufriría algún cambio la materia con el transcurso del tiempo?

Un gas dentro de un recipiente perfectamente aislado de tal manera que no esté sujeto a ninguna acción exterior ¿sufriría algún cambio por el solo hecho de que transcurra el tiempo?

¿Varía con el tiempo la masa de un electrón?

¿Puede concluirse de las respuestas anteriores que el tiempo y la materia son independientes?

## LA MATERIA EN LA CONCEPCION CLASICA

El concepto de materia, uno de los cuatro conceptos fundamentales con los que se construye la representación clásica del mundo, se mantuvo casi sin cambios desde la época de Leucipo y Demócrito hasta comienzos de este siglo: un algo impenetrable que llena completamente ciertas regiones del espacio y que persiste a través del tiempo - aún cambiando de lugar. En la concepción clásica o cinético-corpúscular la materia tiene los siguientes atributos (no todos derivables de la definición):<sup>6</sup>

1. Su naturaleza es atómica (es discontinua).
2. Sus elementos constitutivos son:
  - a) impenetrables e indivisibles
  - b) indestructibles

LA DISCONTINUIDAD O ATOMICIDAD DE LA MATERIA. Como - hemos visto, la razón por la que se introdujo la hipótesis de que la materia no es un todo continuo sino que se encuentra dispersa en el espacio fue de naturaleza empírica: la requiere nuestra experiencia, no había otra forma de explicar el movimiento. Pero no había ninguna razón empírica que sustentara la creencia en la existencia de un límite a la divisibilidad de la materia. La creencia en un radio y una masa finitos de las últimas partículas de la materia - no se puede derivar de la definición de ésta, el único motivo para sostener la teoría atómica era su simplicidad lógica. La posición contraria, la que sostiene la divisibilidad infinita de la materia, también es perfectamente compatible con la física clásica.

LA IMPENETRABILIDAD E INDIVISIBILIDAD DE LA MATERIA. Si la materia es espacio ocupado, el volumen lleno ya no puede estar más lleno o lleno simultáneamente de otra cosa. Cuando una porción de materia resulta penetrable concluimos que lo que sucede es que estamos tratando con un conglomerado de partículas últimas y que únicamente se están separando éstas. La materia se divide sólo cuando un agente mecánico penetra en los pequeños intersticios que existen entre las partículas que constituyen un cuerpo. Lo que está completamente lleno, lo que no tiene intersticios, los átomos, no admiten ninguna penetración extraña y son

absolutamente indivisibles. Los átomos impenetrables tienen una solidez, que como observó Huygens, es infinita. Los diferentes grados de dureza que observamos se deben a las diferentes maneras en que se asocian las partículas últimas para constituir los diferentes cuerpos.

LA INDESTRUCTIBILIDAD. La indestructibilidad de los átomos se desprende de su resistencia infinita a cualquier agente divisor y equivale a la constancia de la materia, a la constancia de la masa y a la constancia del volumen y la forma de las partículas últimas. Como los átomos son indestructibles y la masa de toda la materia es igual a la suma de las masas de las partículas últimas entonces la constancia de la masa equivale a el principio de conservación de la materia. La variabilidad del volumen atómico implicaría un incremento o una reducción de la cantidad de materia contenida en las partículas últimas o sino cierta elasticidad de estas. La primera posibilidad de violar la constancia del volumen es incongruente con la constancia de la masa. La segunda nos lleva a aceptar que iguales cantidades de materia ocupan diferentes volúmenes, algo que es inconcebible sin suponer la existencia de partículas aún más pequeñas que puedan ser separadas por medio del vacío. Si los átomos tienen una solidez absoluta esto quiere decir que son absolutamente rígidos de lo que se deduce que su forma es invariable (generalmente se aceptó la forma esférica por simplicidad).

El concepto clásico del átomo es, por su propia naturaleza, incompatible con cualquier idea de variabilidad de éste, ya sea en masa, volumen o forma. El átomo clásico es inmutable a través del tiempo. Todo su valor para la explicación científica radicaba precisamente en su supuesta autoidentidad y permanencia.

¿Qué es la materia? ¿Cuál es su propiedad fundamental?

Así como un cuerpo está formado por moléculas, una molécula - por átomos y estos por electrones, protones y neutrones ¿están los electrones formados por partículas más fundamentales, estas a su vez por otras y así sucesivamente? ¿Hay un límite a la subdivisión de la materia?

¿Hay intersticios, huecos, dentro de las partículas últimas?

¿Podemos romper una partícula última? ¿Por qué?

Si la materia es de naturaleza atómica y no hay manera de romper una partícula última ¿qué podemos concluir?

¿Contienen la misma cantidad de materia todos los electrones?

¿Tienen el mismo volumen y la misma forma?

¿Es elástico un electrón?

Las partículas que forman un gas ¿están uniformemente distribuidas dentro del recipiente que las contiene?

*La materia que forma un electrón ¿está uniformemente distribuida dentro del volumen de éste?*

*¿Son homogéneas las partículas últimas?*

## EL CONCEPTO CLASICO DEL MOVIMIENTO

LA CONCEPCION CLASICA DEL MOVIMIENTO. El movimiento se define como cambio de coordenadas espaciales en el tiempo. Es otro de los conceptos fundamentales de la concepción clásica, de lo que no siempre se percataron los científicos y filósofos. Había una resistencia a considerarlo como un principio detrás de la cual se encuentra la necesidad psicológica de buscarle una razón, una causa al cambio, al movimiento. No aceptamos que el cambio pueda ser algo lógico y ontológicamente autosuficiente y necesitamos darle una explicación. Pero ¿por qué el reposo, la ausencia de cambio, no requiere de una causa? Volveremos a esto más adelante.

El movimiento en la concepción clásica tiene los siguientes atributos:<sup>6</sup>

1. Es independiente con respecto al espacio, tiempo y materia.
2. Es continuo.
3. Es increable e indestructible.

LA INDEPENDENCIA DEL MOVIMIENTO CON RESPECTO A LAS OTRAS ENTIDADES FUNDAMENTALES. Aunque en la concepción atomista siempre se supuso a los átomos en movimiento, en la definición de materia no está contenido el concepto de movimiento. De esto se dieron cuenta Leibniz y Locke en el s. XVII. El primero, en una carta escrita en 1668 escribe: "Puesto que el cuerpo no es nada más que materia y figura y puesto que la causa del movimiento no se puede comprender a base de materia o figura, la causa del movimiento debe estar necesariamente fuera del cuerpo".<sup>6</sup> Cuando los científicos y filósofos acentuaban la estrecha relación entre materia y movimiento, su "eterna coexistencia", lo hacían únicamente para polemizar con los teólogos y no porque no creyeran en la independencia de estas dos entidades.<sup>6</sup>

De la misma manera, de la existencia del espacio y del tiempo no se desprende que haya movimiento. Ya hemos discutido la independencia del espacio y del tiempo con -

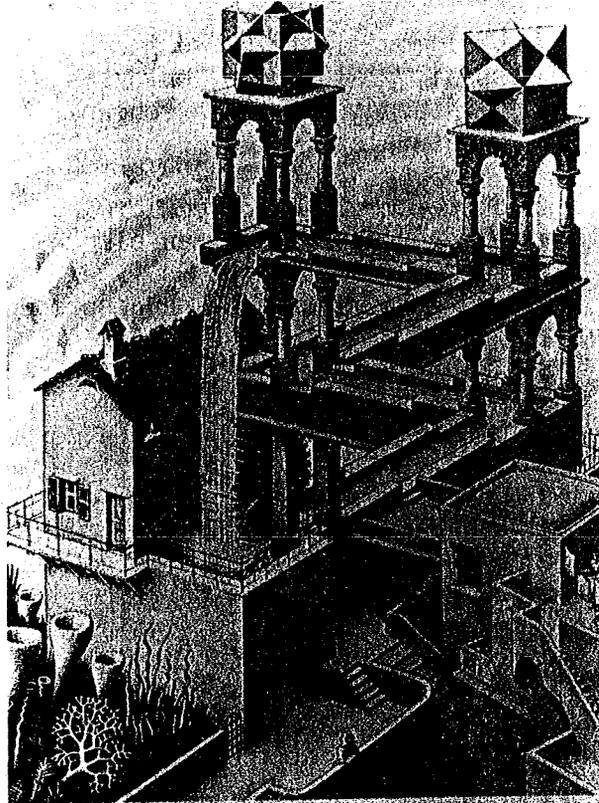
respecto a su contenido físico. El espacio es el contenedor rígido de la materia, el movimiento ocurre en el espacio pero no lo puede afectar. Y el movimiento ocurre en el tiempo sin ser idéntico a él. La posibilidad de que haya un cuerpo en reposo durante algún intervalo de tiempo muestra la independencia lógica y física de tiempo y movimiento.

Así, como el movimiento no se puede derivar de la materia, el espacio y el tiempo, entonces es una unidad fundamental e independiente en la concepción cinético-corpúscular de la naturaleza.

Así, aunque el movimiento requiere de algo que se mueva, la materia, y de un lugar en el que esta se mueva, el espacio, a través del tiempo, de la existencia del espacio, el tiempo y la materia no se desprende que haya movimiento.

LA CONTINUIDAD DEL MOVIMIENTO. Como hemos visto, el espacio clásico está constituido por un conjunto infinito de puntos yuxtapuestos y el tiempo por puntos sucesivos, siendo continuos tanto el espacio como el tiempo. Cuando una partícula se mueve lo que hace es ocupar una serie de puntos yuxtapuestos en sucesivos momentos de tiempo. A una serie de puntos yuxtapuestos le corresponde otra de puntos sucesivos. Como ambas series son continuas es posible seguir el movimiento de un cuerpo o de un corpúsculo dentro de cualesquiera intervalos de espacio y tiempo por más pequeños que éstos sean. En esto se basa la aplicación del cálculo al estudio del movimiento.

LA INDESTRUCTIBILIDAD DEL MOVIMIENTO. Hemos mencionado la resistencia a considerar al movimiento como un principio independiente: Generalmente se trató de buscarle una explicación, cosa que se remonta a Aristóteles quien sostuvo que todo lo que se mueve lo hace porque y mientras lo mueve algún "movedor". Según él se requiere aplicar una fuerza para mantener un cuerpo en movimiento, contrastando con la posición de Galileo y Newton para quienes únicamente se requiere fuerza para acelerar un cuerpo. La posición de Aristóteles la volvemos a encontrar en Descar



Waterfall, lithograph, 1881

tes cuando postula para todo movimiento la existencia de algo que chocando por detrás hace que el cuerpo movido se mantenga en movimiento y persiste hasta finales del siglo pasado con los intentos de explicar el movimiento por medio de un fluido que llena todo el espacio; el éter.

Para explicar el movimiento de un cuerpo otro cuerpo ya en movimiento debe de ser postulado. Esto nos lleva a una cadena infinita o a la terminación de ésta por medio de un movedor inicial exterior al universo como hizo Aristóteles. La solución a este problema que dió finalmente -- Descartes y con él la física clásica fue aceptar la realidad del movimiento como cantidad constante. Como afirma M. Capek "esta tendencia a buscar un movedor detrás de todo movimiento es simplemente un ejemplo especial de un impulso más general de explicar la realidad del cambio, frecuentemente de eludirla mediante una explicación".<sup>6</sup>

Contrastando con la tendencia a explicar el movimiento encontramos la no necesidad de explicar la falta de éste. La conservación de la posición parecía algo natural incluso a los contemporáneos de Galileo, a tal grado que en el siglo XVII la palabra inercia tenía otro significado. Por ejemplo, para Kepler significaba una tendencia natural de la materia a retener su posición en el espacio o sea, a resistir el movimiento (una resistencia al cambio de posición, no al de velocidad). Sólo después de Descartes se hizo claro que ésta era solamente una parte de la ley y que la otra parte requiere que la materia en movimiento se resista a cambiar su estado de movimiento, ya sea cambiando de velocidad o de dirección.

¿Cómo nos damos cuenta del movimiento de un cuerpo?

¿Qué es lo que hace que un cuerpo cambie su estado de movimiento?

¿Están relacionados el reposo y el movimiento? ¿Qué es el reposo?

¿Se puede concebir el movimiento sin la materia? ¿Qué relación existe entre ellos?

¿Cómo podemos medir o cuantificar el movimiento?

Si aumentamos o disminuimos la velocidad de un cuerpo ¿se afectan de alguna manera las otras propiedades de dicho cuerpo?

¿Puede aumentarse indefinidamente la velocidad de un móvil?

Las mediciones de la velocidad de un móvil ¿son absolutas o relativas?

¿Cómo se transmite el movimiento?

Así como un cuerpo se expande o se contrae al aumentar o disminuir la temperatura ¿sucederá lo mismo al aumentar o disminuir la velocidad? ¿Qué es lo que varía cuando se expande o se contrae un cuerpo?

¿Es independiente la materia del movimiento?

## III

## EL MÓDELO CINÉTICO-CORPUSCULAR

## EL MODELO CINETICO-CORPUSCULAR DE LA NATURALEZA.

Según Peter Achinstein<sup>2</sup>, un modelo teórico consiste en un conjunto de supuestos acerca de un objeto o sistema al que describen atribuyéndole lo que podría llamarse una estructura interna, una composición o un mecanismo que explicará, al tomarlo como referencia, diversas propiedades de ese objeto o sistema. En el caso del modelo cinético-corpúscular de la Naturaleza, ésta en su totalidad es el objeto o sistema que se pretende explicar. Según Milic Čapek los supuestos o postulados de dicho modelo (que constituye una síntesis de la concepción clásica que ya analizamos) son:<sup>6</sup>

- 1.- La materia, que es discontinua en su estructura, o sea, que se compone de unidades absolutamente rígidas y compactas, se mueve a través del espacio según las estrictas leyes de la mecánica.
- 2.- Todas las diferencias aparentemente cualitativas de la Naturaleza se deben a las diferencias de configuración o movimiento de estas unidades básicas o de sus agregados.
- 3.- Todos los cambios aparentemente cualitativos son meramente efectos superficiales del desplazamiento de las unidades elementales o de sus agregados.
- 4.- Toda acción recíproca entre los corpúsculos básicos se debe exclusivamente a su impacto directo. La acción a distancia es una simple figura de dicción.
- 5.- La variedad cualitativa, así como la transformación cualitativa, son adiciones psíquicas de la mente humana perceptora; no pertenecen a la naturaleza de las cosas.

Este modelo que se originó en la antigua Grecia, y que durante mucho tiempo no se encontró entre las principales líneas de pensamiento básicamente por razones religiosas y sociales, representaba un límite ideal hacia el cual aspiraba la ciencia desde el Renacimiento hasta comienzos de éste siglo sin alcanzarlo nunca por completo.

Ya hemos mencionado que la experiencia común se nos presenta, de manera natural, con una profunda y aparentemente irreducible diferencia entre espacio y materia. Parece muy obvio que existen huecos entre las porciones de materia, en los cuales no hay materia. Pero pronto descubrimos que el aire llena el espacio entre las paredes y -

los huecos entre los cuerpos sólidos. Entonces surgen las preguntas: ¿es el aire un agregado de partículas con espacio vacío entre ellas?, ¿hay un espacio vacío entre las estrellas? o ¿es el Universo un pleno, lleno de materia, sólo que buena parte de ésta es lo suficientemente ligera, sutil, para que prácticamente no ofrezca resistencia al movimiento de los cuerpos más pesados?

Hemos visto que el punto de vista de Tales y Anaximandro fue el del plenum; el de la concepción cinético-corpúscular es que las cosas están compuestas de partes más pequeñas o corpúsculos (el proceso de subdivisión de la materia termina al llegar a los corpúsculos más simples: los átomos) arreglados en el espacio vacío.

Los argumentos para sostener la realidad del vacío aparecen en dos formas. En una el concepto de vacío se desarrolla como un concepto empírico para explicar los movimientos aparentemente no obstaculizados de los cuerpos celestes. Pero esta teoría presenta dificultades. Estas surgen de los intentos para explicar la acción que un cuerpo ejerce sobre otro a una cierta distancia, en particular la acción de la gravedad y de las fuerzas eléctricas y magnéticas. Estas fuerzas parecen actuar a través del vacío, actuar a distancia. Y ésta es una profunda violación de los modelos de acción que hemos adquirido a través de nuestra experiencia inmediata. Podemos actuar sobre las cosas únicamente por contacto. Entonces ¿hay dos clases de acción, acción por contacto y acción a distancia? Se han hecho grandes esfuerzos para eliminar la acción a distancia como un modo fundamental de interacción y para reducirla a acción por contacto. Los científicos que sostenían la concepción cinético-corpúscular nunca creyeron realmente en la acción a distancia. Para evadirla se introdujo el concepto de éter, el cual se concebía como una materia muy sutil que llenaba todo el espacio y por medio de los desplazamientos de las partículas que se suponía constituían esta materia se intentaba explicar la atracción y repulsión entre los cuerpos. Los científicos elaboraron explicaciones complicadísimas de la gravedad y de los fenómenos electromagnéticos antes que desechar el marco conceptual sostenido en los postulados del modelo cinético-corpúscular. Son notables los intentos de Newton y -

Maxwell. Por ejemplo Newton, en una carta a Boyle acerca de la gravitación, escribe: "... Imagínese ahora cualquier cuerpo suspendido en el aire, o que yace sobre la tierra, y que el éter, por hipótesis, por ser más denso en los poros que se encuentran en la parte superior del cuerpo que en aquellos que están en las partes más bajas, y aquel éter más compacto, por ser menos apto para situarse en estos poros que el éter más sutil, tratará de escapar y ceder su sitio al éter más fino abajo, lo que no puede ocurrir sin que los cuerpos desciendan para hacer lugar..."<sup>19</sup>.

Hemos dicho que la posición atomista comenzó a resurgir durante el Renacimiento. Galileo, Gassendi, Boyle, Newton y muchos de sus contemporáneos fueron atomistas aunque no tenían pruebas concretas de la existencia de los átomos. Por ejemplo, el siguiente párrafo de Newton constituye, haciendo a un lado el aspecto teológico, lo que denominamos el modelo cinético-corpúscular de la Naturaleza, en él están contenidos los postulados de dicho modelo:

"... Considerando todas estas cosas, me parece probable que Dios, en un principio, formara la materia de partículas sólidas, pesadas, duras, impenetrables y móviles, de los tamaños y figuras y otras propiedades semejantes y en la proporción con el espacio, más apropiados al fin para el cual las formó; y que estas primitivas partículas, siendo sólidas, sean incomparablemente más duras que ningún cuerpo poroso compuesto de ellas; incluso tan duras que nunca se gastan o se rompen en pedazos... Pero si se gastasen o se rompieran en pedazos, la naturaleza de las cosas que depende de ellas sería cambiada. El agua y tierra, compuestas de viejas y gastadas partículas, no tendrían la misma naturaleza y textura ahora que el agua y tierra compuestas de partículas enteras en el principio. Y, por lo tanto, para que la Naturaleza sea duradera, los cambios de las cosas corpóreas han de tener lugar sólo en las varias separaciones y nuevas asociaciones y movimientos de las partículas permanentes, al ser los cuerpos compuestos capaces de romperse no por el centro de las partículas sólidas, sino donde estas partículas se unen y sólo se tocan en unos pocos puntos."<sup>4</sup>

En la concepción clásica se considera a los corpúsculos como completamente definidos por su tamaño, forma, arreglo mutuo y movimiento. Para los que sostenían la posición corpuscular la geometría, la ciencia de la forma, y la mecánica, la ciencia del movimiento y la acción por contacto, eran las ciencias fundamentales. Los cuerpos materiales se distinguían por la forma, tamaño, arreglo y densidad de los corpúsculos de los que estaban formados. Todos los cambios fueron atribuidos a la reorganización de los corpúsculos de los que estaban hechas las cosas. En esta concepción no se concebía que los corpúsculos por sí mismos pudieran cambiar, y si una partícula parecía cambiar, como el cambio no podía ser otra cosa que el arreglo de los componentes corpusculares, de una cosa, entonces el supuesto corpúsculo debía ser un cuerpo compuesto.

De este tipo de razonamientos se seguía que aunque los corpúsculos no fueran estrictamente átomos, esto es, no descomponibles por cualquier método de análisis, al menos ellos eran átomos para todos los propósitos prácticos. Estas fueron las posiciones de gente como Newton, Boyle, Locke, Harriot, Galileo, Descartes, Hooke, etc.

La manera en que se establecen las relaciones de causa-efecto en este modelo de la Naturaleza es sucesionista. Esta es la clase de causalidad que se debe al cambio en el estado de movimiento de los corpúsculos, lo que se logra por el choque de unos con otros, por contacto o por impulso. Un corpúsculo en reposo sólo puede ser puesto en movimiento cuando es golpeado por otro ya en movimiento. El estado de movimiento de un sistema después de que en él han habido colisiones entre las partículas depende sobre su estado de movimiento anterior.

Sin embargo, hay un factor que depende sobre la naturaleza de los corpúsculos y no sobre lo que les pase a ellos. Los corpúsculos difieren intrínsecamente en su cantidad de materia o lo que llamamos su "masa". Su inercia, la propiedad que ellos tienen de resistir cambios en el movimiento y a persistir en un movimiento una vez adquirido, depende sobre su contenido relativo de materia. Así, si un corpúsculo muy pesado es golpeado por uno moviéndose

se rápidamente, entonces el primero no se moverá tan rápidamente como lo haría uno más ligero que se encontrara en reposo.

Así, lo que le pase a un corpúsculo que ha sido golpeado por otro depende parcialmente sobre el estímulo al cual está sujeto y en parte sobre su naturaleza intrínseca, su masa. Inercia es la capacidad de resistir cambio en el movimiento y es una propiedad que un cuerpo tiene intrínsecamente, al menos de acuerdo a la filosofía corpuscular.

Ya que el único camino por el cual un individuo o un objeto podría afectar a cualquier otro era chocando con éste (exceptuando el misterio de la gravedad) los atomistas buscaron reducir todo cambio, de cualquier clase, a cambios que pudieran producirse por acción mecánica, por colisión. Esta podría cambiar el estado de movimiento de un cuerpo como un todo o de sus partes componentes, por ejemplo, haciéndolas vibrar más rápida o lentamente. El impacto podría separar pedacitos o provocar un rearrreglo de las partes internas. Resumiendo, sólo puede haber cambios de estructura o de movimiento, así que todo cambio tiene que ser en última instancia cambio de estructura o cambio de movimiento.

Así, cualesquiera que pueda ser la naturaleza de los efectos que la ciencia o la Naturaleza pueden producir -- sus causas deben ser una y todas mecánicas. Una explicación final y completa para la posesión de una cualidad y para cualquier clase de cambio en cualidad, sea esto un simple cambio o un proceso involucrando muchos cambios, se logra siempre que se ofrece un sistema de causas mecánicas para los efectos.

Las propiedades fundamentales de los corpúsculos eran su capacidad o poder de llenar el espacio (su extensión), su existencia -infinita- en el tiempo (extensión temporal) y su capacidad de resistir a los incrementos instantáneos de movimiento (inercia).

Para poder afirmar la visión cinético-corpuscular de la Naturaleza sobre la aristotélica sostenida por la Igle

sia era necesario encontrar pruebas de la filosofía corpuscular. Entre los atomistas hubo algunos que trataron de mostrar la veracidad del modelo corpuscular por medio de argumentos y otros que intentaron mostrarla como una cuestión de hecho. Entre los primeros encontramos a Locke y Descartes. Entre los segundos podemos mencionar a Bacon y a Boyle quienes, asumiendo la filosofía corpuscular como un sistema consistente de pensamiento, proporcionaron consideraciones empíricas o de hecho en favor de ésta.

Boyle, por ejemplo, intentó mostrar que toda la gama de cambios cualitativos que pueden ocurrir en la Naturaleza y en el laboratorio se deben a cambios, en última instancia, en las partes invisibles de la materia. Entre los ejemplos que da están los siguientes:<sup>13</sup> la trituración del vidrio es un proceso para reducir el volumen de los trozos de éste y cuando se hace una reducción en tamaño ocurre un cambio cualitativo: el vidrio originalmente transparente se vuelve blanco y opaco. La clara de huevo que es clara y fluida cuando se agita cambia sus cualidades volviéndose blanca y viscosa. En la preparación de ciertos compuestos químicos con sabores característicos el nuevo compuesto formado tiene propiedades completamente diferentes de las que tienen las sustancias a partir de las cuales se preparó. En estos casos, según Boyle, la única explicación posible es la reorganización de los corpúsculos. Ninguna sustancia que tuviera las nuevas características o propiedades se añadió, así que el origen de estas no puede ser externo a las sustancias y al mecanismo involucrados. Las nuevas cualidades surgieron durante el proceso de formación de la clara batida y del compuesto químico. Entonces sólo pudieron deberse a la separación y recombinación de partes más pequeñas.

## EL MODELO CINETICO-CORPUSCULAR DEL ESTADO GASEOSO.

Desde la antigüedad el hombre tiene conciencia de la existencia de los gases y los acepta como sustancias, como una forma de la materia. El hecho de que calentando el agua se obtiene un gas y enfriando este agua líquida permite concluir que los gases son una forma de la existencia de la materia. Ya en la antigüedad se utilizaba la fuerza del viento en los molinos y en los barcos. En varios sistemas que daban razón del mundo como un todo que se desarrollaron en esa época se considera al aire -el gas por excelencia- como uno de los elementos fundamentales de la Naturaleza. Hasta el siglo XVII, época en la que los científicos se avocaron al estudio de esta forma de la materia difícil de confinar, los gases que se conocen son el aire, el vapor de agua y los que se producen en la combustión de la madera. Durante la Edad Media los alquimistas produjeron diversos gases y vapores, pero nunca los estudiaron en gran medida debido a la dificultad de cogerlos y confinarlos.

El primero en avocarse al estudio de los vapores que producía en sus experimentos fué el médico flamenco Jean Baptista Van Helmont. El obtuvo los gases de la combustión de la madera. Estos parecían aire pero tenían propiedades diferentes. Así, obtuvo un gas diferente del aire al que denominó "gas silvestre".<sup>3</sup>

En 1643 el físico italiano Evangelista Torricelli demostró que el aire podía sostener una columna de mercurio de setenta centímetros de altura, esto es, probó que el aire ejercía presión.

Así, ya aceptado que el estado gaseoso es una de las formas en las que existe la materia y que un volumen de gas ejerce presión sobre las paredes del recipiente que lo contiene quedó abierto el camino para el estudio de la relación entre la presión y el volumen del gas.

Robert Boyle se avocó al estudio de dicha relación. Para esto utilizó un tubo en "U" con un extremo más corto que el otro. Vertió mercurio en el tubo y cerró el extremo más corto dejando una muestra de aire en éste. Añadien

do más mercurio gota a gota al extremo largo y abierto podía incrementar la presión del aire encerrado. Boyle encontró que si duplicaba la presión (duplicando el peso de mercurio) el volumen del aire se reducía a la mitad; que si triplicaba la presión el volumen se reducía a un tercio del original. Así, encontró una relación de proporcionalidad inversa entre la presión y el volumen. También descubrió que al retirar la presión adicional que se ejercía sobre el aire, este recuperaba su volumen original, es decir, encontró que el aire era elástico. Aunque la aproximación de sus medidas dejó mucho que desear, fueron lo suficientemente convincentes para ser aceptadas. Boyle no especificó que sus experimentos los había llevado a cabo a temperatura constante, esta condición fue explicitada por E. Mariotte poco tiempo después al descubrir independientemente esta relación.

Posteriormente, en el siglo XVIII, se estudió la relación entre el volumen y la temperatura manteniendo la presión constante. El resultado que se obtuvo fue que el volumen es directamente proporcional a la temperatura a presión constante.

Luego se estudió cómo varía la presión con la temperatura encontrándose que si el volumen se mantiene constante la presión es directamente proporcional a la temperatura.

Estos experimentos permitieron descubrir el comportamiento macroscópico de los gases. Se tenía una descripción fenomenológica del comportamiento macroscópico de un gas pero, para un espíritu científico esto no era suficiente. Surgía la necesidad de explicar este comportamiento a partir de un modelo de la estructura interna del gas, de un modelo microscópico del objeto de estudio. Para tener un conocimiento completo del gas es necesario conocer su estructura interna.

Como no había manera directa de conocer la estructura de los gases, era necesario elaborar un modelo de ellos que proporcionara alguna información sobre su estructura real. El conocimiento macroscópico de los gases no revelaba su estructura pero permitía inferirla. El requisito --

fundamental que tenía que cumplir un modelo del estado gaseoso para que se aproximara a su estructura real era predecir tanto cualitativa como cuantitativamente el comportamiento macroscópico de los gases. Había que plantear un conjunto de hipótesis sobre su estructura que permitieran hacer predicciones cuantitativas y contrastar estas con los conocimientos empíricos que se tenían.

La forma en que se concibiera la Naturaleza de un gas no podía estar desligada de la manera en que se concebía la materia -ya que se aceptó que aquel es una forma de ésta- ni de la idea que se tenía de la constitución del Universo como un todo. La representación que se hacía el investigador sobre la estructura del gas tenía que ser congruente con la que se hacía de la Naturaleza.

Cuando los científicos se enfrentaron al problema que constituía la estructura del gas tenían a su disposición la concepción clásica de la Naturaleza. Durante el Renacimiento, y en parte gracias al invento de la imprenta, tuvieron una gran difusión los escritos de los pensadores de la antigüedad. En particular, uno de los primeros libros que apareció en forma impresa fue un poema didáctico del poeta romano Lucrecio, "Sobre la Naturaleza de las Cosas", en el que se exponía la teoría atomista de Demócrito y Epicuro. Como resultado de su lectura el filósofo francés Pierre Gassendi se convirtió en atomista y por medio de sus escritos Boyle también se adhirió al atomismo. Este último intentó explicar a partir de la hipótesis atómica la faceta del comportamiento macroscópico de un gas que había descubierto -la relación entre la presión y el volumen.

Como los líquidos y los sólidos sólo se pueden comprimir en proporciones insignificantes, era difícil explicar su poca compresibilidad argumentando que estos están compuestos de átomos ya que si estuviesen compuestos de una sustancia continua también sería muy difícil comprimirlos. Sin embargo, el aire, como Boyle había descubierto, podía comprimirse con facilidad en un grado considerable. ¿Cómo podía explicarse esto si no estaba formado por átomos separados entre sí por el vacío? La compresión del aire, según el modelo cinético-corpúscular, sería la disminución

del espacio vacío y de las distancias entre los átomos.

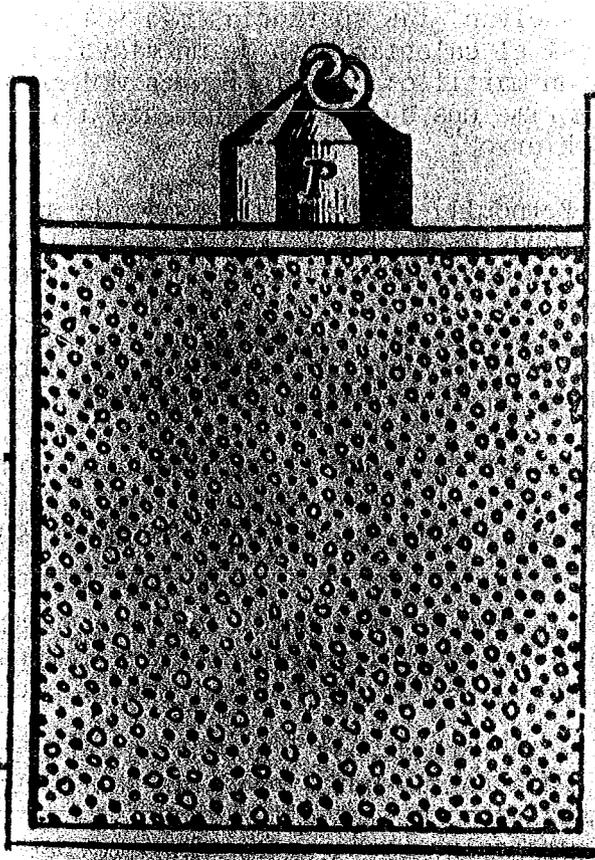
La única forma de energía concebible en la concepción clásica es la energía cinética. En el marco de esta concepción Huygens sostenía que la flama y el fuego deben -- contener partículas en rápido movimiento para que éstas -- fundan y disuelvan las sustancias más sólidas. Y Boyle -- explicaba así el calentamiento de un clavo cuando se le -- golpea con un martillo: "... la fuerza del movimiento del martillo imprime una agitación vehemente a las pequeñas -- partes del hierro"<sup>18</sup>.

Daniel Bernoulli explicó la presión de un gas como de -- bida a los impactos de las moléculas sobre las paredes -- del recipiente que las contiene y Robert Hooke explica -- así la fluidez: "... el calor no es otra cosa que la agi -- tación brusca y vehemente de las partes de un cuerpo, es -- tas son tan alejadas unas de otras por el calor, que fá -- cilmente se escapan y se vuelven fluidas"<sup>18</sup>.

Cuando se demostró que el calor es una forma de ener -- gía y se encontró su equivalente mecánico fue fácil aso -- ciar la energía cinética con el contenido de calor de un cuerpo.

Situado dentro de esta tradición mecanicista le fue fácil a Joule aplicar el modelo cinético-corpúscular de -- la Naturaleza al estado gaseoso y formularlo de esta mane -- ra:<sup>8</sup>

- 1.- Un gas está formado por pequeñas partículas: átomos o moléculas. Para un gas puro todas las partículas tienen -- la misma masa y las mismas dimensiones.
- 2.- Estas partículas están en continuo movimiento de tras -- lación durante el cual chocan entre sí y contra las pare -- des del recipiente que las confina. Estos choques hacen -- que el movimiento sea caótico aún cuando en algún momento hubiera sido ordenado.
- 3.- Las moléculas, debido a los choques, se mueven en to -- das direcciones y con diferentes velocidades y poseen úni -- camente energía cinética. La temperatura del gas depende -- únicamente de este tipo de energía.
- 4.- La presión que manifiestan los gases es el resultado -- de los impactos de las moléculas sobre las paredes del re



*Representación de Bernoulli de la estructura de un gas.*

recipiente.

5.- El volumen del total de las moléculas es despreciable comparado con el volumen del recipiente. La trayectoria que siguen las moléculas entre choque y choque es rectilínea, y la distancia que recorren es desmesuradamente grande, si se la compara con sus dimensiones moleculares.

Además, las colisiones tienen que ser perfectamente elásticas para que la presión no decrezca con el tiempo por pérdida de momentum. Esto se sigue de suponer a las partículas como perfectamente rígidas y compactas.

Este modelo de los gases se desprende del modelo cinético corpuscular expuesto en el capítulo anterior. Por ejemplo el primer punto del modelo mencionado arriba se sigue del primer punto del modelo cinético-corporcular tal como se estableció en el capítulo anterior. El tercer postulado del modelo de los gases se desprende de los postulados 1 y 3 del capítulo anterior.

A partir de este modelo del estado gaseoso se pudo explicar el comportamiento cualitativo de los gases y las predicciones cuantitativas que se hicieron a partir de él correspondían con las que se hacían a partir de las leyes de Boyle y Charles. Esto le dió una gran fuerza al modelo cinético-corporcular de la Naturaleza.

## EL MODELO CINETICO CORPUSCULAR DE LOS LIQUIDOS Y DE LAS SOLUCIONES

¿Cuál es la estructura de un líquido?

Ya hemos dejado asentado arriba que la forma en que se concebía la estructura de un gas no estaba desligada de la forma en que se concebía a la materia. El hombre desde la antigüedad se había percatado de que la materia podía existir en tres formas o estados físicos. Si el gas era solamente uno de estos estados y se le suponía constituido por pequeñas partículas indestructibles era lógico esperar que al condensarse el gas y pasar al estado líquido estas partículas -indestructibles- siguieran siendo los constituyentes fundamentales de los líquidos. Esto está expresado claramente en la siguiente cita de John Dalton:<sup>19</sup>

"Tres clases hay de cuerpos o tres estados de los cuerpos, que de manera especial han llamado la atención de los químicos filósofos: a saber, los denominados fluidos elásticos, líquidos y sólidos. En el agua tenemos un caso conocido de un cuerpo que en ciertas circunstancias puede adquirir cualquiera de dichos tres estados. En el vapor hallamos un fluido perfectamente elástico, en el agua un líquido perfecto, y en el hielo un sólido cabal. Estas observaciones han llevado tácitamente a la conclusión, al parecer universalmente aceptada, de que todos los cuerpos de magnitud sensible, ya fueren sólidos o líquidos, están constituidos por un inmenso número de partículas en extremo pequeñas, o átomos de materia, unidos entre sí por la fuerza de la atracción; la cual es más o menos poderosa, según las circunstancias..."

"Cuando un cuerpo cualesquiera se halla en estado elástico, sus partículas últimas guardan entre sí una distancia mucho mayor que en cualquier otro estado; cada partícula ocupa el centro de una esfera relativamente grande, y conserva su dignidad manteniendo a respetable distancia todas las restantes, las cuales, por su gravedad o por lo que fuere, propenden a acercársele."

¿Qué conocimientos se tenían de los líquidos cuando se elaboró un modelo de ellos?

El éxito obtenido por el modelo cinético-corpúscular de la Naturaleza al aplicarlo al estado gaseoso invitaba a aplicarlo también al estado líquido. A diferencia de el caso de los gases, cuando se intentó aplicar el modelo cinético-corpúscular al estado líquido no se habían desarrollado relaciones empíricas de tipo cuantitativo para este estado que permitieran contrastar las predicciones que se pudieran hacer a partir del modelo cinético-corpúscular de los líquidos. No se tenían conocimientos cuantitativos con los cuales contrastar las predicciones teóricas y que permitieran validar el modelo empleado. Lo que se sabía de los líquidos era poco, en general, era lo que se observaba todos los días al interactuar con el agua (el líquido por excelencia) para satisfacer las necesidades vitales.

La experiencia muestra que cuando un líquido se evapora, el vapor formado ocupa un volumen muchísimo mayor que el ocupado por el líquido, esto inducía a pensar, al aplicar el modelo cinético-corpúscular de la materia a los líquidos, que las partículas en estos están mucho más cerca unas de otras que en los gases. Pero ¿debido a qué se mantenían más cercanas?

Se sabía que los gases forman líquidos por enfriamiento y que los sólidos los forman por calentamiento. Desde el momento en el que se descubrió el equivalente mecánico del calor ("...no puede disminuirse o absorberse el calor sin que se produzca una fuerza viva o su atracción equivalente a través del espacio..." James Joule, Acerca de la materia, la fuerza viva y el calor, 1847.<sup>19</sup> A la fuerza viva ahora la conocemos como energía cinética y la atracción equivalente se refiere a la energía potencial.) ésto se podía entender de la siguiente manera: al extraerle calor a un gas se reduce la energía cinética de las moléculas, como la masa de las partículas es constante lo único que puede disminuir es su velocidad, de lo que se desprende que las partículas en el estado líquido se deben mover con velocidades menores que en el estado gaseoso, y de manera análoga se concluye que las partículas en el líquido se mueven con velocidades mayores que en los sólidos.

También se sabía que los cambios de presión pueden provocar cambios de fase, lo que indicaría que al comprimir el gas estamos reduciendo la distancia entre las partículas que lo constituyen hasta alcanzar la distancia entre ellas que caracteriza al estado líquido.

Los gases tienden a ocupar rápidamente el volumen del recipiente en el que se introducen. Los sólidos tienen un volumen y una forma definidos. Los líquidos no tienen una forma definida y se ajustan a la forma del recipiente que los contiene. Y estos, al igual que los gases, fluyen. Si lo que nos permite explicar la fluidez de los gases es el movimiento traslacional de las partículas debemos concluir que las partículas del líquido también están en movimiento continuo. Y se desprende que en los sólidos las partículas que los constituyen no tienen movimiento de traslación.

¿Tienen la misma energía todas las partículas?

Tomemos un líquido cualquiera, por ejemplo alcohol etílico. Imaginémoslo de acuerdo al modelo cinético-corpúscular formado por pequeñas partículas sólidas a corta distancia unas de otras y moviéndose continuamente. Imaginemos el vapor de este líquido según el mismo modelo: está formado por las mismas partículas pero su densidad es menor, las partículas están a gran distancia unas de otras y se mueven con velocidades mucho mayores.

Es un hecho conocido que un líquido siempre se vaporiza en cierto grado -el vapor siempre está presente con el líquido, en mayor o menor grado. Si calentamos este líquido el grado de vaporización es mayor. Según el modelo cinético-corpúscular lo que hemos hecho es aumentar la energía cinética de las partículas que lo constituyen. Si enfriamos el vapor este se condensará dando lugar a que se forme nuevamente el líquido. Según el modelo que estamos utilizando lo que hemos hecho es disminuir la energía cinética de sus partículas. Entonces las partículas que constituyen la materia tienen menor energía cinética en el estado líquido que en el estado gaseoso. Un gas contiene mayor energía que un líquido -en el modelo cinético-corpúscular la única forma de energía es la energía mecánica.

El alcohol etílico en un recipiente cerrado y a temperatura ambiente no se vaporiza completamente, esto es, sólo algunas de las moléculas del etanol líquido pasan a la fase gaseosa. Como en el vapor las moléculas tienen mayor energía que en el estado líquido concluimos que no todas las moléculas tienen la misma energía y que sólo pasan a la fase gaseosa una cierta fracción de las moléculas del líquido, aquellas que tienen la energía que caracteriza al vapor. De manera análoga, del análisis del fenómeno de condensación se desprende que las moléculas que constituyen un gas tienen distribuidas sus energías dentro de un amplio espectro de valores. La diferencia de energías, según el modelo que estamos utilizando, se debe a que las partículas continuamente intercambian energía al chocar unas con otras ganándola unas y perdiéndola otras.

Si confinamos al alcohol dentro de un recipiente cerrado, las partículas del líquido que pasan al vapor van a chocar continuamente con las paredes del recipiente ejerciendo una fuerza sobre éstas. Si medimos esta fuerza por unidad de área -presión- a ésta le llamamos la presión de vapor del líquido a esa temperatura.

¿Cómo varía la presión de vapor de un líquido cuando le agregamos otra sustancia?

Tomemos ahora otro líquido miscible con el primero, -- por ejemplo agua. El agua tiene una presión de vapor menor que la del alcohol etílico. Agreguemos una cierta cantidad de agua al etanol estando los dos líquidos a la misma temperatura. ¿Se altera la presión de vapor del etanol? ¿Cómo es la presión de vapor de la solución con respecto a la de los líquidos puros?

La relación de partículas de agua a las de alcohol en la solución, si esta es homogénea, debe de ser la misma -- que la que hay en la superficie de la solución.

El número de partículas de etanol cerca de la superficie se ha reducido. Como la temperatura de la solución sigue siendo la misma que la del alcohol puro la fracción de moléculas de este con energía suficiente para pasar al estado gaseoso sigue siendo la misma. De ésto se desprende --

que el número de partículas de alcohol líquido que pasan al estado gaseoso es menor. Como la presión de vapor del agua es menor, la presión de vapor de la solución es menor que la del alcohol puro. La presión de vapor del alcohol en la solución es menor que la del alcohol puro y, según el modelo cinético-corpúscular, es directamente proporcional a la fracción de moléculas de etanol en la superficie de la solución o, para una solución homogénea, a la fracción mol del etanol.

Si al agua le agregamos una cierta cantidad de alcohol la presión de vapor de el primero se va a reducir ya que la cantidad de moléculas de agua en la superficie se reduce en la proporción en que agregamos partículas de alcohol. La presión de vapor del agua en la solución va a ser directamente proporcional a la fracción de moléculas de ésta en la solución o sea, a su fracción mol.

De esta manera, la presión de vapor de la solución va a ser igual a la suma de las presiones de vapor de cada uno de los componentes en ella.

Si agregamos un soluto sólido, al disolverse también provocará un descenso en la presión de vapor del disolvente de una manera similar a la expuesta arriba. Este descenso, según el modelo con el que estamos trabajando, debe de ser el mismo independientemente del soluto que agreguemos ya que sólo depende del número de partículas y no de la naturaleza de éstas.

En 1887 el químico francés Francois-Marie Raoult obtuvo empíricamente una relación entre la presión de vapor de un componente en una solución, la presión de vapor de dicho componente puro y su fracción mol en la solución.<sup>12</sup>

$$p_i = p_i^{\circ} x_i$$

donde :

$p_i^{\circ}$  = presión de vapor del componente i puro

$p_i$  = presión de vapor del componente i en la solución

$x_i$  = fracción mol del componente i en la solución

Esta relación es la misma que esperaríamos obtener de la discusión anterior según la cual

$$p_i = kx_i$$

Cuando tenemos el líquido  $i$  puro  $x_i = 1$  y esta relación nos da

$$p_i = kx_i = p_i^{\circ}$$

de donde se desprende que  $k = p_i^{\circ}$

Conforme se avanzaba en el estudio de las soluciones se fue encontrando que eran pocas las soluciones que se comportaban de acuerdo a la ley de Raoult para cualquier concentración, y generalmente se cumplía en soluciones diluidas. Las soluciones que se comportaban de acuerdo a esta ley eran aquellas que tenían una estructura y un comportamiento físico muy aproximado al supuesto en la teoría cinético-corpúscular. Y, en general, las soluciones diluidas se aproximaban al comportamiento predicho por ésta. A las soluciones que nos presenta el modelo cinético-corpúscular se les denomina soluciones ideales, de manera análoga a los gases ideales, y son aquellas cuyo comportamiento es descrito por la ley de Raoult.

¿Qué sucede con las soluciones reales, con aquellas que no siguen la ley de Raoult? La teoría cinético-corpúscular se mostró incapaz de explicar el comportamiento de estas soluciones. Se hacía necesario revisarla o desecharla. Había que preguntarse si corrigiendo alguno de los postulados de esta teoría se podía dar cuenta del comportamiento real de las soluciones.

De los postulados del modelo cinético-corpúscular el que se podía desechar produciendo una mínima alteración en dicho modelo, comprometiendo menos el cuadro clásico del mundo, y contra el cual había evidencia empírica era aquel en el que se suponía que la interacción de las partículas se daba únicamente en base a choques. Cuando los científicos se enfrentaron a este problema ya hacía tiempo que se conocían las interacciones eléctricas y magnéticas, las que incluso se habían podido cuantificar. Esto, aunado al descubrimiento de la corriente eléctrica había dado lugar

a la aceptación de la naturaleza eléctrica de la materia. Aceptando la existencia de interacciones entre las partículas se pudo dar cuenta de las desviaciones de la ley de Raoult. El cuadro clásico se comenzaba a derrumbar.

## LA INSUFICIENCIA DE LA CONCEPCION CLASICA PARA LA COMPRESION DE LA PRIMERA LEY DE LA TERMODINAMICA.

Quando nos avocamos al estudio de un objeto, de un fenómeno o de un conjunto de ellos, encontramos que hay dos niveles, dos puntos de vista complementarios desde los cuales podemos abordar esos objetos y fenómenos: uno macroscópico, otro microscópico. El primero nos permite describir el fenómeno, hacer predicciones. Pero en el momento en el que nos preguntamos por el mecanismo del fenómeno o por la estructura o composición del objeto nos vemos obligados a abordarlo desde un punto de vista microscópico. Como no podemos acceder a la estructura microscópica directamente nos vemos en la necesidad de elaborar un modelo a partir del cual proponer una estructura o composición de los objetos y un mecanismo para explicar los fenómenos de nuestro interés.

El estudio de la interacción entre alguna forma de energía radiante y la materia no es una excepción. Por ejemplo, la luz o el calor y un gas.

Veamos que información podemos obtener del estudio macroscópico de dicha interacción. Para esto confinemos un gas a temperatura ambiente dentro de un recipiente con una de sus caras móvil. Fijemos esta y calentemos el gas. Cuando éste halla alcanzado una cierta temperatura  $T$  mayor que la temperatura ambiente permitamos que se mueva libremente la cara móvil. ¿Qué sucede? Observamos que la cara móvil del recipiente se desplaza aumentando el volumen contenido por éste, el gas se ha expandido.

Nuestro gas ha realizado un trabajo de expansión a costa de la energía que le suministramos. (La energía es la capacidad de realizar un trabajo). Este trabajo lo podemos cuantificar. Es igual a la presión externa que se está venciendo multiplicada por el volumen que se expandió el gas.

Mientras no permitimos que se desplazara la cara móvil la capacidad de expansión tuvo que haber permanecido latente en el gas, de alguna manera estaba en él mientras no se le permitió manifestarse. Esta capacidad de reali-

zar un trabajo que se mantenía latente nos permite inferir que el gas había estado acumulando energía conforme lo calentamos. Como mientras más lo calentamos mayor es la expansión la energía almacenada o contenida en el gas debe de ser proporcional a su temperatura. Mientras la energía que se le suministró al gas no se transfirió al exterior en forma de trabajo tuvo que haber pasado a formar parte de su energía, decimos que incrementó su energía interna.

Esto nos lleva a formular el siguiente principio: si a un sistema se le suministra energía y no realiza algún tipo de trabajo entonces esta energía, que no puede desaparecer, tiene que pasar a formar parte de su energía interna.

Hasta aquí llega nuestro conocimiento macroscópico -- del fenómeno. Si nos preguntamos como interactúa la energía con el sistema, si queremos dar una explicación de la manera en la que se ha acumulado la energía, entonces tenemos que proponer un modelo para la energía radiante y otro para la materia y a partir de ellos explicar la manera en la que interaccionan.

Los modelos pueden atribuirles una naturaleza continua o una discontinua. Tenemos que desechar la suposición de que la materia es continua ya que no nos permite comprender y explicar la expansión del gas. Para la materia nos vemos obligados a adoptar el modelo cinético-corpúscular que explica la expansión en base a un alejamiento mutuo de las partículas que constituyen el gas. En este modelo la única forma de energía concebible es la energía mecánica y la única forma de interacción posible es por choques.

Si suponemos que la energía radiante es de naturaleza corpuscular podemos explicar el aumento de la energía interna del sistema como debido al aumento de la energía cinética de las partículas que lo constituyen. En este modo lo la interacción entre la materia y la energía es en base a choques, las partículas de energía con una gran cantidad de movimiento transfieren parte de ésta a las partículas de la materia.

Sin embargo, el modelo corpuscular de la energía no corresponde a los hechos de la experiencia conocidos en la época en la que se desarrolló la física clásica. La energía se presentaba como un continuo. El hecho, por ejemplo de que se pueda concentrar la energía solar por medio de lentes no cabe dentro de la teoría corpuscular. La energía se nos presenta como algo indivisible, continuo e imaterial. No es asible ni palpable ni visible.

Sin embargo, al atribuirle una naturaleza continua a la energía, esencialmente diferente a la de la materia -- nos encontramos en la imposibilidad de explicar, de entender la interacción de aquella con ésta. ¿Cómo podría poner en movimiento algo de naturaleza no material a una partícula? ¿Cómo podría emitir calor un cuerpo?

Los modelos clásicos no pueden explicar el principio de conservación de la energía ni nos permiten comprender el concepto de energía interna. Resulta imposible explicar la interacción de dos cosas totalmente diferentes como lo son la materia y la energía en la concepción clásica. Sólo podemos comprenderla si postulamos que la materia y la energía son una y la misma cosa.

El modelo de la materia que surge como resultado de la revolución científica que se da en este siglo nos presenta a las partículas materiales como energía que se extiende en cierta región del espacio durante algún intervalo de tiempo. Nuestro modelo de la materia ahora es en terminos de campos y densidades de energía.

El modelo del átomo que se desarrolla en este siglo ya no cabe en la concepción clásica. El modelo de un electrón girando alrededor de un núcleo central es reemplazado por otro según el cual una nube electrónica rodea a un núcleo a distancias que sólo se pueden dar aproximadamente. Las órbitas del electrón representan la región más probable en la que se pueden encontrar a los electrones. Un átomo se puede visualizar como un pequeño y denso núcleo central rodeado por una nube de carga difusa cuya densidad es mayor alrededor de las órbitas electrónicas permitidas.



IV

LA DESINTEGRACION DE LA CONCEPCION CLASICA Y EL  
SURGIMIENTO DE LOS NUEVOS CONCEPTOS

## LA TEORIA DE LA RELATIVIDAD ESPECIAL.

Se ha visto que en la concepción clásica - de la Naturaleza el tiempo se concebía como algo absoluto que fluye con una rapidez uniforme independientemente de la materia que hay en el universo. Pero esta idea es contradictoria.<sup>23</sup> Si el tiempo fuera "alguna cosa" que fluye, entonces tendría que consistir en una serie de eventos en el tiempo, lo que carece de significado, ya que la "cosa", el tiempo, fluye en el tiempo lo cual constituye un absurdo. Además, si el -- tiempo existe sin relación con las cosas externas ¿cómo entonces darnos cuenta de que su flujo es uniforme?, ¿cómo sería detectado el tiempo? Por otro lado, la definición newtoniana de tiempo absoluto carece de utilidad práctica. Po demos observar eventos y procesos (paso de la - arena a través de una pequeña abertura, el movi miento aparente del Sol, etc.) que ocurren en - la Naturaleza y basar nuestra medida del tiempo en ellos. Según el concepto newtoniano existe u na serie única de momentos, de puntos tempora- - les, que los eventos, que son algo completamente diferente de aquellos, pueden ocupar. (El pa so de la arena a través de una pequeña abertura nos permite medir el tiempo pero no es el tiem- po).

El espacio newtoniano a su vez, era un mar - co de referencia que permitía diferenciar los - movimientos relativos de los absolutos. Pero -- prácticamente no había manera de determinar el sistema de referencia absoluto.

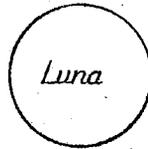
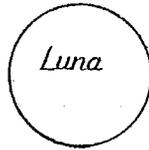
Aunque antes de 1900 ya había habido pensa - dores que criticaron la concepción absoluta del tiempo percatándose de lo mencionado arriba (-- Leibniz por ejemplo), la concepción dominante - hasta 1905 - año en que se publica la Teoría de la Relatividad Especial de Einstein- y aún des- pués, fue la absolutista.



El punto de partida de las investigaciones de Einstein sobre la naturaleza del tiempo y -- del espacio fue su deseo de reconciliar la Teoría Electromagnética de la Luz de James Clerk - Maxwell con la física newtoniana. Según Newton "los movimientos de los cuerpos contenidos en - un espacio dado son los mismos entre ellos mismos si ese espacio está en reposo, o se mueve -- uniformemente en una línea recta"<sup>23</sup>. Esto significa que todos los experimentos mecánicos deben - dar los mismos resultados si se realizan en un laboratorio en reposo sobre la superficie de la tierra o sobre un barco que se mueve uniformemente en una dirección fija (una piedra que cae descende en línea recta y con la misma aceleración en los dos casos). En este principio - el principio de relatividad clásico o de Galileo - se encuentra la razón por la cual ningún experimento mecánico nos permite diferenciar el sistema absoluto de referencia: todos los sistemas - de inercia son dinámicamente equivalentes. Pero surge la pregunta ¿se podría identificar el -- sistema de referencia absoluto por medios ópticos?

Parecía que el principio de relatividad galileano que era válido para cuerpos materiales no se cumplía para la radiación electromagnética. En la teoría de Maxwell, la radiación electromagnética se consideraba como disturbios ondulatorios que se propagaban a través de un medio universal estático - el éter luminífero - - con una velocidad constante de aproximadamente 300 000 km/seg. Pero a pesar del éxito de la -- teoría de Maxwell - que le había permitido a -- Hertz demostrar la existencia de las ondas de - radio - había dificultades conceptuales muy --- fuertes asociadas a la idea del éter luminífero.

Una de estas dificultades se la planteó -- Einstein siendo aún estudiante. El trató de imaginarse como observaría un rayo de luz si viajaba



¿Flotará libremente el astronauta durante todo el viaje o únicamente cuando las fuerzas de atracción gravitacionales se igualan?

¿Experimentará el astronauta alguna aceleración con respecto a la nave?

Si el astronauta en un momento dado tiene velocidad cero con respecto a la nave y no se empuja de sus paredes ¿cómo será su velocidad con respecto a la nave durante el resto del viaje?

Un marco de referencia inercial es aquel en el cual cualquier partícula o cuerpo que esté inicialmente en reposo permanece en reposo y cada partícula o cuerpo que esté inicialmente en movimiento continúa en movimiento sin cambio en velocidad o en dirección.

¿Es la tierra un marco de referencia inercial para nosotros?

¿Lo es para un astronauta que viaja a la Luna en una nave espacial?

¿La nave de este astronauta es un marco tal para él?

¿Un elevador que cae libremente sería un marco tal para una persona que esté en su interior?

ra a través del éter con la velocidad de aquella. Si para un observador en reposo la luz es un disturbio ondulatorio para un observador que se moviera con la velocidad de ésta - de acuerdo con la idea clásica del movimiento relativo - el rayo de luz aparecería como un campo electromagnético oscilante en reposo. Pero este concepto no tiene sentido físico ni cabe en la teoría de Maxwell.

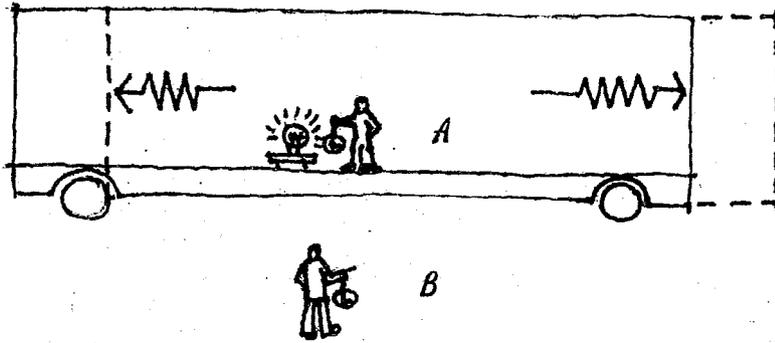
Einstein sospechó que no solamente las leyes de la mecánica sino todas las leyes de la física y en particular la que se refiere a la constancia de la magnitud de la velocidad de la luz deben ser las mismas para todos los observadores sin importar con que velocidad se mueva - aunque esta idea fuera contradictoria con la hipótesis del éter luminífero. Einstein concluyó que el principio de relatividad se cumple tanto para los fenómenos mecánicos como para los electromagnéticos y que la velocidad de la luz es la misma para los observadores en reposo y para aquellos en movimiento uniforme relativo y que no había forma de determinar el sistema de referencia absoluto.

Esta conclusión no encajaba con las ideas tradicionales relativas a la medida del movimiento. Einstein analizó las suposiciones en las que se basaba la forma de medir el movimiento y se percató de que ésta depende de la manera en que se mida el tiempo. Se dio cuenta de que la medida del tiempo se basa en el concepto de simultaneidad, por ejemplo, de la coincidencia en tiempo de un evento con una posición particular de las manecillas de un reloj. Se percató de que aunque esta idea parece perfectamente clara cuando nos referimos a eventos que ocurren en nuestro alrededor no lo es cuando tratamos con eventos distantes. En su artículo de 1905 Einstein escribió:<sup>23</sup>

"Si queremos describir el movimiento de un punto material damos los valores de sus coordenadas como funciones del tiempo. Debemos tener en mente que una descripción de ésta clase no tiene significado físico a menos que tengamos perfectamente claro qué entendemos por "tiempo". Tenemos que tener en cuenta que todas las afirmaciones en las que interviene el tiempo siempre son afirmaciones sobre eventos simultáneos. Si, por ejemplo, yo digo "ese tren llega a las siete en punto", yo quiero dar a entender algo como esto: "el hecho de que la manecilla pequeña de mi reloj apunte al siete y la llegada del tren son eventos simultáneos".

Puede parecer posible superar todas las dificultades concernientes a la definición de "tiempo" substituyendo "la posición de la manecilla pequeña de mi reloj" por "tiempo". De hecho ésta definición es satisfactoria cuando definimos un tiempo exclusivamente para el lugar donde se localiza el reloj; pero ya no es satisfactoria cuando tenemos que conectar en el tiempo series de eventos que ocurren en diferentes lugares, o -lo que es lo mismo- evaluar los tiempos de eventos que ocurren en lugares remotos de el reloj".

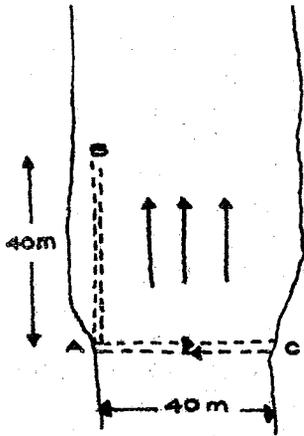
Einstein se dio cuenta de que el concepto de simultaneidad entre dos eventos, uno distante y otro cercano al observador, depende de la posición relativa del evento distante y del modo de conexión entre éste y el observador. Si un observador conoce la distancia de él a la que ocurre un evento y la velocidad de la señal que lo conecta con él entonces puede calcular la época en la que ocurrió el evento y correlacionarla con algún instante previo en su propia experiencia. Este cálculo es una operación distinta para cada observador, pero hasta que Einstein planteó este problema se había supuesto tácitamente que, cuando hemos encontrado las re-



Debido al desplazamiento del tren a B le parecerá que la luz llega primero a la parte posterior del tren, sin embargo, como A se mueve con éste a la misma velocidad, para él los rayos de luz llegarán a los dos extremos simultáneamente.

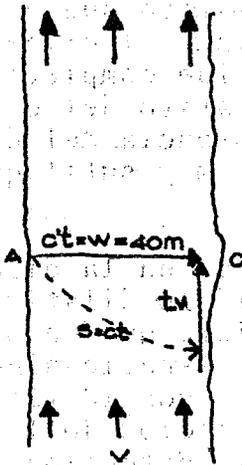
glas de acuerdo a las cuales el tiempo de percepción se determina por el tiempo del evento, todos los eventos percibidos se pueden colocar en una sola secuencia temporal objetiva que es la misma para todos los observadores. Einstein demostró que ésta era una hipótesis y que se debe rechazar<sup>23</sup>.

Einstein supuso que no hay conexiones instantáneas entre los eventos y el observador. La teoría clásica del tiempo con su hipótesis de la simultaneidad universal para todos los observadores suponía que existían tales conexiones. Einstein postuló que la forma más rápida de comunicación es por medio de señales electromagnéticas (luz, ondas de radio, etc.) en el espacio vacío y que su velocidad es la misma para todos los observadores ya sea que estén en reposo o moviéndose uniformemente en línea recta. Esto se desprendía de su hipótesis de que las leyes de la física deben ser las mismas para tales observadores. De esta suposición se sigue que los observadores en movimiento uniforme relativo en general asignarán diferentes tiempos al mismo evento y que un reloj en movimiento parecerá caminar más lentamente comparado con un reloj idéntico en reposo con respecto al observador. De la misma suposición también se desprende que un observador verá que un cuerpo en movimiento uniforme con respecto a él sufre una contracción en su dimensión en la dirección del movimiento. Esto es, hay un efecto de contracción de la longitud en virtud del movimiento. Estos efectos son totalmente simétricos entre observadores moviéndose uniformemente. No se debe considerar la contracción, así como la dilatación del tiempo, como una fuerza física que actúa sobre el observador sino como propiedades del espacio y del tiempo. Para velocidades pequeñas estos efectos son despreciables pero no lo son para velocidades cercanas a las de la luz.



Principio del experimento de Michelson y Morley:

Si dos nadadores se desplazan con la misma velocidad y nadan la misma distancia, uno paralelo a la corriente y el otro a contracorriente, el primero llega antes al punto de partida. ¿Por qué?



$s$  es la distancia realmente recorrida para pasar de A a C.

¿Cómo podemos conocer la distancia realmente recorrida?

$$\frac{\text{distancia real}}{\text{ancho del río}} = \frac{\delta}{w} = \frac{ct}{c't} = \frac{c}{c'}$$

$$c' = \sqrt{(c^2 - v^2)}$$

$$\frac{\delta}{w} = \frac{c}{\sqrt{c^2 - v^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \gamma$$

$$\text{distancia real} = 40 \text{ m} \times \gamma$$

La Teoría de la Relatividad Especial permitió explicar de una manera natural el fracaso del experimento de Michelson y Morley. El objeto de este experimento fue determinar el movimiento de la tierra con respecto al éter y se realizó por primera vez en 1887. Michelson pensó que un instrumento muy sensitivo que había inventado, el interferómetro, le permitiría medir este movimiento. Con este instrumento se esperaban obtener patrones de interferencia cuando se superpusieran dos rayos de luz después de haber sido transmitidos de ida y regreso a través de direcciones perpendiculares. Cuando se compararan los patrones obtenidos para diferentes orientaciones del aparato se esperaba obtener alguna variación dependiendo del cambio en esas direcciones relativas al movimiento de la tierra. Además, el hecho de que en el curso de medio año la tierra cambia su velocidad relativa al Sol de 30 km/seg en una dirección a 30 km/seg en la dirección contraria implica un cambio de velocidad de 60 km/seg. Aunque el interferómetro utilizado era tan sensitivo que podía detectar efectos debidos a una velocidad de menos de 10 km/seg el resultado fue completamente negativo. El resultado negativo del experimento llevó a rechazar la existencia del éter al que se suponía como un fluido muy sutil que llena todo el espacio.

La contracción de la longitud en la dirección del movimiento y la expansión o dilatación del desarrollo temporal nos sugiere que un objeto no solo tiene extensión en el espacio sino que también en el tiempo. Podemos considerar la dilatación del tiempo y la contracción de la longitud como una reducción en la extensión temporal, lo que nos sugiere que un objeto tiene una extensión espacio-temporal inalterable y que la proyección de esta extensión sobre el espacio y el tiempo es de proporciones variables dependiendo de la velocidad relativa del objeto.

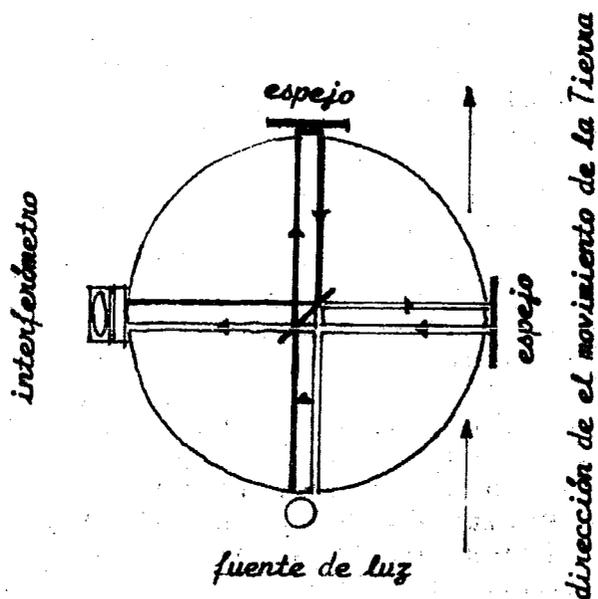


Diagrama simplificado del aparato de Michelson y Morley. Un rayo de luz se bifurca en dos al pasar a través de un espejo semiplateado. Los dos rayos formados viajan longitudes idénticas a ángulos rectos. Se esperaba que al reunirlos en el interferómetro formaran patrones de interferencia debido a que cambiaban la orientación del aparato y la dirección del movimiento de la Tierra a través del eter hipotético.

Podríamos esperar que dichas proyecciones sean similares a las proyecciones en el espacio ordinario, en las que una varilla de longitud fija puede parecerse más corta si la orientamos de tal forma que su aspecto a lo largo de la línea de visión parezca más corto. La longitud real de la varilla se relaciona a las longitudes proyectadas en direcciones perpendiculares por el teorema de Pitágoras  $l^2 = x^2 + y^2 + z^2$  donde  $x$ ,  $y$ ,  $z$  son las longitudes proyectadas en las tres direcciones perpendiculares y  $l$  es la longitud real de la varilla.

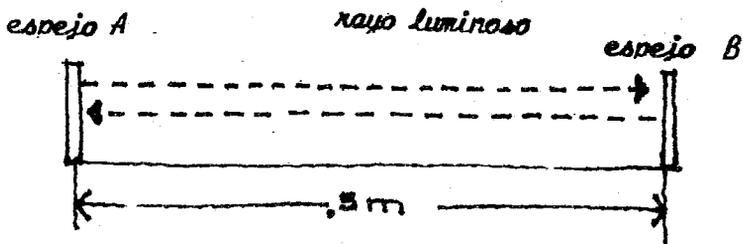
De las transformaciones de Lorentz se sigue que, aunque  $x$  y  $t$  no son invariantes para todos los observadores, la combinación  $x^2 - c^2 t^2$  si lo es:  $x^2 - c^2 t^2 = x'^2 - c^2 t'^2$ . Si consideramos el movimiento en las tres dimensiones espaciales, el intervalo invariante, que denotamos por  $s$ , está dado por:  $s^2 = x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2$ . El término  $c^2 t^2$  nos permite hacer la conversión de un intervalo de tiempo en uno espacial. Por ejemplo, un segundo de tiempo es equivalente a 300 000 km de espacio. Los astrónomos desde hace tiempo han hecho lo contrario: medir las distancias con una unidad basada en el tiempo: el año luz. Expresan la distancia a la que se encuentra una estrella por medio del tiempo -- que necesita la luz emitida por ella para llegar hasta nosotros.

El hecho de que solamente combinando los intervalos espaciales y temporales podemos formar una cantidad invariante,  $s$ , para todos los observadores nos sugiere que consideremos al espacio y al tiempo como un todo separable sólo artificialmente, con un tiempo-espacio unificado. De esto no debemos concluir que el espacio es tetradimensional o que el tiempo es una forma de espacio. Lo que afirmamos es que las propiedades del espacio y las del tiempo -- están entrettejidas y que no es posible construir

¿Podemos medir el tiempo en metros?

Un reloj se basa en algún fenómeno que se repite periódicamente. El lapso de tiempo entre las repeticiones sucesivas - debe de ser el mismo.

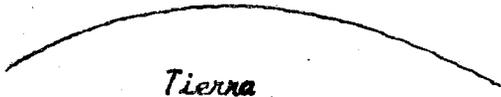
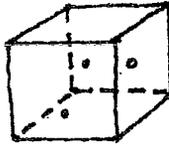
¿Podemos considerar el siguiente dispositivo como un reloj?



Este reloj va a marcar una unidad de tiempo cada vez que el rayo de luz llegue al espejo A (la velocidad de la luz es constante en un medio determinado y es la misma para todos los observadores). La unidad de tiempo en este reloj es un metro - de tiempo recorrido por la luz. Si este dispositivo se encuentra en el vacío ¿cuántos metros equivalen a un segundo?

modelos separados de cada uno de ellos que nos representen la realidad. El espacio y el tiempo siguen siendo cualitativamente diferentes. Aunque el espacio es simétrico el tiempo no lo es, en éste último sólo nos podemos mover en una dirección: del pasado al futuro.

Imagine un cubo de 20 metros de lado que cae libremente hacia la superficie de la Tierra y que su tiempo de caída libre son 10 segundos.



Para las partículas que se encuentran dentro del cubo éste será un marco de referencia inercial durante diez segundos. Y el espacio en el que las partículas no experimentan fuerzas gravitacionales es de veinte metros cúbicos. Entonces podemos hablar de un marco de referencia inercial de veinte metros cúbicos durante diez segundos. El tiempo-espacio en el cual existe este marco de referencia inercial es (expresando el tiempo en metros):

$$(20 \text{ m.} \times 20 \text{ m.} \times 20 \text{ m.}) \times (10 \times 3 \times 10^8 \text{ m. de tiempo})$$

## LA MATERIA Y LA ENERGIA

En la concepción del mundo que se conforma a comienzos de este siglo se niegan una serie de suposiciones de la concepción cinético-corpúscular relativas a la materia: la proporcionalidad entre masa y volumen; la independencia entre la masa (materia) y el movimiento; la materia concebida como corpúsculos discontinuos y se descubre la identidad fundamental: la identidad entre la masa (materia) y la energía.

LA PROPORCIONALIDAD ENTRE MASA Y VOLUMEN. Con el desarrollo de la teoría atómica a fines del siglo pasado y comienzos de éste, la proporcionalidad entre la masa y el volumen se vio cuestionada. Se encontró que casi toda la masa del átomo se encuentra en el núcleo y que el radio de éste es del mismo orden que el del electrón.

LA MASA COMO FUNCION DE LA VELOCIDAD. La independencia entre la materia y el movimiento fue refutada por la teoría de la relatividad según la cual la masa está en función de la velocidad de acuerdo a la relación

$$m = \gamma m_0$$

donde  $m_0$  es la masa del cuerpo en reposo.

Este descubrimiento, le permitió a Einstein resolver su problema original: ¿cómo se observaría un rayo de luz si se viajara con la velocidad de ésta? La masa inercial de un cuerpo se incrementa indefinidamente como su velocidad se aproxima a la de la luz y como resultado una fuerza actuando sobre el cuerpo produce cada vez cambios más pequeños en su velocidad y entonces ninguna partícula material puede alcanzar la velocidad de la luz.

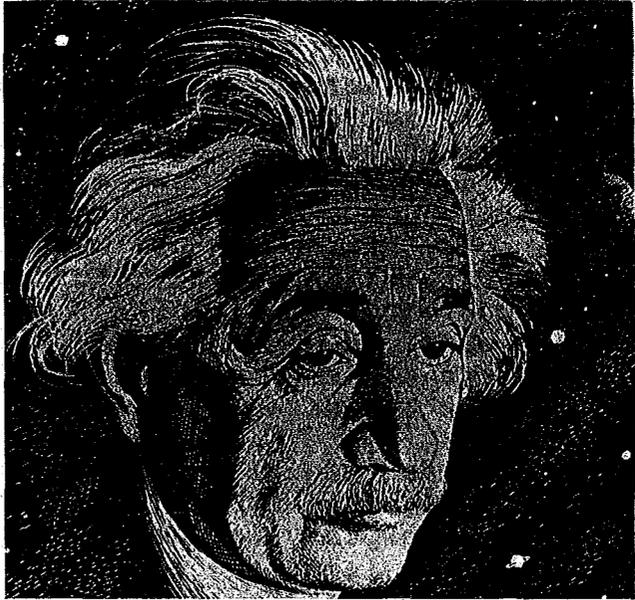
LA IDENTIDAD ENTRE MASA Y ENERGIA. Como una consecuencia de las ecuaciones de Lorentz (de la fusión del espacio con el tiempo), Einstein encontró que la energía de un cuerpo en reposo está dada por

$$E = mc^2$$

Esta es la única ecuación para la energía en la teoría de la relatividad y contiene a todas las formas de energía: potencial, química, térmica, etc. Según esta relación la energía y la masa son idénticas. El cuadrado de la velocidad de la luz es únicamente un factor de conversión. Ahora tenemos un nuevo concepto: "masa-energía". Las leyes de conservación de la masa y la energía se vuelven una sola: la ley de conservación de la "masa-energía". Ahora sabemos que la masa total de un agregado de partículas o cuerpos ya no es igual a la suma aritmética de las masas de sus componentes individuales sino que se reduce o se incrementa según se absorba o se libere energía en el proceso de agregación.

EL CONCEPTO DE CAMPO. Este concepto ya --- existía en la física clásica, pero en ésta sólo jugaba un papel auxiliar cuando la materia era tratada como un continuo. Por ejemplo, cuando se describe el movimiento de un líquido en un tubo hay una velocidad en cada punto y en todo instante. En este caso hablamos de un campo de velocidades.

Los campos sólo se concebían en una masa ponderable. En donde no había materia no podía existir un campo. A comienzos del siglo XIX se encontró que los fenómenos de interferencia se podían explicar perfectamente si la luz se consideraba como un campo de ondas. Como este campo de ondas era análogo al campo de vibraciones mecánicas en un cuerpo sólido elástico la única



manera de darle una explicación mecánica al primero era suponer que en el espacio había una forma de materia a la que se le denominó éter.

En la segunda mitad del siglo pasado Michael Faraday, ante la dificultad de visualizar la acción de las fuerzas eléctricas y magnéticas en función de una "acción a distancia", supuso que las cargas eléctricas llenan el espacio de líneas de fuerza imaginarias que representan una entidad invisible -el campo- que penetra todo el espacio. La idea de Faraday, que se oponía a la idea newtoniana de acción a distancia, suponía que una carga genera un campo y éste actúa sobre otra carga con una fuerza proporcional a ésta última. Esta interpretación resultó muy superior a la mecánica y, luego de haber sido desarrollada por Maxwell, llevó a predecir la existencia de ondas electromagnéticas idénticas a las luminosas.

En cierto sentido el campo es una extensión de la materia. En la física clásica el campo representa energía y la materia representa masa. A la luz de la teoría de la relatividad sabemos que la materia representa energía y que ésta representa materia. Desde este punto de vista no podemos distinguir entre materia y campo ya que la diferencia entre masa y energía no es cualitativa. La materia es un gran depósito de energía pero el campo que envuelve la partícula también representa energía aunque en una cantidad mucho menor. Podríamos decir que la materia es el lugar donde la concentración de energía es muy grande y el campo aquel donde dicha concentración es pequeña. Entonces, la diferencia entre materia y campo es solo cuantitativa. No hay razón para considerar la materia y el campo como dos cualidades esencialmente diferentes.

"La materia que percibimos no es más que -

una gran concentración de energía en regiones -  
muy pequeñas. Por tanto, podemos considerar a -  
la materia como constituida por las regiones --  
del espacio en que el campo es extremadamente -  
intenso... No hay lugar en este nuevo tipo de -  
física para el campo y la materia, pues el cam-  
po es la única realidad". A. Einstein.<sup>6</sup>

## LA TEORIA DE LA GRAVEDAD DE EINSTEIN

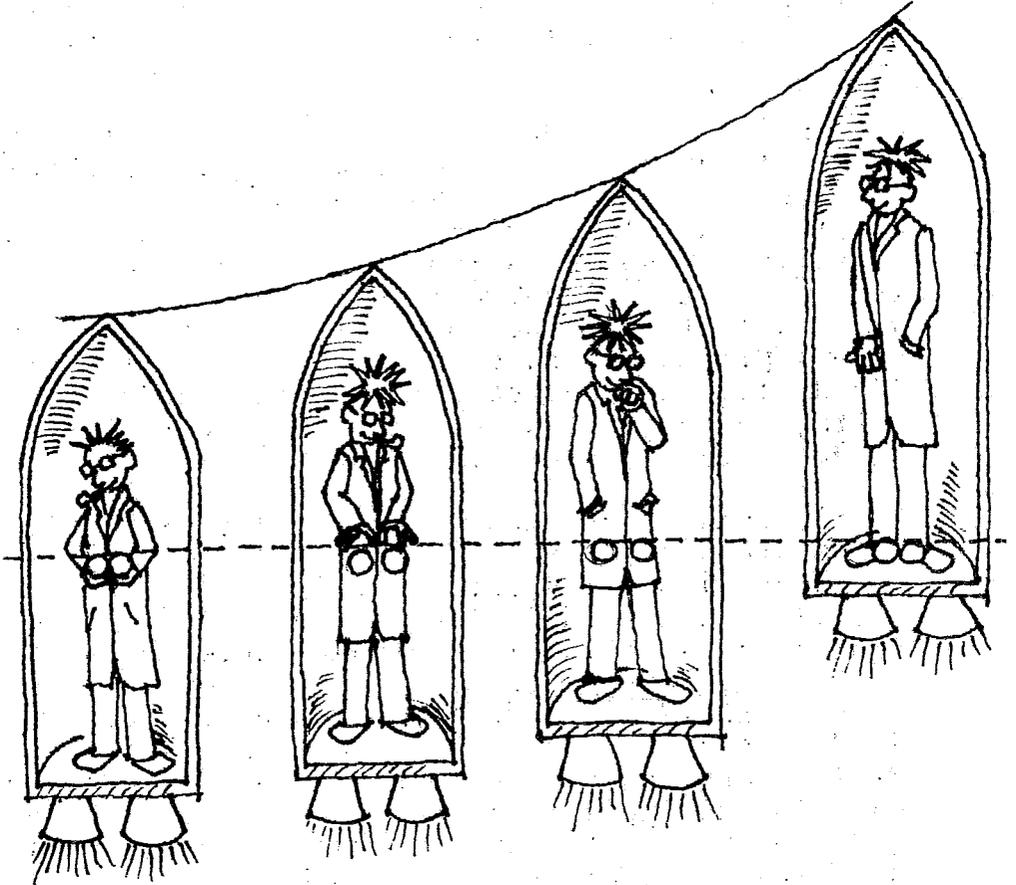
Si a un objeto de masa pequeña (una pelota de hule) y a otro de masa mayor (una esfera de acero) las arrojamos horizontalmente con la misma fuerza, producimos una aceleración mayor en el cuerpo de masa menor. Sabemos por experiencia que la fuerza necesaria para acelerar un cuerpo depende de la masa de ese cuerpo. Estos dos hechos se expresaron de manera general por Newton en su segunda ley. Sin embargo, hay un caso en el que no parece haber relación entre la aceleración de un cuerpo y su masa: cuando los dos objetos de diferentes masas se dejan caer, ellos alcanzan el mismo grado de aceleración cuando caen. La solución de Newton fue la ley de la gravitación, según la cual la fuerza misteriosa por la cual un cuerpo material atrae a otro se incrementa de acuerdo con la masa del objeto atraído. Cuanto mayor es la masa, mayor es la atracción de la gravedad. Si la masa es pequeña, entonces su resistencia al movimiento es menor; pero así mismo la fuerza que ejerce la gravedad sobre él es menor. Si la masa es grande, su resistencia es grande también y la fuerza que sobre él ejerce la gravedad es mayor. Esto es, la gravedad siempre se ejerce en el grado necesario para vencer la inercia de cualquier objeto. Debido a esto todos los cuerpos caen con la misma aceleración independientemente de su masa inercial.

Einstein se propuso explicar este equilibrio entre la fuerza gravitacional y la masa inercial; él dudó de que este equilibrio fuese algo accidental. La naturaleza de la interacción gravitacional y, la proporcionalidad entre la masa inercial y la masa gravitacional permanecieron sin explicarse hasta la publicación del trabajo de Albert Einstein sobre la teoría general de la relatividad.

Para tratar el problema del movimiento no uniforme, el cual no se explica en la teoría especial de la relatividad, Einstein imaginó un laboratorio en alguna nave espacial localizada lejos de cualesquiera masas gravitacionales. Si el vehículo está en reposo o en movimiento uniforme con respecto a las estrellas lejanas entonces todos los observadores y todos los objetos que no se encuentren sujetos a las paredes de la nave flotarán libremente. No hay "abajo" y "arriba". Pero en el momento en el que se encienden los motores del cohete y la nave se acelera, los objetos y las personas son presionados en dirección opuesta a la del movimiento de la nave. La pared contra la que son presionados hace las veces de piso y la gente se podrá mover como si estuviera en la Tierra. De hecho, si la aceleración que se le imprime a la nave es igual a la aceleración de la gravedad sobre la superficie de la Tierra, los pasajeros pueden creer que la nave se encuentra aún sobre la superficie de ésta.

Supongamos que uno de los pasajeros simultáneamente deja caer dos esferas, una de madera y otra de plomo, las que sostenía en sus manos a la misma altura del piso. Lo que sucede es lo siguiente: mientras el observador sostuvo las esferas éstas eran aceleradas junto con éste y la nave. Cuando el observador las deja caer dejan de estar sujetas a la aceleración producida por los cohetes, y se mueven juntas cada una con una velocidad igual a la de la nave en el momento de soltarlas. La nave, mientras tanto, continúa ganando velocidad y el piso de la nave rápidamente alcanzará a las dos esferas y las golpeará simultáneamente.

Al observador dentro de la nave el experimento le parecerá diferente. Desde su punto de vista, las esferas caen y golpean el piso al mismo tiempo. Recordando el experimento atribuido a Galileo, realizado en la torre de Piza, --

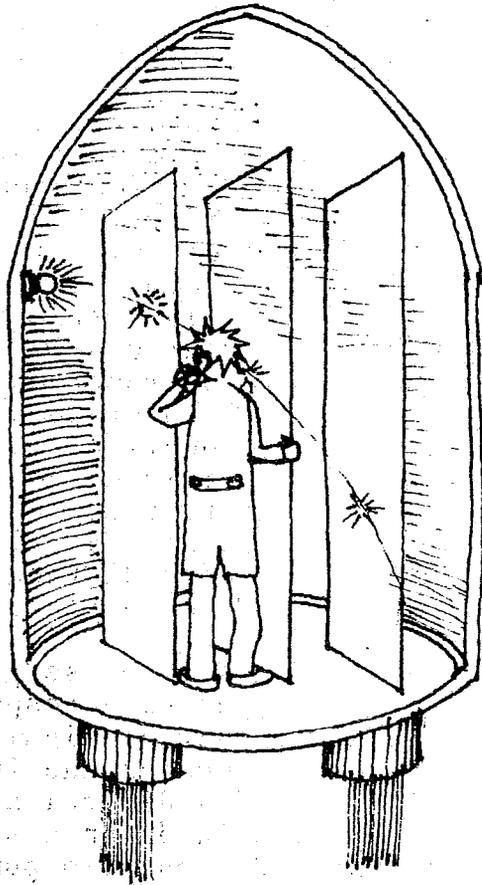


creerá que existe un campo gravitacional en su laboratorio.

Las dos descripciones son correctas, la -- equivalencia de los dos puntos de vista es el -- fundamento de la teoría relativista de la gravedad formulada por Einstein. La equivalencia entre las observaciones realizadas en un laboratorio en movimiento acelerado y aquellas realizadas en un campo gravitacional real no se restringe únicamente a los fenómenos mecánicos, sino que es válido para todos los fenómenos. Este es el llamado principio de equivalencia.

Imaginemos ahora un rayo de luz propagándose a través del laboratorio en dirección "horizontal". Podemos seguir su trayectoria por medio de una serie de placas de vidrio fluorescentes "verticales" colocadas a distancias iguales. Lo que sucede, visto por un observador externo a la nave es que el rayo de luz viaja en una línea recta a velocidad constante, mientras que las placas de vidrio están siendo aceleradas -- junto con la nave y a cada instante se mueven con mayor velocidad. El rayo tarda el mismo tiempo en pasar de una placa a la siguiente, pero las placas se mueven más rápidamente mientras la luz recorre los intervalos sucesivos entre aquellas. El patrón de los puntos fluorescentes, -- que nos indica la trayectoria de la luz desde el punto de vista del observador dentro de la nave, nos mostrará que el piso se aproxima al rayo de luz con una velocidad cada vez mayor. Si el observador dentro del laboratorio dibuja una línea que pase por todos los puntos fluorescentes, a él le parecerá que la luz describe una parábola y que se mueve hacia el piso. Ya que él considera que el fenómeno de la aceleración se debe a la gravedad dirá que la luz se curva cuando pasa a través de un campo gravitacional."

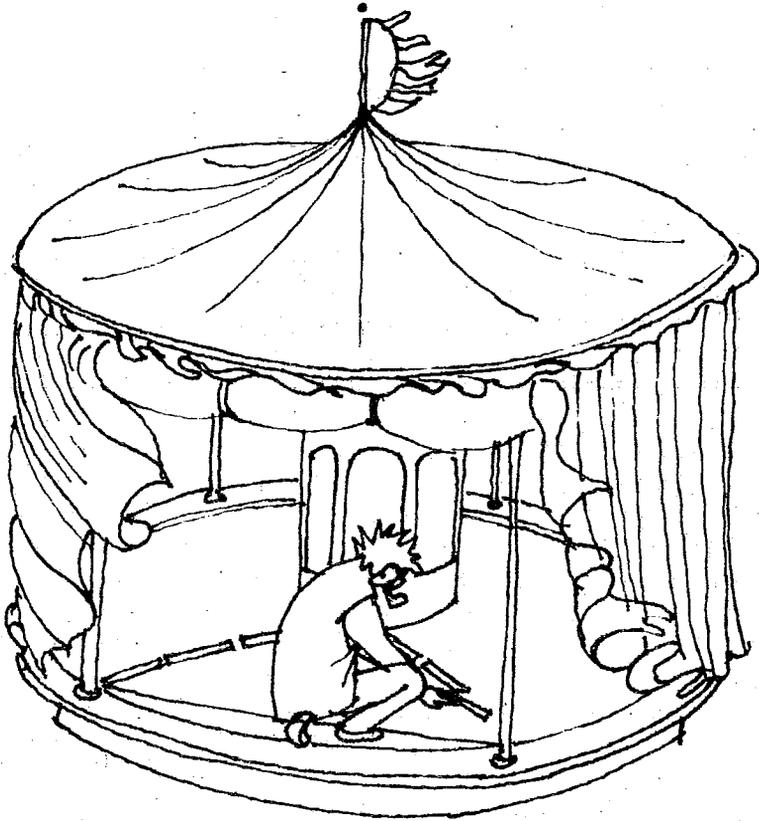
Vamos a considerar ahora otro tipo de mo--



Faint, illegible text is visible in the lower-left corner of the page, appearing as bleed-through from the reverse side.

vimiento acelerado: el de rotación uniforme. Imaginemos un carrusel cerrado de tal manera que -- las personas que se encuentren en su interior no puedan decir que están rotando por medio de ob-- servaciones del exterior. Si el carrusel está gi-- rando, las personas y los objetos en su interior experimentarán una fuerza centrífuga que los ten-- derá a expulsar del interior de aquel. Si colocā-- mos una esfera sobre la plataforma, se alejará -- del centro. La fuerza centrífuga que actúa sobre cualquier objeto que se encuentre sobre la plata-- forma será proporcional a la masa inercial del -- objeto, de tal manera que el efecto del movimien-- to acelerado se puede considerar como equivalen-- te al de un campo gravitacional. Sin embargo, -- este campo es diferente al campo sobre la super-- ficie de la Tierra, ya que la fuerza en aquel es dirigida hacia fuera del centro del carrusel, no hacia éste, y en lugar de decrecer de manera in-- versamente proporcional al cuadrado de la distan-- cia se incrementa proporcionalmente a esa distan-- cia. Sin embargo, el principio de equivalencia -- se sostiene y podemos interpretar que este campo es debido a una masa gravitacional distribuida -- de manera homogénea a grandes distancias y alre-- dedor del eje de simetría de la plataforma".

Ahora nos preguntamos ¿cómo se propaga la -- luz a través de este campo? Para responder a es-- ta pregunta vamos a imaginar el siguiente experi-- mento: Supongamos que colocamos una fuente lumi-- nosa que emite luz en todas direcciones en un -- punto A, sobre la periferia de un disco que está girando, y a un observador en otro punto sobre -- la periferia, B. Este observador sabe que de acuer-- do a las leyes de la óptica, la luz siempre se -- propaga siguiendo la trayectoria más corta entre dos puntos y se pregunta ¿cuál es la trayectoria más corta entre A y B? Para averiguarlo recurre al método de medir la longitud de las diversas -- trayectorias posibles yuxtaponiendo una unidad -- patrón (un metro por ejemplo) el número de veces que sea necesario".



Los observadores externos verán que cuando el observador dentro del carrusel mide la longitud a lo largo de la línea recta que conecta los puntos A y B, sus unidades patrón se contraerán y necesitará, por lo tanto, una mayor cantidad de éstas para completar la distancia entre los dos puntos que las que requerirían si la plataforma no se estuviera moviendo (efecto predicho por la teoría especial de la relatividad según la cual un cuerpo que se mueve se contrae en la dirección del movimiento).

Mientras más cerca esté una unidad patrón del centro del carrusel su velocidad lineal será menor y por lo tanto se contraerá en una menor cantidad. Si el observador cuenta el número de unidades patrón requeridas para completar las trayectorias entre A y B que se curvan hacia el centro encontrará que el número de éstas es menor que en el caso anterior ya que el incremento en la distancia se compensa por la menor contracción de las unidades patrón. El observador puede considerar que un rayo de luz que sigue la trayectoria más corta (inicialmente se dirige hacia el centro y luego se curva hacia fuera) se curva debido al campo gravitacional aparente, el cual se dirige radialmente hacia fuera.

Imaginemos que colocamos dos relojes, uno cerca del centro y otro en la orilla de la plataforma. Como la velocidad lineal del reloj exterior es mayor, de acuerdo con la teoría especial de la relatividad, éste caminará más lentamente que el reloj interior. Ahora el observador que interpreta los efectos de la aceleración en términos de un campo gravitacional dirá que el reloj colocado en el campo gravitacional más alto (es decir, en la dirección en la que actúa la fuerza gravitacional) camina más lentamente.

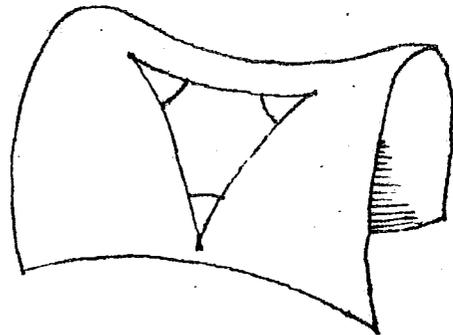
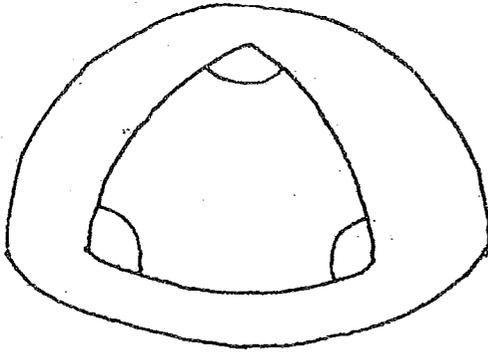
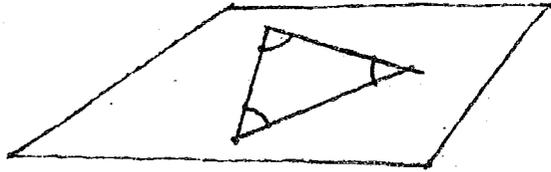
Einstein demostró que el mismo efecto se -

presenta en un campo gravitacional normal como el de la Tierra. En este caso, el campo se dirige al interior de esta, de donde un reloj al nivel del mar camina más lentamente que uno sobre una montaña. Este cambio en el ritmo del tiempo se aplica a todos los procesos físicos, químicos y biológicos, y mientras más fuerte es el campo gravitacional mayor es el decremento en el ritmo del transcurso del tiempo.

Como no podemos colocar un reloj en la superficie del Sol, recurrimos a otro método para medir el tiempo: vamos a observar la rapidez de las vibraciones atómicas que producen las diferentes líneas del espectro solar. Si estas vibraciones son más lentas entonces la luz que ellas emiten debería estar desplazada hacia la región de baja frecuencia del espectro. Este corrimiento gravitacional fué predicho por Einstein y se observa en el espectro solar, pero es tan pequeño que se encuentra en el rango de la precisión de las observaciones. El espectro de las estrellas con un campo gravitacional mucho más fuerte, como las enanas blancas, concuerda con lo esperado teóricamente".

Para poder mantener la definición de una línea recta como la distancia más corta entre dos puntos o como la trayectoria de la luz en el vacío Einstein, en lugar de decir que los rayos de luz se curvan y que las distancias más cortas son curvas, sugirió que el tiempo-espacio es curvo. (La definición de una línea recta como aquella línea que representa la distancia más corta entre dos puntos nos permite extender el concepto de línea recta a superficies y espacios más complejos que los estudiados por la geometría euclidiana. En superficies curvas, por ejemplo, nos lleva a una familia de líneas bien definida que cumple la misma función que las líneas rectas comunes en la geometría de Euclides.

*¿Cómo es la suma de los ángulos interiores en cada uno de los siguientes triángulos? ¿Es constante la curvatura de cada una de estas superficies?*



*Podemos apreciar la curvatura de un espacio bidimensional porque es exterior a nosotros. ¿Cómo podríamos percatarnos de la curvatura del espacio en el que vivimos?*

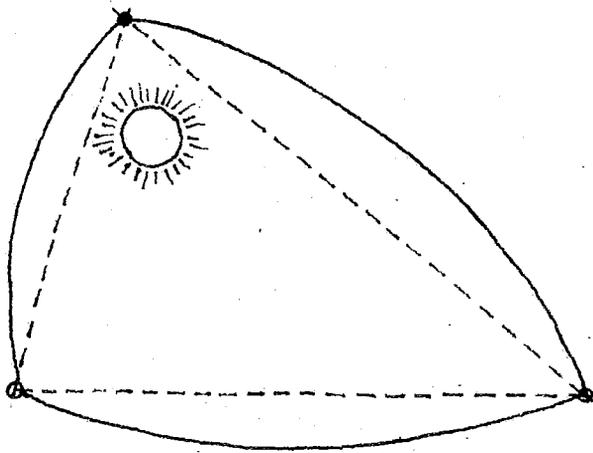
A las líneas que se obtienen de acuerdo a esta definición se las conoce como líneas geodésicas).

Como no podemos imaginar un espacio curvo tridimensional vamos a hacer una analogía con las superficies bidimensionales para tratar de entender las propiedades de aquel.

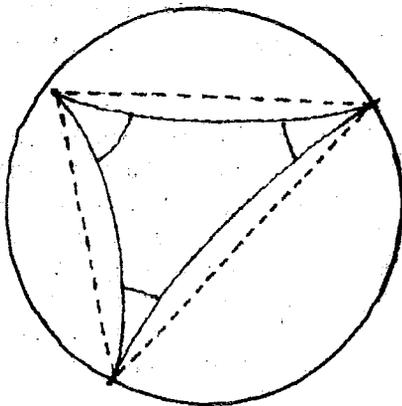
En las superficies curvas, como en la superficie de una esfera y en la de una silla de montar, muchos de los teoremas de la geometría euclidiana no se cumplen. En un triángulo plano la suma de los ángulos interiores es  $180^\circ$ . En un triángulo dibujado sobre una superficie esférica la suma de los ángulos interiores es mayor de  $180^\circ$  y en uno dibujado sobre la superficie de una silla de montar la suma de dichos ángulos es menor de  $180^\circ$ . Las líneas que forman los triángulos sobre la superficie de la esfera y de la silla no son líneas rectas desde el punto de vista tridimensional, pero son las líneas más cortas entre los puntos en la superficie. Son líneas geodésicas.

En un espacio tridimensional una línea geodésica se define como la trayectoria en la que se propaga un rayo de luz (la óptica nos asegura que la luz siempre sigue la trayectoria más corta posible). Si construimos un triángulo en dicho espacio con tres geodésicas y si la suma de sus ángulos interiores es  $180^\circ$  entonces concluimos que dicho espacio es "plano". Si la suma es mayor entonces dicho espacio es esférico o con curvatura positiva y si es menor entonces afirmamos que tal espacio es en forma de silla o con curvatura negativa.

Si tres observadores, colocado uno en Venus, otro en Marte y otro en la Tierra construyen un triángulo entre ellos por medio de rayos luminosos encontrarán que la suma de los ángulos interiores es mayor de  $180^\circ$  debido a la defle---



Tres observadores situados en diferentes puntos  
alrededor del Sol construyen un triángulo entre  
ellos por medio de rayos luminosos.



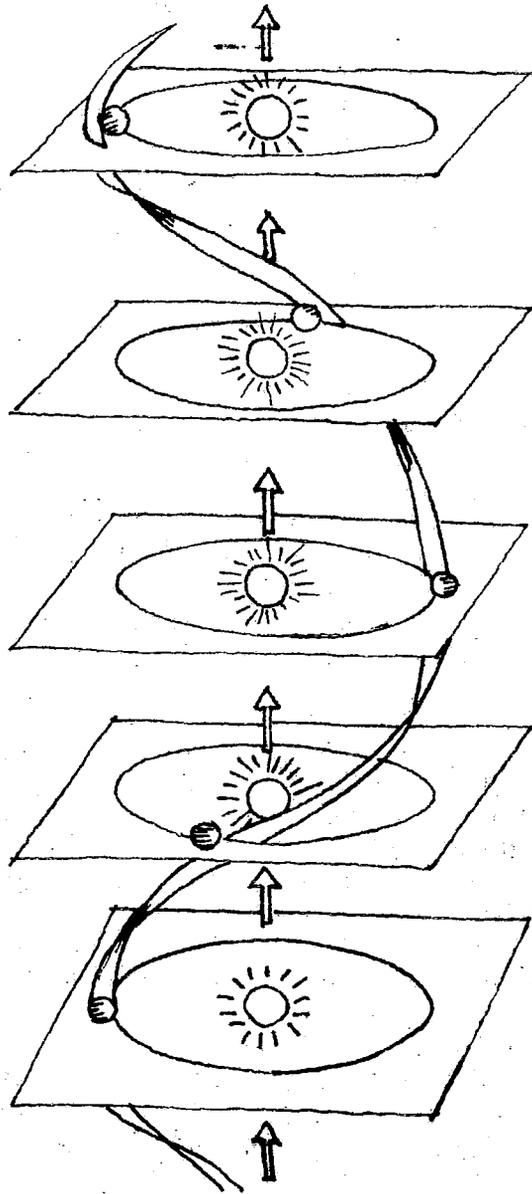
Si construimos un triángul  
lo en el carrusel por me-  
dio de rayos de luz sería  
como el de la figura, —  
¿por qué?

xión de la luz hacia el Sol. La conclusión de este experimento es que el espacio alrededor de éste tiene curvatura positiva. En el carrusel con el que trabajamos anteriormente debido al tipo de campo gravitacional la suma de los ángulos de un triángulo es menor de  $180^\circ$  de donde concluimos que este espacio tiene curvatura negativa".

Según la concepción newtoniana el Sol produce en el espacio que lo rodea un campo de fuerzas que hace que los planetas se muevan siguiendo -- trayectorias curvas. La concepción einsteniana nos dice que lo que sucede realmente es que el espacio se curva debido al campo gravitacional del Sol y que los planetas se mueven siguiendo -- las trayectorias más cortas en este espacio curvo. Las trayectorias son las líneas geodésicas -- en el tiempo-espacio. Ya no podemos considerar -- al espacio como independiente de su contenido físico; la presencia de un cuerpo modifica la curvatura del espacio. Para poder percatarnos de su curvatura tenemos que tomar grandes distancias -- así como para percatarnos de la curvatura de la superficie terrestre no basta con hacer mediciones en un área pequeña. Además, como la curvatura del espacio se debe a la presencia de cuerpos masivos, es necesario realizar las mediciones -- cerca de las grandes masas para que la curvatura sea apreciable.

Hemos visto que según la teoría general de la relatividad el curso del tiempo se alarga por la acción del campo gravitacional o, lo que es -- equivalente, por la curvatura del tiempo-espacio. Esta dilatación del tiempo en los campos gravitacionales es de un tipo distinto a la de la teoría especial. Para aclarar esta diferencia vamos a analizar los siguientes experimentos mentales propuestos por Paul Langevin en 1911.<sup>6</sup>

En el primero de estos experimentos supongamos que un observador dentro de un proyectil sale de la tierra a una velocidad muy cercana a la



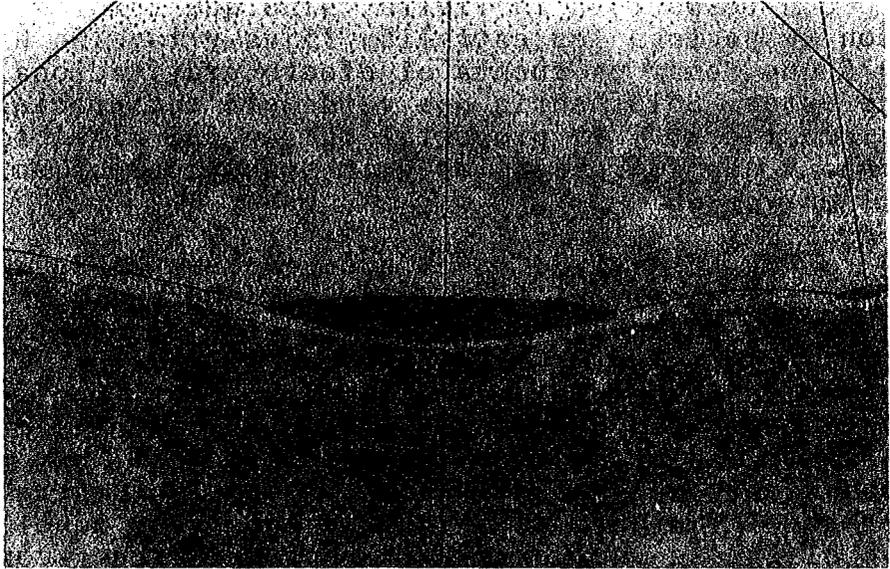
El movimiento de un planeta en el tiempo-espacio es una geodésica. En el dibujo cada plano representa el espacio en un instante dado. La flecha indica la dirección del tiempo.

de la luz, una velocidad  $1/20000$  inferior a la de la luz, y que viaja durante un año terrestre (medido por él) a esta velocidad, y que después de un año da la vuelta para regresar a la Tierra. En total para el viajero el viaje dura dos años. Según la física clásica para un observador en nuestro planeta transcurriría el mismo intervalo de tiempo que para el observador en la nave. Según Langevin, el intervalo de dos años vivido por el viajero corresponderá a un intervalo de dos siglos en la Tierra.

La otra paradoja propuesta por Langevin suponía que una de dos muestras de la misma sustancia radioactiva sale de la Tierra en una nave espacial con una velocidad cercana a la de la luz y si después de un año retorna se descubrirá que el ritmo de desintegración radioactiva fue mucho más lento en la nave que sobre la Tierra. Esto equivaldría a comparar un reloj que viajara en la nave con otro que permaneciera en ésta.

Estos experimentos fueron criticados en base a la teoría especial de la relatividad. Como en ésta no hay sistemas inerciales privilegiados el observador en la nave puede considerar que la Tierra se aleja de él así como el observador en ésta considera que la nave se aleja de él. Entonces ¿por qué no envejece sólo dos años el observador en la Tierra y transcurren dos siglos para el viajero?

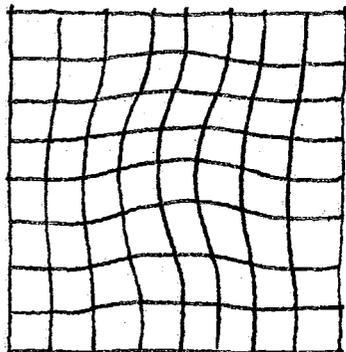
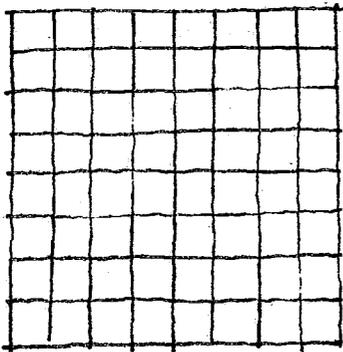
Lo que sucede es que este viaje se sale del campo de la teoría especial que trata únicamente del movimiento no acelerado (inercial). En las paradojas de Langevin hay una gran aceleración en el momento en el que la nave invierte su camino para regresar y como según el principio de equivalencia, los fenómenos de aceleración son dinámicamente equivalentes a los efectos del cam



*El espacio se deforma por la presencia de un cuerpo.*

po gravitacional, estos experimentos caen en el campo de la teoría general. Como el campo gravitatorio de la Tierra es muy grande comparado con el de la nave no puede haber simetría entre los dos observadores con respecto a la dilatación del tiempo. Además, el proyectil se mueve no sólo con respecto a la Tierra, sino que también con respecto a las estrellas fijas y también habrá que tomar en cuenta el efecto gravitacional de estas. Sólo habría una verdadera reciprocidad si la Tierra y el proyectil fuesen del mismo tamaño y además fuesen los únicos dos cuerpos en el universo.

Hay un sentido en el que, incluso en la teoría general, el tiempo sigue siendo universal<sup>6</sup>. Los dos observadores viven el mismo instante de tiempo en el momento de su separación y se encuentran en el mismo instante de tiempo cuando vuelven a unirse; de otro modo sería imposible hablar de su encuentro. Es decir, hay dos duraciones para el tiempo que se encuentra entre el instante en el que se separan y aquel en el que se vuelven a unir. Dos duraciones con temporáneas. Dos lapsos de tiempo de diferente magnitud que existen simultáneamente. Lo que resulta afectado por el movimiento relativo de los dos sistemas y por los efectos de las aceleraciones son las unidades de tiempo, cuya dilatación por el efecto de la gravitación explica el que los dos observadores hagan diferentes cálculos del tiempo. Pero la sucesión de las unidades no se ve afectada: se parte de puntos adyacentes en el tiempo-espacio y se reencuentran en otro punto común a los dos en el tiempo-espacio. B. Russell dice sobre esto (Our Knowledge of the External World)<sup>6</sup>: "el principio de la relatividad ha dado prominencia al concepto de "tiempo local", y disminuyó algo la confianza de los hombres en la corriente de tiempo de fluidez uniforme. No obstante, sin dogmatizar con respecto al resultado final del principio -



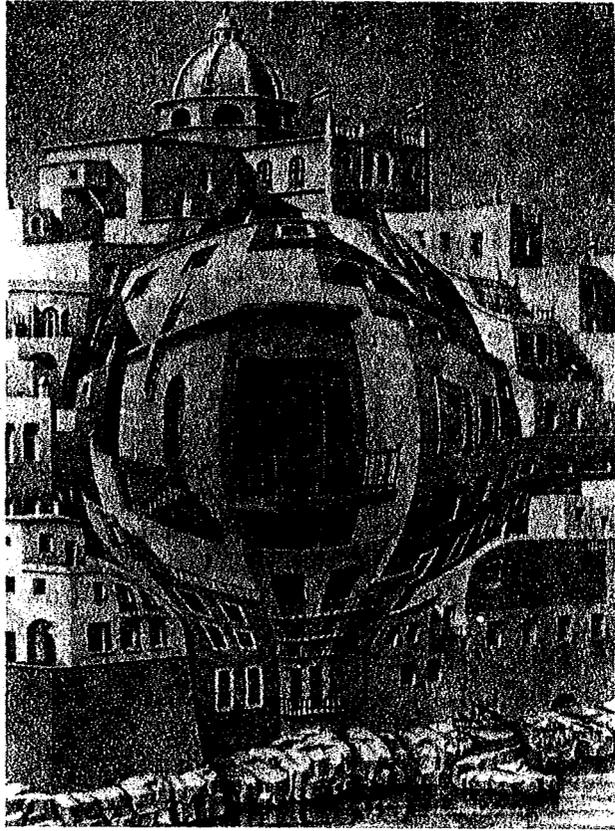
La curvatura del espacio debida a la presencia de un cuerpo - la podemos comparar con la deformación que sufriría una superficie plana, por ejemplo un tablero de ajedrez de un material termoplástico, cuando le acercamos una vela por la parte inferior. La deformación producida por el calor de la vela es análoga a la deformación que produce en el espacio la presencia de un cuerpo. En la superficie deformada la distancia más corta entre dos puntos cercanos al centro ya no es más una línea recta.

de la relatividad, creo que podemos decir sin riesgo alguno que no destruye la posibilidad de correlacionar diferentes tiempos locales. En realidad, a pesar de las dificultades con respecto a la medición, creo que el único tiempo omnímodo subyace, sin embargo, en todo lo que la física tiene que decir acerca del movimiento".

Como la teoría del campo gravitacional tiene muchas semejanzas con la teoría del campo electromagnético desarrollada por Maxwell, es natural esperar que una masa oscilante genere ondas gravitacionales así como una carga eléctrica oscilante produce ondas electromagnéticas. Si estas ondas existieran deberían transportar energía pero esta sería muy pequeña. Como ejemplo, la tierra en su movimiento alrededor del Sol debería emitir aproximadamente .001 watt, lo que significaría que la Tierra se acercaría al Sol una millonésima de centímetro cada billón de años. Pero hasta ahora no se ha encontrado la forma de medir ondas tan débiles".

A diferencia de los campos eléctricos y de los campos magnéticos a los cuales es posible anular por medio de un campo eléctrico producido por una carga de signo contrario o por un polo magnético que genere un campo que anule al primero, los campos gravitacionales no pueden ser anulados. Es decir, hasta ahora no se ha encontrado una clase especial de materia que produzca un campo gravitacional que anule al de la materia ordinaria.

Hay, sin embargo, una clase especial de materia que en muchos sentidos es la contraparte de la materia ordinaria, incluyendo sus propiedades eléctricas y magnéticas y que tal vez tenga también una masa negativa. Hasta ahora esta cuestión no se ha podido resolver. Cuando se produce un rayo de antineutrones en un acelerador de partículas esta cuestión se podría deci-



dir si pudieramos observar hacia donde se deflectta el rayo. Si se curvara hacia arriba esto indicaría que la antimateria produce un campo gravitacional negativo. Pero en la práctica este experimento no se puede realizar ya que las partículas producidas por los aceleradores tienen velocidades cercanas a la de la luz, y en una longitud de un kilómetro el campo gravitacional deflectaría este rayo, ya sea hacia arriba o hacia abajo, apenas una distancia de  $10^{-12}$  cm., la cual es del orden del diámetro de un núcleo atómico y experimentalmente no se puede detectar".

Si se llegara a demostrar que las antipartículas tienen masa negativa, sería un golpe mortal a la teoría general de la relatividad ya que invalidaría el principio de equivalencia, el cual, como hemos visto, es la base de la teoría general de la relatividad. Una esfera de antimateria podría elevarse en un campo gravitacional como el de la tierra, pero no hay razón para que lo haga en un laboratorio espacial como el imaginado por Einstein. Si esto fuera así, un observador exterior al laboratorio observaría que la esfera se estaría moviendo con una aceleración mayor que la del laboratorio, sin ninguna fuerza que actué sobre ella. Lo que invalidaría la Ley de inercia y nos llevaría a negar el principio de equivalencia.

## V

## ANÁLISIS DE LA FORMA DE EXPOSICIÓN DEL MODELO DE LOS GASES IDEALES Y DE LAS SOLUCIONES IDEALES EN DOS LIBROS DE FÍSICOQUÍMICA.

Este capítulo se propone analizar y criticar la forma en la que se presentan los gases y las soluciones ideales en dos libros de texto de fisicoquímica que se han escogido por su amplia utilización en los primeros cursos de la materia. Ellos son el de Castellan<sup>7</sup> y el de Maron y Prutton.<sup>16</sup>

En ambos libros la teoría cinética se expone dentro del tratamiento de los gases como si el modelo cinético-corpúscular se hubiera elaborado específicamente para el estado gaseoso. Ya se ha aclarado en este trabajo que lo que hicieron los científicos fue aplicar un modelo de la Naturaleza al caso de los gases, modelo que igualmente se aplicó a la luz, a las soluciones, etc. En ninguno de estos libros se aclara como se originan los postulados de la teoría cinética ni se explica por qué tienen que ser específicamente los que se mencionan en cada texto, siendo este punto especialmente importante ya que el número de postulados varía de texto a texto (tres en el de Castellan y siete en el de Maron y Prutton).

En el libro de Castellan se exponen en el capítulo II las propiedades de los gases y el desarrollo empírico de las relaciones que describen el comportamiento de los gases ideales. En el capítulo III se abordan las desviaciones del comportamiento ideal y se presentan algunas ecuaciones que representan mejor el comportamiento de los gases. En el capítulo IV, Estructura de los Gases, se trata la teoría cinética de los gases y la distribución de velocidades de Maxwell-Boltzman.

El orden de exposición es discutible. Es de notar que en el capítulo III se maneja la estructura de los gases que se expone hasta el capítulo IV.

En la pequeña introducción al capítulo IV se habla de construir un modelo en términos de átomos, moléculas y fuerzas de interacción luego de haber analizado las propiedades de los gases que permita relacionar la es---

estructura con las propiedades. El criterio para la validez de dicho modelo sería que tan bien se prediga el comportamiento observado de los gases. Enseguida se afirma que la teoría cinética de los gases puede ser descrita por tres suposiciones fundamentales acerca de la estructura de ellos. Estas suposiciones son:

- 1.- Un gas está compuesto por un número muy grande de partículas diminutas (átomos o moléculas).
- 2.- En la ausencia de un campo de fuerzas estas partículas se mueven en líneas rectas. (Se obedece la primera ley de Newton).
- 3.- Estas partículas interaccionan (es decir chocan) una con otra raramente.

Además se impone la condición de que en cualquier colisión la energía cinética total de las dos partículas es la misma antes y después de la colisión.

En una exposición estructurada metodológicamente se debería comenzar exponiendo la necesidad de elaborar un modelo de los gases y lo que se entiende por un modelo. En el texto se presupone que este modelo tiene que estar construido a base de átomos, moléculas y fuerzas de interacción. Sin embargo en las suposiciones mencionadas no aparecen dichas fuerzas.

El modelo que constituyen estos postulados es incompleto. Para derivar las ecuaciones de los gases ideales es necesario que se obedezcan todas las leyes de la mecánica, no únicamente la primera ley de Newton. Si en el primer postulado se hubiera agregado que las partículas son infinitamente duras la condición de la que se habla después se desprendería de dicho postulado. De hecho esta condición que se plantea como algo externo al modelo se desprende del modelo cinético-corpúscular tal como ha sido expuesto en un capítulo anterior de este trabajo.

En el libro de Maron y Prutton la teoría cinética se presenta en el capítulo 1 titulado "Gases y Líquidos". Este capítulo se inicia con una descripción superficial de los estados de agregación de la materia y haciendo una distinción entre gases ideales y reales. Se exponen

a continuación las leyes de los gases ideales y la teoría cinética de los gases ideales. A partir de los supuestos de ésta se derivan las leyes de los gases ideales. Se continúa con la exposición de las desviaciones a las leyes de los gases ideales y algunas ecuaciones de estado que dan razón de dichas desviaciones. Más adelante se expone brevemente la teoría de los gases no ideales y las diferencias entre los líquidos y los sólidos.

El orden de exposición es más lógico en este libro que en el de Castellan. En este último, por ejemplo, la teoría cinética se expone después de que se ha presentado la ecuación de Van der Waals y, aunque no explícitamente, el modelo de los gases que se encuentra detrás de ésta. Esta ecuación, como otras, se desarrolla a partir de modificaciones al modelo cinético-corpúscular (por ejemplo, se desecha el postulado según el cual las interacciones entre las partículas se dan únicamente en base a choques). Sin embargo, en el libro de Maron y Prutton no se aclara que lo que se está haciendo es modificar las hipótesis del modelo cinético-corpúscular.

La forma de exposición de la teoría cinética adolece de los mismos defectos y carencias en este libro que en el de Castellan. Varios de los supuestos postulados que presentan Maron y Prutton son consecuencias del modelo cinético-corpúscular que se ha expuesto en otro capítulo. Aunque en el libro de Maron y Prutton la exposición es menos clara y más pobre en datos experimentales que en el de Castellan en él queda perfectamente clara la relación entre las leyes de los gases ideales y los postulados de la teoría cinética ya que se derivan las leyes de aquellos a partir de dichos postulados.

Habiendo expuesto el modelo cinético-corpúscular estos autores no lo aplican al caso de las soluciones, siendo importante su aplicación ya que las relaciones que describen el comportamiento de las soluciones ideales se desprenden de dicho modelo. La crítica de este modelo, al igual que en el caso de los gases, en el caso de las soluciones da lugar a modelos más elaborados que representan mejor a las soluciones.

El libro de Castellan aborda las soluciones en dos capítulos, el primero dedicado a las soluciones ideales y las propiedades coligativas, el segundo a las soluciones que contienen más de un componente volátil y a las soluciones diluidas.

En ninguno de estos capítulos aborda el autor el problema de la estructura de las soluciones, de construir un modelo que permita explicar el comportamiento macroscópico observado. Aunque en el primero de estos capítulos comienza el autor planteando un paralelismo entre la ley de los gases ideales y la ley de las soluciones ideales (ley de Raoult) y finaliza, en la sección dedicada a la presión osmótica, haciendo una analogía entre las soluciones ideales y los gases ideales, no plantea que tales soluciones obedecen el mismo modelo que los gases ideales. En otro capítulo, dedicado al equilibrio en sistemas no ideales, plantea un modelo, incompleto, de las soluciones de electrolitos, pero no explica cómo, porqué se tiene que plantear dicho modelo.

Maron y Prutton abordan las soluciones en dos capítulos, uno titulado "Soluciones", el otro "Propiedades coligativas de las soluciones". En el primero presentan un tratamiento termodinámico de las soluciones, definen las soluciones ideales como aquellas en las que la actividad de cada constituyente es igual a su fracción mol, analizan la presión de vapor de las soluciones ideales y reales, presentan los diagramas de punto de ebullición, tratan la destilación de mezclas binarias y la solubilidad de una fase en otra. En el segundo capítulo tratan las propiedades coligativas de las soluciones, primero de no electrolitos y luego de electrolitos, exponen la teoría de Arrhenius de la disociación electro-lítica y luego la teoría de las atracciones interiónicas de Debye-Hückel.

En el primero de estos capítulos no se aborda el problema de la estructura de las soluciones, no se trata de relacionar el comportamiento de las soluciones con algún modelo microscópico.

En el siguiente capítulo, en la exposición de las -

teorías de Arrhenius y Debye-Hückel se hace mención de los supuestos de estas teorías, pero no se aclara que - estos supuestos constituyen un modelo de las soluciones además de que la presentación de dichos supuestos no es clara y es incompleta. No se aclara porqué, en base a - qué Arrhenius y Debye hacen dichas suposiciones. Por ejemplo, leemos "Arrhenius postuló que los electrolitos en solución se disocian en partículas cargadas eléctricamente, llamadas iones, de manera tal que la carga total de los iones positivos es igual a la carga total - de los iones negativos". ¿Cómo llegó a esto? No lo sabemos.

Sin embargo, en la presentación de las propiedades coligativas de las soluciones ideales no se menciona -- que detrás de las ecuaciones que describen dichas propiedades se encuentra un modelo de las soluciones que es el modelo cinético-corpúscular. Se dice después de - la exposición de cada una de las propiedades coligativas que éstas dependen únicamente de la fracción mol -- del soluto y que son independientes de la naturaleza -- del soluto y del solvente. Pero no se dice que debería de ser así en todas las soluciones que se comportaran - de acuerdo al modelo cinético-corpúscular. En una presentación más metodológica se debería presentar los modelos de Arrhenius y Debye-Hückel como correcciones que se hacen al modelo de las soluciones ideales obligados por los resultados experimentales.

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

- 1.- Academia de Ciencias de la U.R.S.S. Ed., Ensayos Sobre el Desarrollo de las Ideas Básicas de la Física, Ediciones Pueblos Unidos, Montevideo.
- 2.- Achinstein, Peter, Los Modelos Teóricos, UNAM, México, 1967.
- 3.- Asimov, Isaac, Breve Historia de la Química, Alianza - Editorial, Madrid, 1975.
- 4.- Bernal, John D., La Proyección del Hombre. Historia de la Física Clásica, Siglo XXI Editores, Madrid, 1975.
- 5.- Bohr, Niels, Nuevos Ensayos Sobre Física Atómica y Conocimiento Humano, Aguilar, Madrid, 1970.
- 6.- Capek, Milic, El Impacto Filosófico de la Física Contemporánea, Tecnos, Madrid, 1973.
- 7.- Castellan, Gilbert W., Physical Chemistry, Addison -- Wesley, Massachusetts, 1971.
- 8.- Cetina Rosado, Raúl y Medina Nicolau, Francisco, Estructura de la Materia, ANUIES, México, 1973.
- 9.- Davies, P. C. W., Space and Time in The Modern Universe, Cambridge University Press, Londres, 1977.
- 10.- Einstein, Albert, Relativity: The Special and The General Theory, Crown Publishers, New York, 1961.
- 11.- Gamow, George, "Gravity" en Scientific American Eds., Mathematics in The Modern World, W.H. Freeman and -- Company, San Francisco, 1968.
- 12.- Goddard, F.W. y James, E.J.F., The Elements of Physical Chemistry, Longmans, Londres, 1967.

- 13.- Harré, R., The Philosophies of Science. An Introductory Survey, Oxford University Press, Oxford, 1978.
- 14.- Jammer, Max, Conceptos de Espacio, Grijalbo, México, -- 1970.
- 15.- March, Robert H., Física para Poetas, Siglo XXI Editores, México, 1977.
- 16.- Maron, Samuel, H. y Prutton, Carl F., Fundamentos de Fisicoquímica, Limusa Wiley, México, 1973.
- 17.- Meliuşin, Serafín, El Problema de lo Finito y lo Infinito, Grijalbo, México, 1960.
- 18.- Mott - Smith, Morton, The Concept of Energy Simply Explained, Dover, Nueva York, 1964.
- 19.- Noyola Isgleas, Arturo, Antología de Física, UNAM, --- México, 1971.
- 20.- Sandor, Paul, Historia de la Dialéctica, Siglo Veinte, Buenos Aires, 1964.
- 21.- Taylor, E.F. y Wheeler, L.A., Spacetime Physics, W.H. Freeman and Company, San Francisco, 1966.
- 22.- Villoro, Luis, "Filosofía y Dominación", Nexos, año I, No. 12, México, 1978.
- 23.- Withrow, G.J., The Nature of Time, Pelican Books, Londres, 1975.

INDICE DE NOMBRES

- Achinstein, Peter, 52.
- Anaximandro, 13, 53.
- Aristóteles, 17, 19, 26-28, 47, 56.
- Arquitas de Tarento, 28.
- Arrhenius, S., 120-121.
- Bacon, Francis, 57.
- Barrow, Isaac, 35.
- Bernal, John D., 9-10.
- Bernoulli, Daniel, 61-62.
- Bohr, Niels, 30.
- Boltzmann, Ludwig, 117.
- Boyle, Robert, 54-55, 57-61, 63.
- Capek, Milic, 49, 52.
- Castellan, G.W., 117-120.
- Charles, J.A.C., 63.
- Dalton, John, 64.
- Debye, P., 120-121.
- Demócrito de Abdera, 8, 15-16, 24, 42, 60.
- Descartes, René, 47, 49, 55, 57.
- Einstein, Albert, 23, 75-76, 79, 81, 83, 91-92, 95-96,  
99, 103-104, 116.
- Epicuro, 60.
- Euclides, 12, 28, 104.
- Faraday, Michael, 19, 94.
- Galileo, Galilei, 47, 49, 54, 44, 97.

- Gassendi, Pierre, 54, 60.  
 Gilbert, William, 27.  
 Gulliver, 30.  
 Harriot, T., 55.  
 Heráclito de Efeso, 13, 15.  
 Hertz, Heinrich, 76.  
 Hooke, Robert, 55, 61.  
 Hückel, 120-121  
 Huygens, Christian, 43, 61.  
 Kepler, J., 49.  
 Langevin, Paul, 108-109.  
 Leibniz, G. W., 46, 74.  
 Leucipo de Mileto, 8, 15-16, 23-34, 42.  
 Locke, John, 46, 55, 57.  
 Lorentz, H. A., 87, 92.  
 Lucrecio, 60.  
 Mariotte, E., 59.  
 Maron, S.H., 117-120.  
 Maxwell, J. C., 54, 76, 79, 114, 117.  
 Michelson, Albert, 84-86.  
 Morley, 84-86.  
 Newton, Isaac, 8, 16, 27-28, 30, 35, 47, 53-55, 75-76,  
 96, 108.  
 Parménides de Elea, 14, 23.  
 Pitágoras, 87.  
 Platón, 15.

Ptolomeo, 27.  
Raoult, F. M., 68-70, 120.  
Russell, Bertrand, 24, 26, 112.  
Swift, J., 30.  
Tales de Mileto, 12, 16, 53.  
Torricelli, Evangelista, 58.  
Van der Waals, J., 119.  
van Helmont, J. B., 58.  
Zenón de Elea, 14-15.

## INDICE DE CONCEPTOS

- Acción a distancia, 52-53, 94.
- Aristotelismo, 17, 19, 56.
- doctrina del lugar natural, 19.
  - elementos aristotélicos, 17.
- Atomismo, 12, 16, 24, 42-43, 52, 54-57, 60-61, 64.
- Atomistas, 16, 19, 24, 26, 54-57, 60-61, 64.
- Atomo, 16, 24, 30, 42-43, 46, 52-53, 55, 60-61, 64.
- Campo, 92, 94.
- Calor, equivalente mecánico, 65.
- Ciencia, 7.
- Concepción, cinético corpuscular, 8, 10, 19, 21, 52, 55.
- clásica, (véase cinético corpuscular).
  - del mundo, 7, 12.
  - newtoniana, (véase cinético corpuscular).
  - relativista, 8.
- Contracción de la longitud, 83, 85, 103.
- Dilatación del tiempo, 83, 85, 103.
- Elementos, 12-13, 17.
- Energía, 92, 94-95.
- conservación, 73.
  - formas, 61, 72, 92.
  - interacción energía-materia, 61, 71-73.
  - naturaleza, 72-73.
- Espacio, 9, 23
- concepción clásica, 23.
  - continuidad, 28.

- crítica del espacio clásico, 75.
- cuantificación, 10-11.
- curvatura, 104-109, 111, 113.
- estructura, 12, 30.
- homogeneidad, 24, 26-28, 30-31, 37.
- independencia del espacio con respecto a'la materia, 26.
- infinidad, 13, 27.
- propiedades del espacio clásico, 23-24.
- relatividad, de la magnitud, 30.
  - de la posición, 28.
- simetría, 89.
- tridimensionalidad, 31.

Eter, 53-54, 76, 79, 85, 94.

Esperimento (s), de Boyle, 58-59.

- de Langevin, 108-109, 110.
- de Michelson y Morley, 84-86.

Explicación, 7.

Filosofía, 7,10.

Fuerza, 9.

Gases, 58-63, 117.

- estructura, 59-62.
- modelo cinético-corpúscular, 61-63.
- relaciones empíricas, 58-59.

Geodésicas, 106-107.

Geometría, 12, 55, 106.

Inercia, 49, 55, 56, 96.

- sensación, 9.

Ley, de Boyle, 59, 63.

- de conservación de la masa-energía, 92.
- de los gases ideales, 59, 63.
- de Raoult, 68.

Líquidos, 64.

- energía de las partículas, 66.
- modelo cinético-corpúscular, 64, 65.
- propiedades, 117.

Masa, 55.

- como función de la velocidad, 91.
- gravitacional, 96.
- inercial, 91-96.
- principio de conservación de la masa-energía, 92.

Materia, 9, 16-17.

- atributos negados por la ciencia moderna, 91.
- campo y, 94.
- cantidad de, 55.
- como un todo, 23.
- concepción clásica, 42.
- diversidad de, 12.
- energía y, 71-72, 91-92.
- estados de la, 64.
- extensión espacio-temporal, 85, 87.
- hipótesis continua de la, 23-24, 42.
- hipótesis discontinua de la, 42.
- impenetrabilidad, 42.
- indestructibilidad, 43.

- indivisibilidad, 42.
  - principio de conservación de la, 13.
- Modelo, cinético-corpúscular de los líquidos, 65-70.
- cinético-corpúscular de la Naturaleza, 52, 72.
  - de los gases ideales, 59-63.
  - del modelo cinético-corpúscular, 52, 117-118.
  - teórico, 52.
- Movimiento, 9, 15.
- análisis lógico, 14.
  - concepción clásica, 46.
  - conservación de la cantidad de movimiento, 56.
  - conservación del estado de movimiento, 49, 96.
  - continuidad, 47.
  - independencia con respecto al espacio, tiempo y materia, 46.
  - indestructibilidad, 47.
  - medición, 79.
  - medida del movimiento de la tierra con respecto al éter, 85.
  - propiedades del movimiento en la concepción clásica, 46.
- No-ser, 24.
- Pensamiento científico, 7.
- Presión de vapor, 67.
- Principios de conservación, 13.
- de la cantidad de movimiento, 56.
  - de la energía, 73.
  - del estado de movimiento, 49, 55-56.

- de la posición, 49.
- Relatividad, teoría especial, 75-95, 110.
  - teoría general, 96-116.
- Ser, 23.
- Simultaneidad, 79, 81, 83.
- Soluciones ideales, 68, 117.
  - no ideales, 120-121.
- Técnica, 10.
- Teorías científicas, 7.
- Teoría, electromagnética de la luz,
  - de la gravitación de Einstein, 96, 99, 108.
  - de la gravitación de Newton, 96, 108.
- Transformaciones de Lorentz, 87.
- Tiempo, 10-11, 13.
  - asimetría, 89.
  - concepto clásico, 34.
  - continuidad, 37.
  - crítica del concepto clásico, 75.
  - cuantificación, 10, 75, 79, 81, 88.
  - dilatación, 83, 85, 103-104.
  - homogeneidad, 34, 37-38.
  - inacción causal, 37, 38.
  - independencia del tiempo con respecto a la materia, el --  
movimiento y el espacio, 34-35, 37.
  - infinidad, 13, 37.
  - percepción del, 9.
  - propiedades del tiempo en la concepción clásica, 34.

- relatividad de la magnitud, 38.
  - sentido universal del tiempo en la teoría general de la relatividad, 112.
  - teoría absolutista del, 75.
  - unidimensionalidad, 39.
  - uniformidad del curso del, 38.
- Tiempo - espacio, 87, 90, 104, 108.
- curvatura del, 104-106, 108.
- Universo, concepción dinámica, 13.
- concepción estática, 15.
- Vacío, 23, 43, 53, 60.