

CONCEPCIONES DE LOS ESTUDIANTES E HISTORIA DE LA CIENCIA: EL CASO DEL CONCEPTO DE VACÍO

Joan Josep Solaz-Portolés

**A Magdalena i Georgina,
que m'ajuden contínuament a vore clar allò que és important
en la vida.**

INTRODUCCIÓN.

Con el presente trabajo pretendemos aproximarnos a las ideas de los estudiantes de 11 a 17 años en relación con el concepto de espacio vacío, así como a las consecuencias que se derivan de estas ideas para la comprensión y asimilación de otros conceptos de la Física y la Química. Se trata, por consiguiente, de un estudio transversal enfocado a poner de manifiesto las posibles diferencias que se puedan presentar entre sujetos de diferente nivel académico. Por otro lado, analizaremos la existencia de semejanzas entre las concepciones defendidas por científicos en diferentes momentos de la historia la ciencia y las de los estudiantes.

En la fundamentación teórica de este estudio, se aborda en primer lugar la constatada presencia de ideas previas en los alumnos incompatibles con las concepciones científicas vigentes, se describen sus características, se apuntan las probables causas de su desarrollo, y se hace una revisión de las ideas de los estudiantes en torno al concepto de espacio vacío que han aparecido colateralmente en algunas investigaciones. A continuación, se exponen las conexiones entre la psicología del aprendizaje, la historia de la ciencia y la epistemología, según los criterios defendidos por distintos investigadores en esas áreas. Se destaca en este apartado la existencia, en algunas áreas de las ciencias, de ciertos paralelismos entre los esquemas alternativos de los estudiantes y los primeros estadios del conocimiento científico. Seguidamente, se señalan las ventajas que comporta en la enseñanza de las ciencias un uso selectivo de la historia de la ciencia. Finalmente, se presenta la evolución de las ideas de los científicos

a lo largo de la historia de la ciencia en torno al concepto de espacio vacío, y las implicaciones que tuvieron en el desarrollo de las ciencias fisicoquímicas.

En el estudio experimental se recoge el desarrollo y elaboración del instrumento de diagnóstico de las concepciones de los alumnos en relación con el espacio vacío, se facilitan los rasgos técnicos de dicho instrumento, y se dan los resultados obtenidos por la aplicación del mismo en estudiantes de 11 a 17 años.

Todo ello nos ha permitido confirmar que en muchos casos nuestros alumnos sostienen concepciones *plenistas* o negadoras del vacío y que éstas coinciden en gran medida con ideas que aparecen en ciertos momentos de la historia de la ciencia. Además, hemos puesto en evidencia la escasa influencia que la instrucción científica, recibida tras varios años de formación, tiene en la modificación de dichas concepciones erróneas.

ÍNDICE.

1. Fundamentación teórica.....	6
1.1 Ideas previas de los alumnos.....	6
1.2 Ideas previas de los alumnos en torno al concepto de espacio vacío.....	9
1.3 Psicología del aprendizaje, epistemología e historia de la ciencia.....	12
1.4 Enseñanza de las ciencias e historia de las ciencias.....	18
1.5 El concepto de espacio vacío y sus implicaciones en la historia de la ciencia.	
1.5.1 En la ciencia griega.....	21
1.5.2 En la ciencia árabe.....	24
1.5.3 En los escolásticos.....	25
1.5.4. En el renacimiento.....	27
1.5.5 En el siglo XVII.....	29
1.5.6. En el siglo XVIII.....	35
1.5.7. En el siglo XIX.....	36
1.5.8. En el siglo XX.....	39
1.5.9. Bibliografía de historia de la ciencia.....	42
2. Marco teórico de la investigación. Objetivos e hipótesis.....	45
2.1. Objetivos	47
2.2. Hipótesis.....	48
3. Estudio experimental.....	49
3.1. Metodología.....	49
3.1.1. Definición del contenido conceptual.....	50
3.1.2. Desarrollo y elaboración del instrumento de diagnóstico.....	52

3.1.3.Sujetos participantes.....	55
3.1.4.Procedimiento.....	56
3.1.5.Puntuación de los ítems.....	56
3.2. Resultados.....	57
3.3. Conclusiones.....	71
3.4. Implicaciones didácticas y problemas abiertos.....	76
 4. Bibliografía.....	 78
 5. Anexos.....	 84
5.1. Anexo 1. Cuestionario.....	84
5.2. Anexo 2. Textos históricos.....	90

1.FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

1.1.Ideas previas en los alumnos.

Autores de diferentes escuelas psicológicas han señalado la particular importancia de las concepciones previas de los estudiantes en el aprendizaje. Al respecto, podemos citar a los autores de la perspectiva cognitiva (Ausubel, Novak y Hanesian, 1986), de la perspectiva del desarrollo (Piaget, 1979), de la perspectiva conductual (Gagne, 1987) o la perspectiva constructivista (Driver y Oldham, 1986). De hecho diversos estudios en el ámbito de la psicología cognitiva tomaron en consideración el conocimiento previo del aprendiz para la formulación de la teoría de los esquemas como estructuras donde se almacena el conocimiento (Rumelhart, 1980; Shank y Abelson, 1977).

En los años recientes, la literatura de educación científica está repleta de trabajos relacionados con la identificación, explicación y mejora de las dificultades de los estudiantes en la comprensión de conceptos científicos. Tales dificultades han sido denominadas de diferentes modos: concepciones erróneas o errores conceptuales (*misconceptions*), esquemas alternativos (*alternative frameworks*), creencias intuitivas (*intuitive beliefs*), preconcepciones (*preconceptions*), razonamiento espontáneo (*spontaneous reasoning*), ciencia de los niños (*children's science*), creencias ingenuas (*naive beliefs*), concepciones alternativas (*alternative conceptions*), conocimiento del sentido común (*common sense knowledge*), ciencia de los alumnos (*pupils' science*), concepciones de los estudiantes (*students' conceptions*), representaciones de los alumnos (*pupils' representations*) o concepciones de los alumnos (*pupils' conceptions*).

En el presente estudio haremos uso del término error conceptual como aquella idea cuyo significado se desvía de lo comúnmente aceptado por el consenso científico contemporáneo.

Los educadores en el área de las ciencias son sabedores bien recientemente de la importancia de las preconcepciones en la mejora de la enseñanza/aprendizaje de las ciencias. Los estudios de los errores conceptuales de los estudiantes cubren un amplio abanico de conceptos y áreas de conocimiento: fuerza, luz, energía, electricidad, fotosíntesis, cadenas alimenticias, sistema circulatorio, reacciones químicas, equilibrio químico, mol, naturaleza corpuscular de la materia ...

Las ideas de los estudiantes en diferentes áreas han sido recogidas por diferentes investigadores (West y Pines, 1985; Hierrezuelo y Montero, 1988, Driver, Guesne y Tiberghien, 1989; Osborne y Freyberg, 1991). Todos ellos se ponen de acuerdo en afirmar que:

- 1. Los estudiantes tienen ideas y puntos de vista en muchos temas de las ciencias, incluso desde los primeros años de su vida y antes de recibir cualquier tipo de educación formal sobre el tema.
- 2. Estas descripciones ingenuas y preconcepciones explicativas difieren normalmente de las que mantienen los científicos, pero resultan útiles y coherentes para los estudiantes.
- 3. Son comunes en estudiantes de diferentes países.

- 4. A pesar de que los preconceptos tienen una influencia decisiva en el aprendizaje que se lleva a cabo en el aula, los profesores suelen desconocerlos.
- 5. Son resistentes al cambio por métodos de instrucción tradicional. Esto es, los esquemas alternativos suelen verse inalterados por la instrucción recibida, si ésta no los tiene implícitamente en consideración.
- 6. Guardan cierto paralelismo con concepciones vigentes en ciertos momentos de la historia de la ciencia (éste punto será tratado con detalle más tarde)

Puede encontrarse en la bibliografía una amplia cantidad de hipótesis acerca de las causas de las concepciones alternativas de los alumnos. En este sentido se apunta la gran influencia de las experiencias físicas y sensoriales de los estudiantes (Driver, Guesne y Tiberghien, 1989), la interacción con los profesores (Gilbert y Zylberstajn, 1985), la sociedad (Solomon, 1987), del lenguaje (Llorens et al, 1989), de los libros de texto (Andersson 1990; Solaz-Portolès, 1996)) o una metodología de enseñanza/aprendizaje de las ciencias inadecuada (Gil, 1993).

Todo este conjunto de causas puede, según Pozo y colaboradores (1991), clasificarse en tres grandes grupos atendiendo a sus posibles orígenes:

- a) **Origen sensorial**, cuando se basan esencialmente en el uso de reglas de inferencia causal aplicadas a los datos procedentes del mundo natural.

- b) **Origen social**, cuando reflejan las concepciones inducidas en el alumno por impregnación de las creencias compartidas por su entorno social.
- c) **Origen analógico**, cuando proceden de la activación de esquemas de conocimiento inapropiados buscando similitudes superficiales para poder explicar situaciones que los alumnos desconocen.

1.2. Ideas previas de los estudiantes en torno al concepto de espacio vacío.

Dado que nuestro interés radica específicamente en el razonamiento de los estudiantes en relación con el espacio vacío, haremos a continuación una breve reseña de las investigaciones en las que de manera colateral aparecen distintas concepciones de los aprendices en torno al vacío. En general, observaremos una tendencia generalizada a defender la imposibilidad de espacio vacío en los distintos casos estudiados.

- Llorens (1988) en un trabajo con alumnos valencianos de FP de primer grado y de segundo de BUP destaca la escasa aplicación espontánea de la teoría atómica en la explicación de fenómenos macroscópicos y el bajo nivel de aceptación de la idea de vacío.
- Nussbaum (1989) en un trabajo con estudiantes de U.S.A. de diferentes edades (desde la escuela elemental hasta la universidad) concluye que aceptar que la

naturaleza tiene estructura corpuscular y no admitir la existencia de vacío entre partículas es un resultado muy corriente tras la instrucción.

- Seré (1989) cita una investigación llevada a cabo con alumnos ingleses de 12 a 16 años en la que se destaca la idea de los estudiantes de que el vacío aspira o ejerce presión y la tendencia de éstos a pensar que el espacio tiene que llenarse, no puede quedar vacío.
- Bar y colaboradores (1994) en un estudio efectuado en Israel con niños de 4 a 13 años observaron que éstos señalaban la necesidad del aire para que actúe la gravedad, es decir, la necesidad de un medio para que se transmitan las fuerzas.
- Sequeira y Leite (1991) revelan que estudiantes de secundaria y universitarios portugueses sostienen que los objetos en el vacío no pueden caer, o lo que es lo mismo en el vacío no puede actuar la fuerza de la gravedad.
- Benson y colaboradores (1993) muestran en un estudio transversal en USA, que comprende niños desde segundo grado hasta estudiantes universitarios, el alto porcentaje que tiende a situar en un dibujo las moléculas de gas empaquetadas prácticamente sin espacio entre ellas. También apuntan que el porcentaje de estudiantes que opina que el aire está formado por partículas (no es continuo) sólo es mayoritario entre estudiantes universitarios.
- Renström y colaboradores (1990) en un trabajo acerca de las concepciones de estudiantes suecos de 13-16 años sobre la materia, categoriza los siguientes

errores conceptuales recogidos mediante entrevistas clínicas : a) la materia es continua, b) la materia existe de dos o más formas, así, por ejemplo, el agua está formada por una película de agua con unidades de agua dentro de ella, c) la materia es continua y está embebida de partículas, y d) la materia es un agregado de partículas empaquetadas.

- Griffiths y Preston (1992) en la catalogación de los errores conceptuales relacionados con las características de átomos y moléculas sostenidos por estudiantes de duodécimo grado canadienses, puede encontrarse que: a) la molécula de agua es esférica con partículas esparcidas por todas partes, b) las moléculas de agua en el hielo se tocan sin dejar espacio, c) existe materia entre átomos, d) los átomos parecen esferas sólidas.
- Pereira y Pestana (1991) señalan que los adolescentes portugueses entre 13 y 18 años ofrecen mayoritariamente una representación del agua mediante un modelo de partículas en el que se llena todo el espacio.

1.3. Psicología del aprendizaje, epistemología e historia de la ciencia.

El psicólogo Jean Piaget reforzó las conexiones entre epistemología y aprendizaje científico, ya sugeridas previamente bien por científicos o bien por epistemólogos. En su *Introducción a la Epistemología Genética* (Piaget, 1974) el autor ya señalaba que la historia de la ciencia proporcionaba sugerencias sobre cómo conducir e interpretar la investigación en psicología genética, y a su vez, esta investigación proporcionaba criterios para seleccionar, organizar y reinterpretar el trabajo de los historiadores de la ciencia. Piaget formuló su hipótesis fundamental del paralelismo entre el desarrollo cognitivo individual y el desarrollo histórico en *Epistemología Genética* (Piaget, 1970). Esta hipótesis ha sido interpretada por algunos autores (como por ejemplo, Matthews (1991, p.147)), como “ *en el desarrollo cognitivo la ontogenia recapitula la filogenia* ” y frecuentemente ha sido mal interpretada. Sin embargo, es con la publicación de *Psicogénesis e historia de la ciencia* (Piaget y Garcia, 1982) donde se presentan los más extensos argumentos en relación con las características comunes del desarrollo individual e histórico, esto es, plantean un modelo para las relaciones entre el desarrollo individual e histórico. El objetivo de este trabajo es estudiar los instrumentos que conducen al crecimiento y desarrollo del conocimiento en ambos dominios, psicogenético e histórico. En él se compara la psicología genética piagetiana con la historia de la mecánica, de la geometría y del álgebra.

La hipótesis de Piaget y Garcia en este trabajo establece que el desarrollo del conocimiento en ambos dominios está basado en los mismos instrumentos. Los instrumentos de construcción del conocimiento son las abstracciones y las generalizaciones. Asimismo, identifican los procesos resultantes de la acción de los instrumentos y los mecanismos operantes. El origen de los instrumentos se encuentra en la asimilación de objetos o hechos en estructuras de conocimiento previamente desarrolladas por los sujetos. Este proceso de asimilación incluye la acomodación, es decir, la modificación de las estructuras de conocimiento del sujeto con el fin de reequilibrarlas atendiendo a las características de los objetos o hechos.

El papel crucial desempeñado por la asimilación explica la convergencia encontrada por los autores en la comparación del desarrollo de las ideas en el individuo y en la historia (Piaget y García, 1982, p. 247):

“Cada uno de nuestros capítulos ha desarrollado ejemplos tanto en la marcha de la historia como en el desarrollo mental, y la razón principal de las convergencias observadas en estos dos dominios es precisamente que el sujeto desempeña un papel activo en todo conocimiento y que la propiedad más general de sus actividades es la asimilación”.

La existencia de ciertos paralelismos entre los esquemas alternativos de los alumnos y

los primeros estadios del conocimiento científico en algunos campos ha sido puesta en evidencia por múltiples estudios, sobre todo en el campo de la mecánica. Algunos de ellos son citados por Matthews (1990). Estudios más recientes como los de Sequeira y Leite (1991) sobre concepciones alternativas en mecánica de estudiantes portugueses; Griffiths y Preston (1992) acerca de los errores conceptuales relacionados con las características de átomos y moléculas en estudiantes canadienses; Bar y colaboradores (1994) en relación con las ideas de niños israelíes sobre peso y caída libre; y Nardi (1994) sobre las ideas de alumnos brasileños sobre la noción de campo de fuerza; parecen confirmar la hipótesis emitida por Piaget.

Por otro lado, Susan Carey, una psicóloga cognitiva, señala la necesidad de que los investigadores en la didáctica de las ciencias tengan en cuenta que filosofía e historia de la ciencia pueden hacer comprender el desarrollo conceptual de los jóvenes aprendices (Carey, 1986). Así, esta investigadora apunta las semejanzas entre la progresión de la comprensión científica en los niños y la progresión en la comprensión científica en la historia de la ciencia. En particular, toma como base el análisis de la historia de la ciencia efectuado por Kuhn (1987a y 1989), a base de paradigmas y cambios de paradigmas, para distinguir entre la reestructuración débil y fuerte en los procesos de cambio conceptual de los sujetos. Una reestructuración débil en los esquemas deconocimiento de los sujetos supone simplemente añadir nuevos conceptos y relaciones entre ellos, es decir, estamos dentro del paradigma vigente en sentido kuhniano. La reestructuración fuerte, que es equivalente a un desplazamiento de paradigma, implica un nuevo esquema de conocimiento donde los conceptos se transforman y se establecen nuevas relaciones. Esta autora, en definitiva, se centra en los paralelismos estructurales antes que en los de contenido conceptual. Nersessian

(1989), por su parte, defiende que la clase de razonamiento implicado en los procesos de construcción de las representaciones científicas son los mismos en los científicos que en los estudiantes.

En relación con esto, Duschl, Hamilton y Grandy (1990) sostienen que el camino entre la psicología cognitiva y la filosofía de la ciencia tiene dos sentidos, y por ello algunos epistemólogos también han tenido en cuenta conceptos de la psicología cognitiva en sus estudios. En otros trabajos, citan el de Giere (1988) en el cual se establece la necesidad de aplicar los conceptos de la psicología cognitiva en la reestructuración de los esquemas de conocimiento para desarrollar una apropiada comprensión de los cambios de teorías científicas. En este mismo sentido, el epistemólogo e historiador de la ciencia Thomas S. Kuhn en su libro *La Tensión Esencial* (1987 b, p.46) apoya esta mismo argumento cuando reconoce que:

“Hace veinte años descubrí, y más o menos al mismo tiempo, tanto el interés intelectual por la historia de la ciencia como los estudios psicológicos de Jean Piaget. Desde entonces, ambas inquietudes han influido recíprocamente tanto en mi mente como en mi trabajo. Parte de lo que sé sobre la forma de interrogar a los científicos que ya han muerto lo aprendí examinando la forma en que Piaget interroga a los niños que estudia”.

No obstante esto, no podemos dejar de citar aquí las investigaciones que ponen el acento en las limitaciones del trabajo de Piaget. Así, Deanna Kuhn (1989) mantiene que la metáfora de los niños como científicos intuitivos o ingenuos ha de interpretarse

solamente con el significado de una semejanza con respecto a la comprensión científica. Esto es, ambos, niños y científicos, mejoran la comprensión del mundo mediante la construcción y revisión de una sucesión de modelos mentales. Sin embargo, los procesos que guían las relaciones entre modelos mentales (teorías o paradigmas) y las nuevas evidencias, hechos u objetos, son significativamente diferentes. Consecuentemente, desde este punto de vista los estudiantes no se comportan como científicos. En el razonamiento de sentido común que emplean los estudiantes no hay un verdadero control sobre la interacción modelo/evidencia, en tanto que en los procesos de desarrollo del pensamiento científico se produce una progresiva diferenciación y coordinación de teoría y evidencia. En estos procesos de desarrollo del pensamiento científico, por otra parte, se requiere reflexionar sobre las teorías, no sólo con las teorías, y sobre las evidencias, no sólo dejarse influir por ellas. En consecuencia, son procesos de desarrollo de carácter metacognitivo y estratégico. Es decir, vienen a reflejar el control sobre la interacción entre las teorías y las evidencias en el propio pensamiento.

Franco y Colinvaux-de-Dominguez (1992) critican, entre otras cosas, que Piaget no dé una explicación convincente de las diferencias entre el conocimiento científico y el conocimiento del sentido común que emplean los estudiantes. Fillon (1991), por su parte, afirma que la *ontogénesis* no recapitula la *filogénesis* porque los modelos mentales de los alumnos (modelos espontáneos) no pueden ser los de los científicos de épocas pasadas, ya que ni poseen los mismos conocimientos ni las mismas capacidades de razonamiento. Esto se justifica en razón de sus diferentes entornos materiales y sociales. Así, por ejemplo, los obstáculos encontrados por unos y por otros para construir conocimientos tienen origen y naturaleza diferente. Con todo, los autores

apuntan que los modelos espontáneos de los alumnos tienen, en ocasiones, semejanzas sorprendentes con los modelos científicos de determinados momentos en la historia de la ciencia.

Por último, Duschl, Hamilton y Grandy (1990) indican que se pueden encontrar casos en que las teorías científicas en determinados momentos de la historia y las ideas de los alumnos nunca serán coincidentes. Ponen como ejemplo las teorías o modelos del Universo. Otro ejemplo lo proporciona el trabajo de Furió y Guisasola (1993), en el que se concluye que las ideas de los alumnos sobre los conceptos de carga y potencial eléctricos no pueden ser clasificadas como pertenecientes a los modelos tomados como referentes históricos.

1.4. Enseñanza de las ciencias e historia de la ciencias.

Nos centraremos aquí en los beneficios didácticos que se pueden obtener con una adecuada utilización de la historia de la ciencia. En primer lugar, señalaremos que son bastantes los autores que, basándose en los paralelismos encontrados entre los modos de razonamiento espontáneo de los estudiantes y los de ciertos períodos históricos, proponen que el conocimiento por parte del profesorado de los problemas que se produjeron en el desarrollo de conceptos y teorías de las ciencias, permita a éste anticipar las dificultades que puedan tener los estudiantes en su aprendizaje de la ciencia (Wandersee 1986; Matthews, 1991; Sequeira y Leite, 1991). Así, aunque no tiene ningún sentido buscar correspondencias estrictas entre las ideas de los estudiantes y las de algunos científicos a lo largo de la historia de la ciencia, ni siempre el pensamiento de los estudiantes se ha dado en alguna etapa de la evolución de la ciencia, el conocimiento de la historia de la ciencia puede poner en alerta al profesorado ante ciertas *resistencias* que se han manifestado a lo largo del tiempo (Saltiel y Viennot, 1985).

Esta última idea en realidad tiene su origen en los estudios de Gaston Bachelard. Este epistemólogo francés introdujo en 1938, año de la primera edición de *La formation de l'esprit scientifique*, la noción de *obstáculo epistemológico* (Bachelard, 1983). Con este término, dio nombre a la resistencia que se ofreció, en determinados momentos de la

historia de la ciencia, a cambios que implicasen la negación por parte de la misma ciencia de los fundamentos sobre los que se sustentaban las investigaciones anteriores. Es decir, cambios que cuestionaran alguna categoría fundamental o algún factor relativo al mismo acto de conocer. Esta resistencia, según Bachelard, no se debe en exclusiva a la complejidad de lo real, esto es, a la naturaleza del objeto que nos proponemos conocer, sino a factores tales como los instintos, las costumbres intelectuales, la inercia de las culturas, la enseñanza errónea de la ciencia, la ideología de la ciencia o a los propios actos cognitivos. Señaló asimismo que la noción de *obstáculo epistemológico* puede ser estudiada tanto en el desarrollo histórico del pensamiento científico como en los conocimientos de que dispone un estudiante de ciencias.

La historia de la ciencia en la didáctica puede ir encaminada, en segundo lugar, hacia su uso como herramienta en la enseñanza/aprendizaje (Pessoa de Calvalho y Castro, 1992; Fillon, 1991). En concreto, este último investigador hace la prometedora propuesta de efectuar actividades en las que, mediante textos históricos, los alumnos tengan posibilidad de comparar sus modelos con los de los científicos en determinados momentos de la historia. Esta estrategia, según el autor, permite centrar los objetivos en un determinado obstáculo y mostrar al aprendiz que el saber científico es el resultado de una construcción humana, con sus errores y rectificaciones correspondientes.

1.5 El concepto de espacio vacío y sus implicaciones en la historia de la ciencia.

Llegados a este punto, parece conveniente, antes de iniciar cualquier tipo de trabajo experimental con los estudiantes, proceder al estudio de la historia de la ciencia tanto para obtener información de las dificultades y resistencias que se presentaron en relación con el concepto de espacio vacío, como para conocer lo que la ciencia contemporánea sostiene acerca de dicho concepto.

Hemos recogido las distintas concepciones que se han defendido en distintos momentos de la historia de la ciencia en torno al concepto de espacio vacío. Estas concepciones tuvieron una gran influencia en la formación y desarrollo de conceptos en varias áreas de las ciencias físicas. De hecho, las concepciones *plenistas* o negadoras del espacio vacío se erigieron en algunos períodos de la historia del pensamiento en verdaderos *obstáculos epistemológicos* que frenaron el progreso científico.

La historia de la ciencia la hemos dividido en ocho bloques: Ciencia Griega, Ciencia Árabe, Escolásticos, Renacimiento, Siglo XVII, Siglo XVIII, Siglo XIX y Siglo XX. Comenzaremos, pues, con las ideas de los filósofos griegos y acabaremos con las ideas aceptadas por la mayoría de la comunidad científica contemporánea.

1.5.1.Ciencia Griega.

El primer filósofo que a la hora de hablar de materia introdujo el concepto de espacio fue Anaxímenes. Vivió durante la primera mitad del siglo VI a.C. y perteneció a la denominada Escuela Jónica. Sostuvo que todo era vapor y que la materia adoptaba formas diferentes como resultado de procesos de rarefacción y condensación. Según él lo que diferenciaba una forma de materia u otra era la cantidad de materia contenida en un espacio dado (vacío).

A finales del mismo siglo que vivió Anaxímenes se destacó Parménides, fundador de la Escuela Eleática. Negó la posibilidad del movimiento y del cambio. Negó la existencia del vacío, afirmando que existía una plenitud absoluta del Ser, materia o elemento fundamental del cual el mundo está hecho. Rechazó la idea de Anaxímenes de un principio fundamental diluido o concentrado en un espacio vacío y sostuvo que, por el contrario, el espacio debía estar absolutamente lleno.

Empédocles, a mediados del siglo V a.C., diferenció el aire del espacio vacío, esto es, demostró la corporeidad del aire. Lo hizo experimentalmente mediante una clepsidra, llegando a la conclusión de que los recipientes que llamamos vacíos están en realidad llenos de aire. También demostró cómo superar las limitaciones de nuestra percepción, y descubrir, mediante procesos de inferencia basados en la observación empírica, verdades no aprehensibles directamente.

El primer científico en postular la constitución atómica de la materia se llamaba Leucipo, quien en la segunda mitad del siglo V a.C. pensaba que la materia primaria era sólida, indestructible e inmóvil y poseída de la absoluta plenitud del Ser. Además, de

acuerdo con sus ideas, la materia existía en forma de partículas pequeñísimas que no podían ser percibidas por nuestros sentidos. Estas partículas, los átomos, eran infinitas en número e impenetrables, y estaban separadas entre sí por vacío. Todas las cosas perceptibles eran meramente el efecto sobre nuestros sentidos de átomos de diferentes formas y tamaños, agrupados de múltiples formas.

De un discípulo de Leucipo, Demócrito, somos deudores de un modelo de constitución del Universo basado en la teoría atómica. Los elementos que utilizó para componer el mundo fueron dos: átomos indivisibles e impenetrables y vacío. En este modelo los átomos se mueven violentamente en el vacío, chocan entre sí y se transfieren energía. Los átomos más pesados, lógicamente, se mueven menos y su concentración produce las sustancias terrestres más pesadas, que se encuentran en el centro del mundo. Alrededor están los átomos más ligeros, con mayor movimiento. Éstos forman primero agua, luego aire y finalmente fuego.

Con Platón (427-367 a.C.) se llega a una concepción matemática del espacio, que él imagina como dimensiones independientes de los cuerpos. En el espacio, los cuerpos existen y se mueven, es el receptáculo de todas las cosas, y es tan real como las ideas eternas. La parte del espacio ocupada por un cuerpo, se corresponde con el lugar del cuerpo, la parte no ocupada es espacio vacío. Como vemos, se trata de una visión muy similar a la sostenida por los atomistas.

La física de Aristóteles (384-322 a.C.), a la que se ha llamado del sentido común, recoge en diversos puntos la explícita negación del espacio vacío. Para fundamentar esta aseveración empleó diversos argumentos que ahora expondremos. En primer lugar,

en la explicación del movimiento de los cuerpos postula la necesidad de la acción de un motor y constata la resistencia del medio en que se mueven. Esta resistencia del medio, que depende de su densidad (a mayor densidad mayor resistencia), frena el impulso del motor. Si no hubiera resistencia, como es el caso del vacío, el impulso motor no cesaría y el móvil adquiriría una velocidad infinita, lo que no tiene sentido. Así pues, como el vacío no existe, la materia no puede estar constituida de átomos, como afirmaban los defensores de la teoría atómica, sino que debe ser continua. Por otra parte, para explicar por qué se mantenía el movimiento de un cuerpo en el aire una vez éste abandonaba el agente propulsor, Aristóteles dice que es justamente el aire que se precipita tras el cuerpo para evitar el vacío, el que le transmite la fuerza necesaria para continuar la trayectoria. Es decir, el espacio ha de estar lleno de materia para transmitir efectos físicos por contacto.

En la cosmología aristotélica la Tierra se sitúa en el centro y alrededor de ella se suceden regiones de agua, aire y fuego, donde cada cosa posee un lugar propio conforme a su naturaleza, un lugar natural. Este conjunto forma lo que llama el mundo sublunar, a partir del cual se extiende la región del éter y de las esferas celestes que se mueven en torno a la Tierra. La primera esfera es la de la Luna y la última la de las estrellas fijas. Todos los cuerpos que forman el Universo son contiguos unos a otros, constituyendo un *plenum*. El movimiento de las cosas representa un desorden cósmico, por ello debe recuperarse el equilibrio de las cosas de tal manera que éstas ocupen su lugar natural. Como en el vacío no puede haber lugares naturales, tampoco puede haber movimiento.

Epicuro (340-270 a.C.) introdujo algunas modificaciones a la teoría de los átomos y vacío de Demócrito. Estableció que los átomos diferentes tendrían pesos distintos, pero

todos caerían con la misma velocidad. Esta misma idea la aplicó a los cuerpos en general, señalando que las diferencias de velocidad entre dos cuerpos en un medio resistente dado se debían a diferencias en proporción de la resistencia al peso.

En el prefacio de la *Neumática* de Herón de Alejandría (siglo I a.C.) se relatan un conjunto de experimentos sobre el vacío que se atribuyen a Estratón, de quien se conoce muy poco. De él se sabe tan sólo que dirigió el Liceo de Atenas entre 287 y 269 a.C. Este filósofo combinó el atomismo con concepciones aristotélicas y adoptó una perspectiva empírica sobre la existencia del vacío. Defendió que en todas las sustancias, a excepción del diamante, había espacios vacíos esparcidos entre las partículas. Empleó esta teoría del vacío discontinuo en la interpretación de muchos fenómenos. Así, por ejemplo, afirma que si el vacío no existiera, ni la luz ni el calor podrían atravesar el agua. No obstante esto, rechazó la idea de un vacío externo a los cuerpos.

1.5.2. Ciencia Árabe.

Los árabes fueron conocedores de las críticas a la dinámica aristotélica efectuadas por un cristiano, nacido en Alejandría (Bizancio) en siglo VI d.C, llamado Filopón. A pesar de que justificó el movimiento de los cuerpos celestes a partir de la fuerza motora inagotable con el tiempo que Dios les había conferido, fue condenado como hereje por la Iglesia. Afirmaba que un cuerpo en movimiento no precisaba estar en contacto físico constante con un motor ya que el instrumento que lo había proyectado transfería su fuerza motriz al cuerpo en cuestión. Esta fuerza motriz decrecía según las tendencias naturales del cuerpo y la resistencia del medio, e incluso en el vacío esta fuerza desaparecía progresivamente, de modo que cesaba el movimiento forzado. Puede

observarse que con este razonamiento se ponía en cuestión uno de los argumentos de Aristóteles para negar la existencia del vacío, puesto que ya no se necesitaba un continuo de materia para transmitir fuerzas por contacto físico.

Un árabe nacido en Zaragoza (España) de nombre Ibn Bagda, más conocido por su nombre en latín Avempace, se preocupó en el siglo XII d. C. de buscar la naturaleza y causa de los fenómenos no en los datos inmediatos de la experiencia sensible, sino a través de un análisis abstracto que le permitió dejar de lado los factores no esenciales. Se convirtió en valedor de las ideas de Filopón, como alternativa a la de Aristóteles, y añadió un argumento más a favor de la existencia del vacío: un cuerpo que se moviera en el vacío se movería con velocidad finita, no infinita como concluía Aristóteles, porque aunque no hubiera resistencia del medio, el cuerpo tendría que necesitar un tiempo finito para recorrer el espacio correspondiente.

1.5.3. Los escolásticos.

Este movimiento se caracterizó por la búsqueda de esquemas filosóficos en los que el dogma cristiano encontrara, si no una auténtica explicación, sí al menos una amplia justificación racional. Así, la filosofía aristotélica se integró en la teología católica gracias a Alberto Magno (1206-80) y a Santo Tomás de Aquino (1225-74). Ambos no fueron más allá del sistema de mundo aristotélico. Para ellos, el Universo era una esfera llena de materia, donde era imposible el vacío, porque todas las acciones exigían contacto físico directo o indirecto. Para Santo Tomás la primera prueba de la existencia de Dios era que los movimientos de los cielos exigían un primer motor: Dios.

La mayor parte de los filósofos escolásticos aceptaron las ideas de Aristóteles y rechazaron el vacío. Sin embargo, algunos llegaron a aceptar la descripción del vacío que dio Roger Bacon (1124-94) como cantidad matemática extendida en las tres dimensiones y sin ninguna cualidad natural. Este mismo autor defendió que la causa final de los fenómenos era el orden de la naturaleza, que no admitía el vacío. Gil de Roma (1243-1316), llegó a proponer que la succión del vacío era una fuerza de atracción universal que mantenía los cuerpos en contacto y evitaba las discontinuidades. Incluso afirmó que esta misma fuerza era la causante de que el imán atrajera al hierro.

En la Universidad de Oxford, William of Ockham (1295-1394) negó la validez de la primera prueba de Santo Tomás de la existencia de Dios. Según él, un cuerpo en movimiento no exige el contacto físico continuo con el motor, como es el caso de un imán que puede mover un trozo de hierro sin tocarlo. Este caso, representa un ejemplo de acción a distancia que se podría dar también presumiblemente en el vacío. En consecuencia, el espacio no tiene por qué estar lleno de materia para transmitir efectos físicos, el vacío es posible. Ockham estuvo de acuerdo con Filopón en que Dios confirió una fuerza motriz a los cuerpos celestes que no se agota con el tiempo, y por tanto elimina la necesidad de postular motores.

Jean Buridan (1300-66) ofreció dos argumentos de peso en contra de la tesis aristotélica de que los cuerpos en movimiento en el seno del aire eran propulsados por el propio aire desplazado que se precipitaba a la parte posterior del cuerpo, con el fin de evitar la formación de vacío. El primero es que si una peonza rota sin cambiar de posición, es imposible que se mueva por acción de aire desplazado. El segundo es que una jabalina con el extremo posterior plano no llega más lejos, aplicándole la misma fuerza, que una

jabalina afilada por ambos extremos, en contra de los que cabría esperar si el aire fuera el propulsor. Buridan propuso la denominada teoría del *ímpetus*. El *ímpetus* que recibía un cuerpo por acción de una fuerza es el responsable del movimiento. La cantidad de *ímpetus* recibido por un cuerpo es proporcional a densidad y volumen del cuerpo y a su velocidad inicial. Los cuerpos celestes se mueven merced al *ímpetus* comunicado por Dios en un instante inicial. Este *ímpetus* no se agota porque no hay resistencia del aire en los Cielos.

1.5.4.El renacimiento.

En el siglo y medio que separa los escolásticos de principios del siglo XV de los primeros representantes de la ciencia del siglo XVII (Galileo, Kepler,...), aparecen científicos que van sentar las bases de la ciencia moderna. Destacaremos aquí a dos de ellos: Giambattista Benedetti y Giordano Bruno.

Giambattista Benedetti (1530-90) en su esfuerzo de matematizar la ciencia, se opuso a la física meramente cualitativa de Aristóteles. Para este científico el error más destable de Aristóteles era la negación del vacío y del movimiento en él. La demostración aristotélica de imposibilidad del vacío por reducción al absurdo, esto es, si el vacío existiera no habría resistencia al movimiento y los cuerpos adquirirían velocidad infinita, es absolutamente falsa. Esto es así, porque la velocidad es proporcional al peso disminuido por la resistencia del medio, con lo cual, aun no existiendo resistencia, jamás se puede hacer infinita. Por otra parte, Benedetti haciendo uso de un experimento mental concluye que los cuerpos compuestos de la misma materia, caerán en el vacío con la misma velocidad.

Giordano Bruno (1548-1600) llevó a cabo una verdadera transformación de la imagen que se tenía del mundo y de la realidad física. Se opuso al Cosmos finito aristotélico y proclamó la infinitud del espacio y del Universo. Negó la existencia de lugares naturales o direcciones privilegiadas para los cuerpos en movimiento, afirmando que el espacio es el verdadero lugar de los cuerpos. El propio Universo tiene su lugar en el espacio, que no es más que un vacío inmenso e infinito que subtiende y recibe a la materia. Con esto, Bruno identificó el vacío con el espacio que contiene a todos los cuerpos y lo calificó de infinito. Además, apuntó que el movimiento de los cuerpos presuponía la existencia de espacio y que, justamente al contrario de lo que pensaba Aristóteles, la existencia de vacío es la condición necesaria para este movimiento. No obstante, este científico del renacimiento recalca que el espacio vacío no existe salvo allí donde los cuerpos se tocan, puesto que es en realidad el aire o el éter lo que llena el espacio.

1.5.5. El siglo XVII.

Galileo Galilei (1564-1642) refutó las tesis aristotélicas de que los cuerpos pesados caían más deprisa y de imposibilidad del vacío. Señaló que, precisamente es en el vacío, donde tienen que estudiarse las relaciones entre el peso, determinado por la cantidad de materia por unidad de volumen, y el movimiento. Pero, dadas la dificultades que esto representaba para él, idealizó y matematizó las condiciones experimentales en sus trabajos sobre la caída de los cuerpos. Esto, le permitió llegar a concluir que todos los cuerpos, independientemente de sus pesos, recorren las mismas distancias en los mismos tiempos. Además, las distancias recorridas son proporcionales al cuadrado de los tiempos o, lo que es lo mismo, la velocidad de caída de los cuerpos aumenta uniformemente con el tiempo.

A Galileo se le atribuye el primer vacío artificial del que se tiene noticia. Lo consiguió a partir de un cilindro cerrado y un pistón. Conocía también este sobresaliente científico la imposibilidad observada por los prácticos de elevar agua mediante una bomba aspirante a más de 10,5 m. Este hecho lo justificó simplemente diciendo que representaba el límite de la fuerza del vacío.

La física de René Descartes (1596-1650) se basa en dos principios: la inexistencia del vacío y la constancia de la cantidad de movimiento y de la materia. La negación de la existencia del vacío es una consecuencia directa de la identificación cartesiana de materia con espacio, que al ser un atributo de la materia no puede existir

independientemente de ella. La constancia de la cantidad de movimiento y de la materia eran fruto del poder de Dios en el Universo.

A partir de estos principios Descartes formuló la teoría de los torbellinos en el *plenum* para explicar la formación del Mundo. En esta teoría se supone que se estableció inicialmente un vórtice gigante en el que los bloques primarios de materia eran arrastrados y se desgastaban por fricción, produciendo polvo o éter, la materia primera que llena el espacio, y pequeñas esferas, la materia segunda. A medida que el universo se desarrollaba, se iniciaban torbellinos secundarios en torno a cada conglomerado de materia. Así, por ejemplo, había un vórtice en torno a la Tierra que arrastraba a la Luna en su curso. En todos los vórtices la materia pesada era arrastrada hacia el centro, en tanto que la ligera se veía dispersada hacia el exterior. Esto explicaba que los objetos pesados cayesen hacia la Tierra, mientras que el fuego se elevaba. En este sistema del mundo todas las clases de materia están en contacto entre sí, de manera que el movimiento dentro de un torbellino es transmitido de unos cuerpos a otros.

En 1643 se comprobó, por iniciativa de Evangelista Torricelli (1608-47), que la atmósfera ejercía presión sobre la superficie de la Tierra. Para ello, tomó un tubo recto de vidrio abierto por uno de sus extremos, llenó el tubo mercurio y lo invirtió -sin que cayera el mercurio- dentro de una cubeta que contenía mercurio. El mercurio descendió hasta 0,76 m por encima del nivel de mercurio de la cubeta. Torricelli defendía, por un lado, que en la parte superior del tubo se había formado espacio vacío y, por otro lado, que era la presión atmosférica actuante sobre la superficie libre libre del mercurio de la cubeta la que sustentaba la columna de mercurio de 0,76 m. Por el contrario, los seguidores de las posiciones *plenistas* o negadoras del vacío de Aristóteles y Descartes

pensaban que debía de quedar alguna sustancia, el éter, que era la que con el fin de evitar la formación de vacío, ejercía una fuerza atractiva sobre el mercurio. Torricelli efectuó un segundo experimento con un tubo que contenía un gran bulbo en su extremo cerrado, y los resultados fueron los mismos. De este modo, acabó por rechazar la hipótesis *plenista* y confirmó la existencia de espacio vacío.

Torricelli hizo uso la presión atmosférica para explicar el funcionamiento de la bombas aspirantes de agua. Para este mismo fin tanto los escolásticos como Galileo habían empleando la fuerza de succión del vacío, consecuencia del horror vacui que manifestaba la Naturaleza. Torricelli explicó también por qué el agua no subía a más de 10,5 m mediante bombas aspirantes: el pistón de la bomba desaloja aire, con lo cual libera al agua que sube de la presión atmosférica, y es esta misma presión atmosférica la que actuando sobre la superficie libre del agua hace subir al líquido.

Pierre Gassendi (1592-1655) atacó con dureza los fundamentos de la ontología cartesiana. Frente al plenismo cartesiano sostuvo que el mundo estaba constituido de átomos y vacío. Asignó a la materia las características de movilidad, impenetrabilidad y discontinuidad y se negó a identificarla con el espacio, que supuso ilimitado y continuo. Como puede verse, Gassendi no hace sino retomar ideas bien conocidas con anterioridad, si bien, tuvo la audacia de aplicarlas con acierto en la interpretación de algunos fenómenos. En concreto, superó la explicación que el Blaise Pascal (1623-62) dio a la célebre experiencia del Puy de Dôme. En ella, Pascal repitió el experimento de Torricelli, varias veces en un mismo día, en el pie y en la cima de la citada montaña. Obtuvo una diferencia de alturas de mercurio entre la falda y la cima de más de tres pulgadas. La interpretación de Gassendi para la variación de la altura del mercurio con

la altitud, se basó en la distinción de la acción de dos factores: peso y presión elástica de la columna de aire atmosférico. El factor esencial en la experiencia de Pascal es la presión elástica del aire. Gassendi explica, de acuerdo con su modelo de átomos y vacío, la variación de la presión del aire mediante la dilatación o compresión de éste, y el hecho de que una misma cantidad de aire (un mismo peso de aire) pueda ejercer presiones diferentes según su estado de compresión o dilatación.

Pascal efectuó otro experimento decisivo en la confirmación de la influencia de la presión atmosférica en la experiencia de Torricelli. Repitió dicha experiencia en el interior de un recipiente en el que previamente había hecho el vacío. Constató que el mercurio descendía por completo en el tubo.

En este punto, no podemos dejar de destacar el famoso experimento de los hemisferios de Magdeburgo, que llevó a cabo Otto von Guericke (1602-86) para evidenciar la fuerza que podía ejercer la presión atmosférica. En él mostró que cuando dos hemisferios metálicos se encajaban y se hacía un vacío interior mediante una bomba neumática, no podían ser separados por dieciséis caballos.

La pretensión de Robert Boyle (1627-91) como científico fue desarrollar una teoría universal de la materia, que consideraba formada por partículas, a partir de sus propiedades mecánicas, y atendiendo siempre a los resultados obtenidos por los experimentos. Realizó, o mandó realizar, un sinnúmero de experimentos con el aire, al que definía como fluido tenue, transparente, compresible, dilatable, diferente al éter y compuesto de partículas. Comprobó con aire que, a temperatura constante, toda disminución de volumen de un gas lleva consigo un aumento proporcional de la presión,

y también ocurre al revés (Ley de Boyle). También llevó a cabo experimentos mediante campanas de cristal en las que hacía el vacío. Con ellos verificó que el sonido no se transmite en el vacío, pero sí la luz.

Boyle ofreció dos modelos diferentes para explicar la compresibilidad y expansibilidad del aire, ambos de carácter corpuscular. En el primero, que podemos llamar modelo estático, las partículas del gas se comportan como pequeños muelles, y se encuentran unas en contacto con otras. En el segundo, que podemos llamar modelo cinético, las partículas se hallan en violenta agitación sumergidas en un fluido sutil o éter que lo llena todo, como ya proponía Descartes. De hecho, Boyle intentó encontrar una prueba experimental de la existencia del éter, pero no la halló.

La idea cartesiana de la presencia de un fluido o éter corporal que llena todo el espacio fue rechazada frontalmente por Isaac Newton (1642-1727). Para este gran científico un fluido material, por sutil que fuera, ofrecería gran resistencia al movimiento de los cuerpos celestes, lo que imposibilitaría el movimiento regular y permanente que se observa en los planetas y cometas.

Pese a que Isaac Newton (1642-1727) inicialmente rechazó la idea cartesiana de un fluido o éter que llena todo el espacio, y que se jactaba de utilizar una metodología que no usaba hipótesis especulativas y en la que se ligaba de manera muy fructífera la experimentación y las matemáticas, no pudo desprenderse del error conceptual de creer en la existencia de un éter que llena los espacios vacíos intra y extracorporales. De él dijo que era un medio estacionario y compuesto por partículas que se repelían entre sí, y eran repelidas por las partículas de los cuerpos. Por ello, el éter resultaba muy poco

denso en las proximidades de los cuerpos celestes, y les ofrecía muy poca resistencia. Por consiguiente, la cantidad movimiento del universo no podía ser constante, como supuso Descartes y, según Newton, Dios reponía constantemente la cantidad de movimiento perdida por fricción.

También recurrió Newton en última instancia, movido por los incesantes interrogantes lanzados por sus adversarios, al éter como origen y medio de transmisión de la fuerza de atracción gravitatoria. Newton evitó mientras pudo hacer un análisis físico de este asunto y se decantó, en un principio, por un tratamiento matemático neutro, sin ningún tipo de implicación.

Tanto Newton como Christian Huygens (1629-95) consideraron que la luz se propagaba en un fluido sutil, elástico y compuesto por partículas: el éter. Sin embargo, para el primero la luz tenía realidad sustancial y estaba formada por corpúsculos materiales, a los que para justificar las propiedades observadas en la misma, se les podía aplicar las leyes de la Dinámica. Para el segundo, la luz era un movimiento vibratorio del éter situado entre el observador y el cuerpo luminoso, pensaba, por tanto, que tenía un carácter ondulatorio análogo al sonido.

1.5.6. El siglo XVIII.

Durante este siglo, y a contracorriente de su contemporáneos, Daniel Bernouilli (1700-82) niega la existencia del éter que todo lo llena. Lo hace en su investigación sobre el comportamiento de los gases. Suponía a los gases constituidos por pequeñísimas partículas, de las que habría una ingente cantidad incluso en un pequeño receptáculo. Optó por un modelo cinético para los gases, cuyas partículas se moverían rápidamente en todo el espacio vacío disponible, chocarían entre ellas elásticamente y también contra las paredes del recipiente. La presión del gas sobre las paredes la interpretaba mediante los choques de las partículas contra ellas.

Haciendo uso de este modelo Bernouilli llevó a cabo un desarrollo cuantitativo que le permitió, por una parte, deducir la ley experimental de Boyle para gases, y por otra, encontrar la relación entre el aumento de presión y el calor suministrado (aumento de la temperatura) a un sistema de volumen constante.

Por contra, el famoso matemático Leonhard Euler (1707-83) vuelve a hacer uso del éter que penetra en todos los cuerpos y llena el vacío para explicar la propagación ondulatoria de la luz, y proponer un modelo cinético para los gases en donde las partículas gaseosas giran en el éter. Para dar una justificación de la mayor velocidad de la luz respecto del sonido, dio a al éter una densidad mucho menor que la de aire, pero mucha mayor elasticidad.

En este siglo surge una nueva clase de fluido sutil o éter: el calórico. Este término fue introducido por Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-94) para designar la materia del fuego o calor, al que consideraba un fluido indestructible e inmaterial. Joseph Black (1728-99), un gran estudioso del calor, describió el incremento de temperatura observada en un gas cuando se le comprime rápidamente o en un trozo de metal al que se le golpea bruscamente, como consecuencia de la liberación del calórico existente entre los espacios vacíos de las partículas.

1.5.7. El siglo XIX.

Hasta el primer cuarto de este siglo la teoría de la luz con más adeptos era la corpuscular de Newton. Pero, a partir de las investigaciones de Thomas Young (1773-1829) y de Augustin Fresnel (1788-1827), fue mayoritaria la hipótesis del carácter ondulatorio. Young hizo resurgir hacia 1801 la teoría ondulatoria en la interpretación de varias experiencias con la luz, que consideró una vibración longitudinal que se propaga por el espacio lleno de éter. Fresnel (1788-1827) analizó los fenómenos luminosos considerando a la luz como un movimiento vibratorio transversal en el omnipresente éter. Por otro lado, muchos científicos de la primera mitad del siglo XIX aceptaban la identificación, en términos cualitativos, de luz y calor, por lo cual, acabó considerándose éste como un movimiento vibratorio a través del éter.

No obstante, el tratamiento de la luz como vibraciones transversales en el éter exigía a este último tener características de rigidez. Pero, también al mismo tiempo tendría que ser muy poco denso, para permitir el movimiento de los cuerpos celestes y de los átomos. Como posteriormente veremos, tuvieron que pasar bastantes años para zanjar el

problema de la existencia y/o necesidad del éter en el espacio para describir los fenómenos físicos.

Para explicar las fuerzas que actúan entre las cargas eléctricas y los imanes, Michael Faraday (1791-1867) imaginó que el espacio intermedio estaba lleno de algún ente que pudiese estirar o empujar. A este ente, que conecta polos magnéticos y cargas eléctricas, lo llamó líneas o tubos de fuerza, y les asignó existencia real. Asimismo, introdujo en la física el concepto de campo, que desempeñaría en momentos posteriores un papel vital. Faraday, en un principio, entendió el campo como un espacio lleno de líneas de fuerza. Después llegó a pensar en el espacio como un campo, un lugar que permite todas las interacciones (gravitatorias, eléctricas y magnéticas), y que el éter no era sino el espacio tal y como él lo entendía. También comprobó que el campo magnético de un imán hace cambiar la orientación del plano de polarización de la luz, lo que le llevó a sugerir que la luz consistiría en vibraciones ondulatorias a lo largo de líneas de fuerza

James Clerk Maxwell (1831-79) trató de poner en forma matemática cuantitativa las ideas de Faraday sobre los fenómenos eléctricos y magnéticos. A partir de la hipótesis de un medio que sirve de soporte al campo electromagnético y llena el espacio, el éter, y de las leyes de la dinámica, dedujo que las interacciones o perturbaciones electromagnéticas se propagan a la velocidad de la luz. De este resultado pudo inferir la identidad de las vibraciones luminosas y electromagnéticas, esto es, que la luz se comporta como una onda electromagnética propagándose en el éter. Cabe señalar, no obstante, que la eliminación posterior del éter como medio en el que se propagan los campos no invalida el resto de la teoría maxweliana.

A finales del siglo XVIII, ya se aceptaba por gran parte de los químicos que aquella substancia que no se descomponía en otras por cualesquiera de los medios fisicoquímicos conocidos, correspondía a un elemento químico. John Dalton (1766-1844) retomó y modificó la vieja hipótesis atómica, y basándose en los datos experimentales que recogía, la relacionó con el concepto de elemento químico. Imaginó a la materia constituida por átomos indivisibles, esféricos, pero los envolvió de una atmósfera de calórico; y sostuvo que los elementos químicos estaban formados por átomos de una misma clase. En cuanto a los gases, suponía que sus partículas están en reposo y sus capas de calórico en contacto. Esto es, no había vacío entre partículas gaseosas.

Otro estudioso de los gases, Amedeo Avogadro (1776-1856), modificó el modelo de gases de Dalton al defender que las partículas de gas sólo tienen una fina capa de calórico y son muy pequeñas frente a la distancia que las separa. De este modo, el volumen que ocupan las partículas gaseosas es mínimo respecto del volumen total del recipiente que las contiene. En definitiva, propone un modelo de gases que deja entrever zonas de espacio vacío, aunque no se pronuncia sobre si es estático o dinámico. Por otra parte, Avogadro consideró que las partículas de los elementos gaseosos no eran átomos simples, como se venía aceptando hasta el momento, sino un conjunto de dos o más átomos semejantes.

Uno de los primeros científicos que abrió camino a la teoría cinético-molecular de los gases fue James Prescott Joule (1818-89), quien mostró que con la aceptación de una teoría cinética para el calor y de una teoría atómica para la materia, se podía dar cuenta de un amplio abanico de fenómenos físicos de los gases. El ya citado Maxwell, junto a

Ludwig Boltzmann (1844-1906) y Rudolph Clausius (1822-88) se encargaron, mediante métodos estadísticos, de dar forma matemática a dicha teoría. Sin embargo, se ha de señalar una cierta resistencia de los científicos de este siglo a asumir que las partículas gaseosas pudiesen moverse libremente en el espacio vacío. Sólo John Herapath (1790-1868) se destacó en este aspecto, proponiendo una teoría cinética que desarrollaba la ideas de Bernouilli.

1.5.8. El siglo XX.

En 1905 Albert Einstein (1879-1955) dio a conocer uno de los pilares básicos en que se sustenta la teoría de la relatividad: la velocidad de la luz es constante e independiente de las velocidades de la fuente y del observador. Esta hipótesis, que se vería confirmada experimentalmente, junto con una acumulación de experiencias anteriores donde se pretendía medir la velocidad relativa del éter o respecto de él, acabarían por hacer superfluo al éter como medio de propagación de la luz y reemplazarlo por espacio vacío.

En este siglo, en la comunidad científica se rechazan las acciones directas a distancia, como implícitamente admitía la mecánica newtoniana, y se niega la existencia de un medio intermediario que transmite las interacciones. Se acepta, por el contrario, que todas las interacciones están aseguradas por los campos de fuerza (gravitatorio, electromagnético, etc.). Se les considera como una realidad objetiva que puede existir independientemente de los cuerpos que los han generado, y como una de las formas de existencia de la materia. En suma, ya no hay espacio absolutamente vacío, pues todo está lleno de campos.

Joseph John Thompson (1856-1940) ante la confirmación experimental de la existencia de unas partículas cargadas negativamente, los electrones, que son un constituyente de toda la materia, propuso un modelo atómico en que el átomo es una esfera homogénea cargada positivamente y los electrones están incrustados en ella.

En la segunda década de este siglo, se disponía de átomos radiactivos con una gran energía cinética de los que se podía hacer uso como proyectiles en el estudio de la estructura de la materia: las partículas alfa. Los experimentos llevados a cabo por Enrst Rutherford (1871-1937) en 1911 haciendo incidir un haz de partículas alfa sobre una fina lámina metálica, le llevaron a la formulación de un nuevo modelo atómico. En él se concentra casi toda la masa del átomo en un pequeño núcleo central, cargado positivamente, y a su alrededor se mueven los electrones. Con lo cual, este modelo ofrece una imagen del átomo prácticamente vacío, que es tal y como se acepta hoy en la actualidad a pesar de que el modelo haya sido abandonado y sustituido por el mecano-cuántico.

Hasta el primer cuarto de este siglo se acumularon ciertas evidencias experimentales de que la interacción de la radiación electromagnética con la materia no se ajustaba de manera adecuada a la la teoría de Maxwell para el campo electromagnético. Por otro lado, varios experimentos pusieron de manifiesto que el movimiento de las partículas subatómicas no seguía las leyes de la dinámica newtoniana. Con el correr del tiempo, y gracias a los esfuerzos de científicos brillantes, entre ellos Werner Karl Heisenberg (1901-1976) y Erwin Schrödinger (1887-1961), se llegó a una nueva teoría que constituye la esencia de la física contemporánea: la teoría cuántica.

Precisamente un principio formulado por Heisenberg, el principio de incertidumbre, proporciona un nuevo argumento a la ciencia contemporánea para poner en duda la existencia de espacio vacío. Así, si consideramos una zona del espacio vacía, esto implicaría que cualquier campo de fuerzas tendría allí valor exactamente cero. Si aplicamos entonces el principio de incertidumbre, que indica en este caso que cuanto mayor es la precisión con la que se conoce el campo menor es la precisión con la que podemos saber su variación con el tiempo, en el espacio vacío el campo no puede tener valor cero porque su variación con el tiempo también tendría valor preciso cero. En consecuencia, la teoría cuántica nos conduce inevitablemente a llenar el espacio vacío con pares de partículas que aparecen juntas en un instante determinado, se separan, y luego se vuelven a juntar aniquilándose entre sí. Es decir, que lo suponemos espacio vacío es en realidad un maremágnum de materia no permanente: electrones, protones, neutrones, fotones, mesones, neutrinos o cualquier tipo posible de partícula y antipartícula subatómica.

En definitiva, se puede concluir que la ciencia actual admite la existencia de espacio vacío de materia real, a saber, de materia permanente, pero este mismo espacio lo llena de materia virtual o no permanente.

1.5.9. Bibliografía de historia de la ciencia.

- ALONSO, M. & FINN, E.J. (1982) *Física*. México: Fondo Educativo Interamericano.
- ASIMOV, Y. (1988) *Breve historia de la Química*. Madrid: Alianza.
- BENSON, H. (1995) *Física Universitaria*. México: CECSA.
- BOLTZMANN, L. (1986) *Escritos de mecánica y termodinámica*. Madrid: Alianza.
- BOYLE, R. (1985) *Física, Química y Filosofía mecánica*. Madrid: Alianza.
- BUNGE, M. (1985) *La investigación científica*. Barcelona: Ariel.
- CANTOR, G., GOODING, D. & F.A. JAMES (1994) *Faraday*. Madrid: Alianza.
- CROMBIE, A.C. (1987) *Historia de la ciencia: De San Agustín a Galileo*. Madrid: Alianza.
- DAMPIER, W.C. (1992) *Historia de la ciencia y sus relaciones con la filosofía y la religión*. Madrid: Tecnos.
- DAVIES, P. (1986) *Otros mundos. El espacio y el Universo cuántico*. Barcelona: Salvat.
- DAVIES, P. (1988) *La frontera del infinito. De los agujeros negros a los confines del Universo*. Barcelona: Salvat.
- EINSTEIN, A. & INFELD, L. (1984) *L'evolució de la física*. Barcelona: Edicions 62/Diputació de Barcelona.
- EULER, L. (1985) *Reflexiones sobre el espacio, la materia, la fuerza y la materia*. Madrid: Alianza.
- FARRINGTON, B. (1986) *Ciencia y filosofía en la Antigüedad*. Barcelona: Ariel.

- FARRINGTON, B. (1986) *Ciencia Griega*. Barcelona: Icaria.
- GEYMONAT, L. (1985) *Historia de la filosofía y de la ciencia*. Barcelona: Crítica.
- HALL, A.R. (1985) *La revolución científica 1500-1750*. Barcelona: Crítica.
- HAWKING, S.W. (1988) *Historia del tiempo*. Barcelona: Círculo de Lectores.
- HOLTON, G. & BRUSH, S.G. (1989) *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*. Barcelona: Reverté.
- IHDE, A.J. (1984) *The development of modern chemistry*. New York: Dover.
- KIPPENHAHN, R. (1987) *Luz del confín del Universo. El Universo y sus inicios*. Barcelona: Salvat.
- KOYRÉ, A. (1980) *Estudios Galileanos*. Madrid: Siglo XXI.
- KOYRÉ, A. (1983) *Estudios de historia del pensamiento científico*. Madrid: Siglo XXI.
- LEICESTER, H.M. (1967) *Panorama histórico de la Química*. Madrid: Alhambra.
- MAHAN, B.H. (1977) *Química*. México: Fondo Educativo Interamericano
- MASON, S.F. (1986) *Historia de las ciencias*. Madrid: Alianza.
- MORENO, A. (1988) *Aproximación a la Física*. Madrid: Mondadori.
- NEWTON, I. (1977) *Óptica*. Madrid: Alfaguara.
- NEWTON, I. (1986) *El sistema del mundo*. Madrid: Alianza.
- PAPP, D. (1945) *Historia de la Física*. Buenos Aires: Espasa-Calpe.
- PASCAL, B. (1984) *Tratados de pneumática*. Madrid: Alianza.

ROSMORDUC, J. (1993) *Una història de la Física i de la Química*. Barcelona: Edicions de la Magrana.

SIVOUKHINE, D. (1982) *Cours de Physique Générale*. Moscú: Mir.

TATON, R. (Ed.) (1988) *Historia General de las Ciencias*. Barcelona: Orbis.

TAYLOR, J.G. (1981) *La nueva Física*. Madrid: Alianza.

2. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN.

OBJETIVOS E HIPÓTESIS.

Antes de pasar a describir el estudio experimental que hemos realizado, recordaremos de forma sucinta las ideas expuestas en la fundamentación teórica de nuestra investigación. A continuación, formularemos objetivos e hipótesis.

Hemos partido de un hecho bien contrastado en la didáctica de las ciencias: nuestros alumnos tienen concepciones previas en muchos campos de las ciencias que influyen de manera decisiva su aprendizaje, y que se muestran resistentes a cualquier modificación para aproximarlas a las aceptadas por la comunidad científica. Así, en el caso concreto del concepto de espacio vacío son diversos los trabajos que revelan una tendencia generalizada a defender la imposibilidad de su existencia.

Por otro lado, se ha visto que la historia de la ciencia puede ayudarnos a comprender el desarrollo conceptual de los estudiantes, y sobre todo, ponernos en situación de entender sus dificultades y resistencias. No obstante, los procesos que ayudan a estudiantes y científicos a establecer conexiones entre los modelos mentales elaborados y las evidencias, hechos u objetos, son bien diferentes en unos y en otros. En concreto, el control y la reflexión sobre la interacción modelo/realidad, esto es, el desarrollo metacognitivo y estratégico, sólo es característico de los procesos del pensamiento científico. Además, los modelos mentales de los estudiantes no pueden coincidir

exactamente con los de los científicos de épocas pasadas porque no tienen ni los mismos conocimientos ni las mismas capacidades en razón de sus diferentes entornos materiales y sociales. Incluso se han dado casos en que no hay coincidencia alguna.

Asimismo, hemos mostrado que la historia de la ciencia puede dar la posibilidad, en un contexto didáctico, de que los alumnos revisen y modifiquen sus modelos espontáneos, de sentido común, mediante la comparación de estos modelos con los de los científicos en determinados momentos de la historia.

Con todo ello, pensamos que está bastante justificada la inclusión en este estudio de una revisión de la evolución de las ideas relacionadas con el concepto de espacio vacío a lo largo de la historia de la ciencia. Esta revisión, nos ha puesto de manifiesto la enorme resistencia ofrecida a la aceptación de la existencia de espacio vacío por gran parte de los científicos hasta comienzos del siglo XX, cuando se enuncia la teoría de la relatividad y se extiende el uso de la teoría de los campos de fuerza.

Teniendo en cuenta estos prolegómenos, pasamos seguidamente a formular los objetivos de nuestra investigación.

2.1. Objetivos

- *1. Conocer las ideas de los estudiantes de diferentes niveles educativos, en concreto entre los 11 y los 17 años, ante diversas situaciones problemáticas donde se pueda ver implicado el concepto de espacio vacío.*
- *2. Analizar la influencia que tiene la instrucción académica recibida sobre estas ideas sobre el espacio vacío.*
- *3. Destacar aquellas ideas de los estudiantes que presenten similitudes o coincidencias con las de los científicos en determinados momentos de la historia.*
- *4. Proponer materiales y actividades que permitan abordar en el aula el concepto de espacio vacío, teniendo en cuenta las previsibles dificultades que comporta su asimilación.*

El bagaje teórico anteriormente expuesto junto con los objetivos planteados han supuesto en nuestro trabajo un conjunto de hipótesis que a continuación detallaremos.

2.2. Hipótesis.

- 1. *Los estudiantes tenderán en la mayoría de los casos problemáticos que se les planteen a rechazar la posibilidad de existencia de espacio vacío.*
- 2. *Las ideas de los estudiantes no se verán alteradas de manera significativa con la edad, es decir, ni el desarrollo cognitivo ni la instrucción recibida afectarán significativamente estas concepciones.*
- 3. *Encontraremos en bastantes casos que las concepciones de los estudiantes ante situaciones donde intervenga de un modo u otro el concepto de espacio vacío tienden a coincidir con las mantenidas por algunos científicos de épocas pasadas.*

3. ESTUDIO EXPERIMENTAL.

3.1. Metodología.

Hemos escogido como instrumento de diagnóstico un cuestionario con preguntas de opción múltiple, en la construcción del cual hemos tenido en cuenta sobre todo las recomendaciones de Treagust (1988 y 1991) y Peterson y colaboradores (1989). No obstante, también se han seguido las directrices de Cassels y Johnstone (1984) para un uso apropiado del lenguaje en las pruebas de opción múltiple, y de Hodson (1986), que demuestra que un test con cuatro respuestas alternativas (tres distractores) es tan fiable como uno con cinco (cuatro distractores).

En primer lugar hemos definido el contenido conceptual que se va a analizar mediante un listado de proposiciones sobre el tema que objeto de estudio. En segundo lugar, hemos obtenido información acerca de los conocimientos previos de los estudiantes sobre el tema. Para ello hemos hecho uso de las investigaciones previas citadas en la fundamentación teórica, de la historia de la ciencia y de los libros de texto, con el fin de llevar a cabo entrevistas clínicas y pruebas de lápiz y papel con preguntas abiertas. En tercer lugar, hemos efectuado una prueba piloto con la primera versión del cuestionario elaborado atendiendo a la información anterior y, finalmente, tras un análisis de consistencia interna (Moreira y Lang da Silveira, 1993) hemos eliminado algunos ítems y establecido la versión definitiva del cuestionario.

3.1.1. Definición del contenido conceptual.

A partir de casos en los que podía verse implicado el espacio vacío, identificamos los conceptos asociados a todos ellos. Posteriormente, construimos las proposiciones que relacionaban dichos conceptos. Hemos entendido el espacio vacío aquí y en lo que resta de trabajo como espacio vacío de materia permanente, pues recordemos que, según se ha dicho en el apartado 1.5.8, el espacio vacío está en realidad lleno de materia virtual o no permanente.

La validación del contenido de las proposiciones fue realizada independientemente por dos profesores universitarios y dos profesores de enseñanza secundaria. El listado de proposiciones que aparece a continuación (ver Tabla 1) está basado en los comentarios efectuados por los cuatro profesores.

Tabla 1. Listado de proposiciones con el contenido conceptual.

- 1.El movimiento de un cuerpo no necesita de la aplicación continuada de una fuerza.
- 2.La dirección del movimiento de un cuerpo no tiene porqué coincidir con la dirección de la fuerza resultante que actúa sobre él.
- 3.La energía es una propiedad de todo cuerpo o sistema material en virtud de la cual éste puede transformarse, modificando su situación o estado, así como actuar sobre otros originando en ellos procesos de transformación
- 4.El aire ofrece resistencia al movimiento de los cuerpos
- 5.Las interacciones no necesitan de ningún medio material para transmitirse, se transmiten a través del espacio vacío.

- 6.Las interacciones son debidas a los campos de fuerzas.
- 7.Las interacciones por contacto son un caso particular de interacciones debidas a los campos.
- 8.La parte superior del tubo de la experiencia de Torricelli es espacio vacío.
- 9.La columna de mercurio del tubo de la experiencia de Torricelli se mantiene gracias a la presión atmosférica ejercida sobre la superficie libre del mercurio de la cubeta, que se transmite a través del mercurio de la misma.
- 10.El mercurio del tubo de la experiencia de Torricelli ejerce una presión en su base igual a la presión atmosférica.
- 11.El vacío no ejerce fuerza absorbente.
- 12.La materia no tiende a llenar el espacio vacío.
- 13.Una jeringuilla se llena de líquido cuando al mover el émbolo desalojamos aire y la presión atmosférica actuante en la superficie libre del liquido lo hace entrar en ella.
- 14.En la experiencia de Rutherford la gran mayoría de partículas atraviesan la lámina metálica por la existencia en ella de grandes zonas de espacio vacío.
- 15.Los átomos tienen un núcleo central de gran masa y carga positiva que contiene protones y neutrones, y tienen también electrones que se mueven en el gran espacio vacío existente alrededor del núcleo.
- 16.La mayor parte del átomo es espacio vacío.
- 17.La distancia de separación entre moléculas de un gas es mucho mayor que el tamaño de las propias moléculas.
- 18..Entre las moléculas gaseosas hay espacio vacío.
- 19.El aumento de temperatura por compresión rápida de un gas se debe al aumento de la velocidad o energía cinética de sus moléculas.
- 20.El calor representa la energía intercambiada entre un sistema y el medio que lo rodea, debido a los intercambios individuales de energía que pueden ocurrir como consecuencia de los choques entre las partículas del sistema y las del medio.

- 21.La mayor parte del espacio comprendido entre la Tierra y la Luna se encuentra vacío.
- 22.El movimiento de la Luna alrededor de la Tierra se debe a la fuerza de atracción gravitatoria de la Tierra sobre la Luna.
- 23.La luz se comporta como onda electromagnética o como partícula según el experimento que se realice con ella, pero en ambos casos se propaga por espacio vacío.
- 24.En el hielo las moléculas de agua están enlazadas de tal modo que dejan mucho espacio vacío.

3.1.2.Desarrollo y elaboración del cuestionario.

Con la finalidad de diseñar un instrumento de medida que se ajustara lo máximo posible a los objetivos que esta investigación se había planteado, procedimos a obtener una primera aproximación al pensamiento de los estudiantes en relación con el espacio vacío. Para llevar a cabo esta tarea utilizamos investigaciones anteriores, la historia de la ciencia y los libros de texto. Tanto de las investigaciones en que de manera colateral aparecen distintas concepciones de los aprendices en torno al concepto de espacio vacío como del concepto de espacio vacío en la historia de la ciencia, ya hemos dado buena cuenta en la fundamentación teórica de este estudio, apartados 1.2 y 1.5, respectivamente. En cuanto a la utilización de los libros de texto como fuente de información de los esquemas de conocimiento de los alumnos parece plausible dado su extenso uso e influencia (Solaz-Portolés, 1994).

Efectuada una revisión de los libros de texto que son utilizados por los estudiantes que participan en nuestra investigación, hemos encontrado que en la mayoría de las ocasiones se peca por omisión en el tratamiento del espacio vacío. Es decir, no se indica explícitamente que ciertas zonas del espacio pueden estar vacías. Además, como ya apuntábamos en otro trabajo (Solaz-Portolès, 1996), en algunas de las ilustraciones de la estructura de la materia y de las disoluciones que figuran en los textos se promueven concepciones continuistas de la materia. Así, por ejemplo, no se da una imagen del átomo como partícula vacía, sino todo lo contrario.

Posteriormente, a partir de la información obtenida a través de las tres vías mencionadas, hemos llevado a cabo entrevistas clínicas y pruebas de lápiz y papel de preguntas abiertas con grupos reducidos de estudiantes. En ambos casos se exponían situaciones problemáticas, extraídas de la historia de la ciencia y de otras investigaciones, en las que de una u otra manera interviene el vacío. Muchas de ellas supusieron una gran controversia entre los defensores de teorías *plenistas* o negadoras del vacío, y los detractores de dichas teorías.

Las distintas concepciones de los estudiantes obtenidas con estas pruebas fueron categorizadas, y con ellas hemos elaborado una primera versión del cuestionario. Esta primera versión contiene doce ítems, con cinco opciones cada uno (a, b, c, d y e), una de la cual es correcta, tres son distractores que recogen las concepciones erróneas procedentes de la antedicha categorización, y la última, la opción e, da la posibilidad de ofrecer una explicación alternativa a las cuatro respuestas ofrecidas. De los tres distractores, dos defienden posiciones claramente *plenistas*.

Una prueba piloto efectuada con tres grupos de estudiantes de diferente nivel académico nos llevó a la eliminación de tres ítems que proporcionaban un coeficiente de correlación con la puntuación total del test (coeficiente de correlación biserial-puntual) muy bajo, y a la modificación de parte de la redacción de algunos de los restantes por los problemas de comprensión que generaron.

La versión definitiva del cuestionario contiene nueve ítems de las mismas características que los citados anteriormente. Estos ítems fueron revisados por los mismos profesores que validaron el contenido conceptual de este estudio. Los nueve ítems del cuestionario se recogen en el Anexo 1.

La tabla 2 nos muestra la vinculación de cada ítem con la situación problemática tratada y con el contenido conceptual expresado en las proposiciones de la Tabla 1.

Tabla 2. Situación problemática tratada en cada ítem y contenido conceptual implicado.

Número de ítem.	Situación problemática	Proposiciones.
1.	Experiencia de Torricelli	8,9,10,11,12
2.	Movimiento en el aire	1,2,3,4,,12
3.	Succión de jeringuilla	11,12,13.
4.	Experiencia de Rutherford	14,15,16
5.	Representación del átomo.	15,16.
6.	Compresión de gases	17,18,19,20 .
7.	Movimiento de la Luna	5,6,7,21,22
8.	Propagación de la luz.	23
9.	Estructura del hielo	24.

3.1.3.Sujetos participantes.

Participaron en nuestra investigación 339 estudiantes valencianos de entre 11 y 17 años pertenecientes a los niveles educativos comprendidos entre primero de la ESO y segundo de Bachillerato: 48 de 1º de ESO, 49 de 2º de ESO, 53 de 3º de ESO, 63 de 4º de ESO, 62 de 1º de Bachillerato y 64 de 2º de Bachillerato. Los estudiantes de primero y de segundo de Bachillerato cursaban la asignatura o asignaturas de Física y Química. Los grupos de los distintos niveles académicos en cada centro fueron escogidos al azar entre los grupos que no habían participado en la prueba piloto.

3.1.4.Procedimiento.

El cuestionario se administró a dos grupos de cada uno de los cursos en sus respectivos centros. Se avisó a los estudiantes de que se trataba de una experiencia educativa y que la calificación obtenida en la prueba sería tomada en cuenta por el profesor. Asimismo, se les señaló la importancia de no dejar ninguna cuestión por responder. Dispusieron de alrededor de cincuenta minutos, aunque la mayoría completó el cuestionario en menos tiempo.

3.1.5.Puntuación de los ítems.

La forma de cuantificar la respuesta que un determinado sujeto da en cada ítem tiene el objetivo principal de detectar si posee o no la concepción científica: puntuamos 1 para la respuesta correcta y 0 para las incorrectas (En la Tabla 3 de la sección 4.2 se indican las respuestas correctas). Por otro lado, nuestra pretensión en caso de respuesta incorrecta, es saber si el sujeto se decanta o no hacia concepciones *plenistas* o negadoras del espacio vacío (recordemos que en cada ítem hay dos distractores que corresponden a estas concepciones). Por ello efectuamos también el cómputo del número de sujetos que escogen respuestas *plenistas* y no *plenistas* en cada ítem.

3.2.Resultados.

Un resumen de las características del instrumento de diagnóstico utilizado para conocer las ideas de los estudiantes de 11 a 17 años sobre el espacio vacío, se da en la Figura 1.

Figura 1. Características del instrumento de diagnóstico empleado.

Situaciones problemáticas analizadas: Experiencia de Torricelli		
	Movimiento en el aire	
	Succión de jeringuilla.	
	Experiencia de Rutherford.	
	Representación del átomo	
	Compresión de gases.	
	Movimiento de la Luna	
	Propagación de la luz	
	Estructura del hielo.	
Contenido basado sobre:	Proposiciones validadas.	
Número de ítems:	9	
Formato de respuesta.	Opción múltiple-cinco opciones.	
Niveles académicos	Entre 1º de ESO y 2º Bachillerato.	
Tiempo para completarlo:	Máximo 50 minutos.	
Índices de discriminación:	Media	Intervalo

	0.29	0.10 - 0.19 (1 ítem)
		0.20 - 0.29 (4 ítems)
		0.30 - 0.39 (2 ítems)
		0.40 - 0.50 (2 ítem)
Indíces de dificultad:	Media	Intervalo
	0.21	0.00 - 0.09 (1 ítem)
		0.10 - 0.19 (4 ítems)
		0.20 - 0.29 (2 ítems)
		0.30 - 0.39 (1 ítem).
		0.40 - 0.50 (1 ítem)
Puntuación media	1.9	
Desviación estándar	1.8	
Coeficiente de fiabilidad		
Fórmula nº 20 de Kuder-Richardson:	0.67	

La Tabla 3 nos muestra la distribución de las frecuencias de las respuestas en cada ítem, la proporción de respuestas correctas y el coeficiente de correlación biserial puntual entre la puntuación en el ítem y la puntuación total en la prueba, que permite llevar un análisis de consistencia interna del instrumento.

	A	B	C	D	E	% Ac.	r _{bp}
Item 1	44*	20+	173+	98	4	13.0	0.26**
Item 2	51+	51*	95+	139	3	15.0	0.30**
Item 3	122+	10	88+	113*	6	33.3	0.35**
Item 4	17*	148+	48+	118	13	8.8	0.20**
Item 5	62+	88*	132+	44	13	26.0	0.43**
Item 6	49+	72+	76*	127	15	28.3	0.41**
Item 7	48+	161*	37+	91	2	47.5	0.18**
Item 8	103	94+	99+	38*	5	11.2	0.25**
Item 9	27	35*	79+	190+	8	10.32	0.21**

*Tabla 3. Distribución de las frecuencias en cada ítem, porcentaje de aciertos y coeficiente de correlación biserial-puntual ítem-puntuación total de la prueba. El * representa la opción correcta del ítem, + representa las opciones explícitamente plenistas, ** señala los que son, como mínimo, estadísticamente significativos en un nivel inferior al 1% (nivel de significación $p < .01$).*

Las correlaciones entre los distintos ítems o matriz de correlaciones se refleja en la Tabla 4. Dado que los ítems del test se han puntuado dicotómicamente, el cálculo de las correlaciones se puede efectuar tanto mediante el coeficiente phi (ϕ) o cuádruple como con el coeficiente producto-momento de Pearson.

	Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5	Item 6	Item 7	Item 8	Item 9
Item 1	1								
Item 2	0.05	1							
Item 3	0.11*	0.07	1						
Item 4	0.09	0.09	0.08	1					
Item 5	0.07	-0.03	0.02	0.13*	1				
Item 6	-0.04	0.05	0.08	-0.08	0.07	1			
Item 7	0.02	0.09	-0.04	0.03	0.06	0.10	1		
Item 8	0.02	0.01	0.07	0.10	-0.03	0.02	-0.09	1	
Item 9	-0.08	0.10	0.01	0.11*	0.15**	0.01	0.06	0.05	1

Tabla 4. Matriz de correlaciones entre ítems. estadísticamente significativo en un nivel inferior al 5%, **estadísticamente significativo en un nivel inferior al 1%.*

Las Figuras 2 , 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10, nos dan los porcentajes de estudiantes plenistas en cada uno de los nueve ítems del cuestionario.

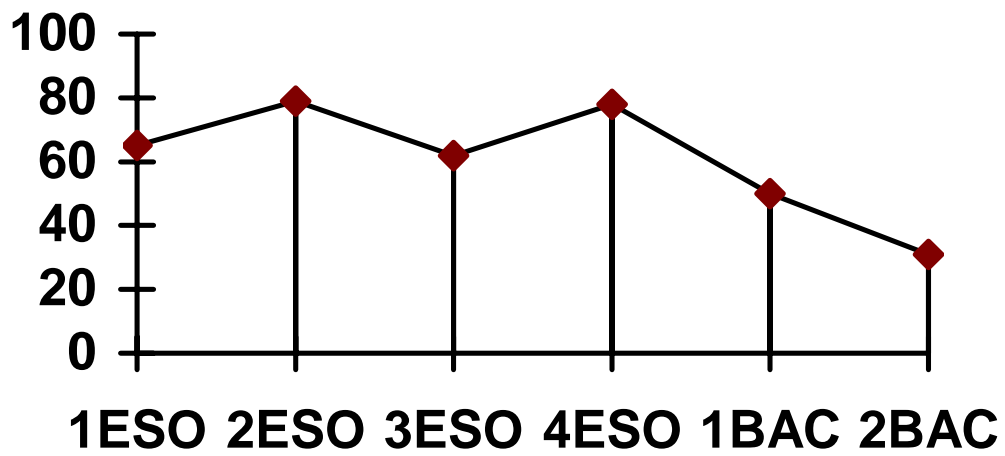
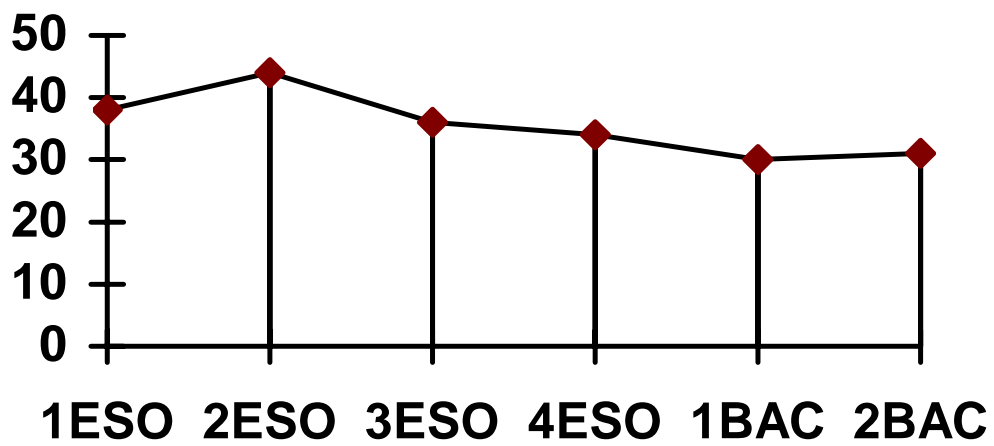
Fig.2 Porcentaje plenista en el ítem 1**Fig.3 Porcentaje plenista en el ítem 2.**

Fig.4 Porcentaje plenista en el ítem 3.

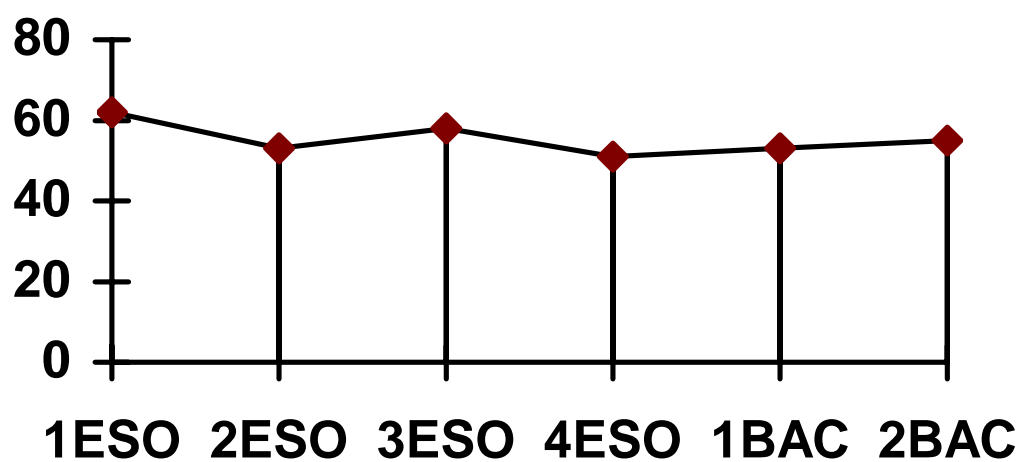


Fig.5 Porcentaje plenista en el ítem 4.

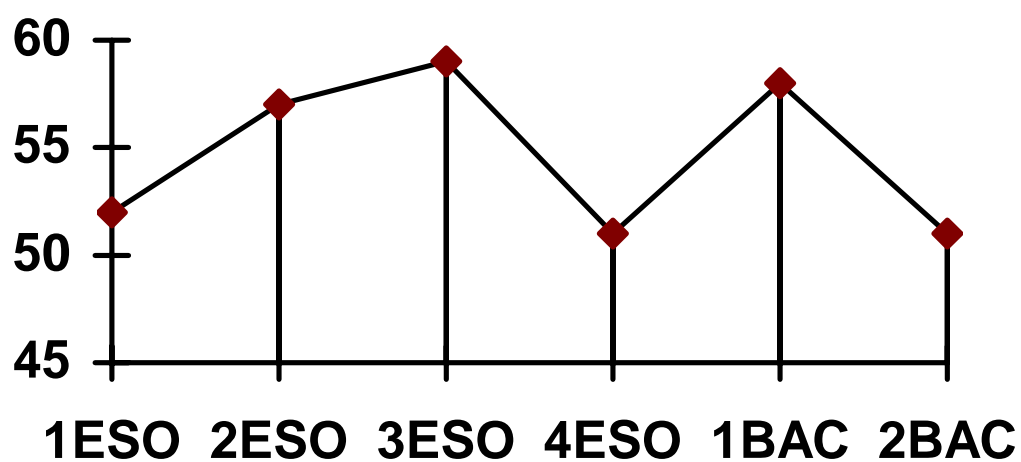


Fig.6 Porcentaje plenista en el ítem 5.

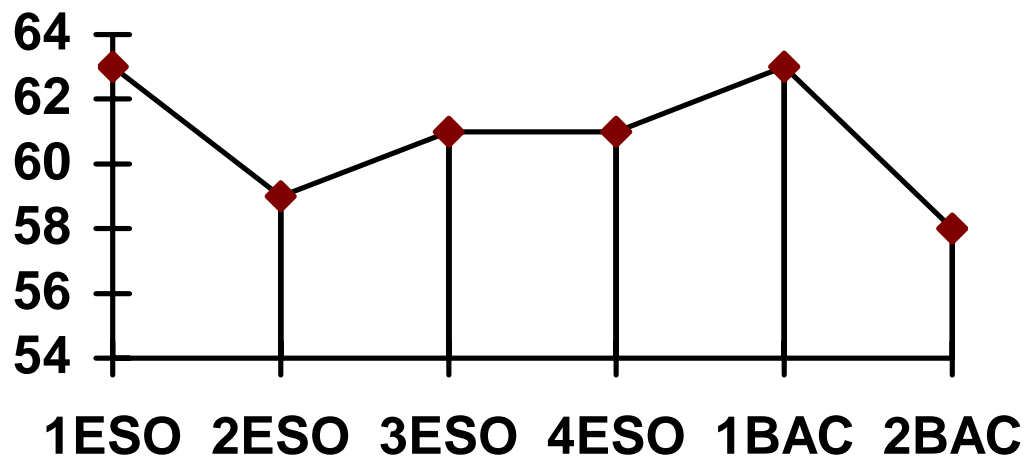


Fig.7 Porcentaje plenista en el ítem 6.

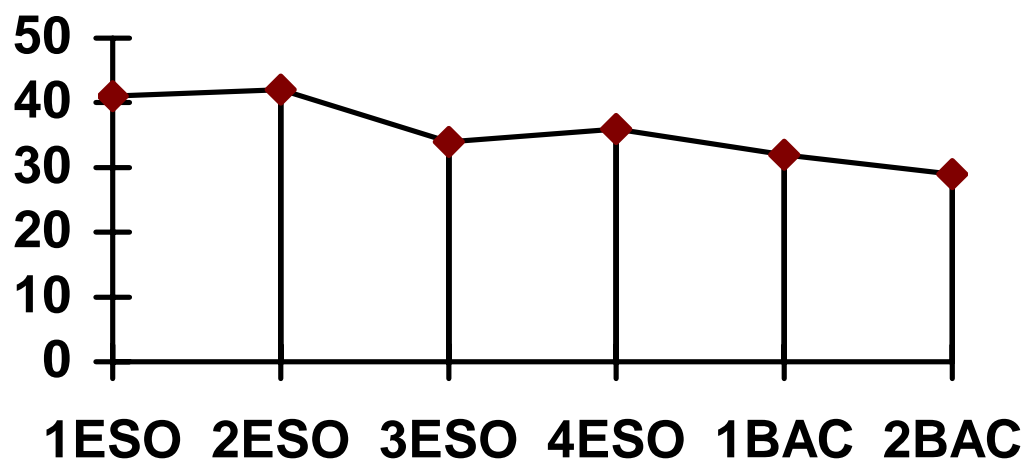


Fig.8 Porcentaje plenista en el ítem 7.

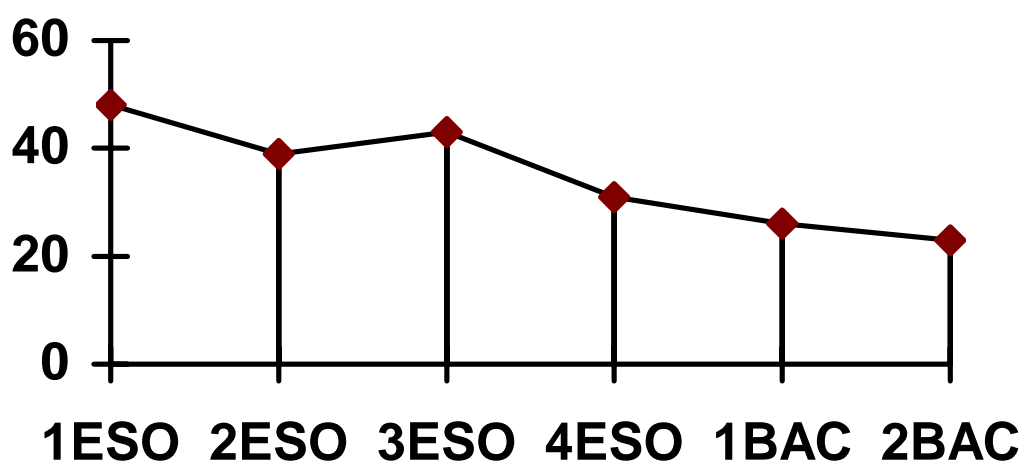


Fig.9. Porcentaje plenista en el ítem 8.

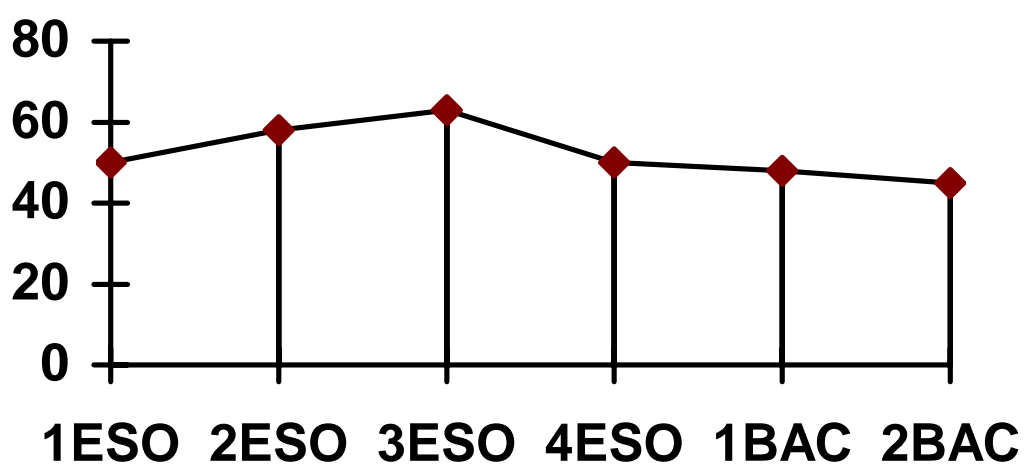
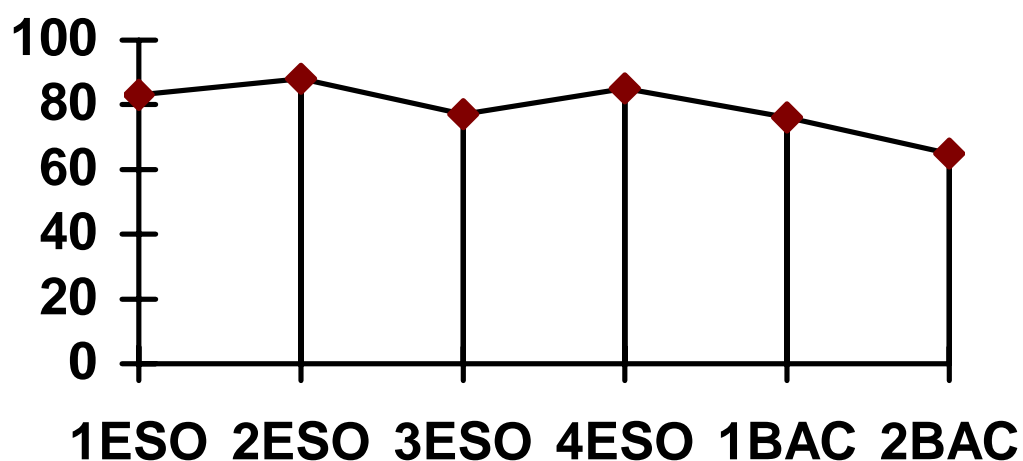


Fig.10 Porcentaje plenista en el ítem 9.



Por otra parte, a partir de las tablas de contingencia confeccionadas con el número de de sujetos plenistas y no plenistas de cada curso académico en cada ítem (tablas de contingencia 6x2, véanse las Tablas 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13), hemos aplicado la prueba estadística χ^2 (chi cuadrado) con el objetivo de analizar la influencia del nivel académico sobre las ideas plenistas. Los resultados se muestran en la Tabla 14.

	1ºESO	2ºESO	3ºESO	4ºESO	1ºBAC	2ºBAC
Plenistas	31	38	33	49	31	20
No Plenistas	17	11	20	14	31	44

Tabla 5. Sujetos plenistas y no plenistas de cada curso en el ítem 1.

	1ºESO	2ºESO	3ºESO	4ºESO	1ºBAC	2ºBAC
Plenistas	18	22	19	21	19	20
No Plenistas	30	27	34	42	43	44

Tabla 6. Sujetos plenistas y no plenistas de cada curso en el ítem 2.

	1ºESO	2ºESO	3ºESO	4ºESO	1ºBAC	2ºBAC
Plenistas	30	26	31	32	33	35
No Plenistas	18	23	22	31	29	29

Tabla 7. Sujetos plenistas y no plenistas de cada curso en el ítem 3

	1ºESO	2ºESO	3ºESO	4ºESO	1ºBAC	2ºBAC
Plenistas	25	28	31	32	36	33
No Plenistas	23	21	22	31	26	31

Tabla 8. Sujetos plenistas y no plenistas de cada curso en el ítem 4.

	1ºESO	2ºESO	3ºESO	4ºESO	1ºBAC	2ºBAC
Plenistas	30	29	32	38	39	37
No Plenistas	18	20	21	24	23	27

Tabla 9. Sujetos plenistas y no plenistas de cada curso en el ítem 5

	1ºESO	2ºESO	3ºESO	4ºESO	1ºBAC	2ºBAC
Plenistas	20	21	18	24	22	21
No Plenistas	28	28	35	39	40	43

Tabla 10. Sujetos plenistas y no plenistas de cada curso en el ítem 6.

	1ºESO	2ºESO	3ºESO	4ºESO	1ºBAC	2ºBAC
Plenistas	23	19	23	20	16	15
No Plenistas	25	30	30	43	46	49

Tabla 11. Sujetos plenistas y no plenistas de cada curso en el ítem 7.

	1ºESO	2ºESO	3ºESO	4ºESO	1ºBAC	2ºBAC
Plenistas	28	25	33	32	30	29
No Plenistas	20	24	20	31	32	35

Tabla 12. Sujetos plenistas y no plenistas de cada curso en el ítem 8.

	1ºESO	2ºESO	3ºESO	4ºESO	1ºBAC	2ºBAC
Plenistas	40	41	41	54	47	45
No Plenistas	8	8	12	9	15	19

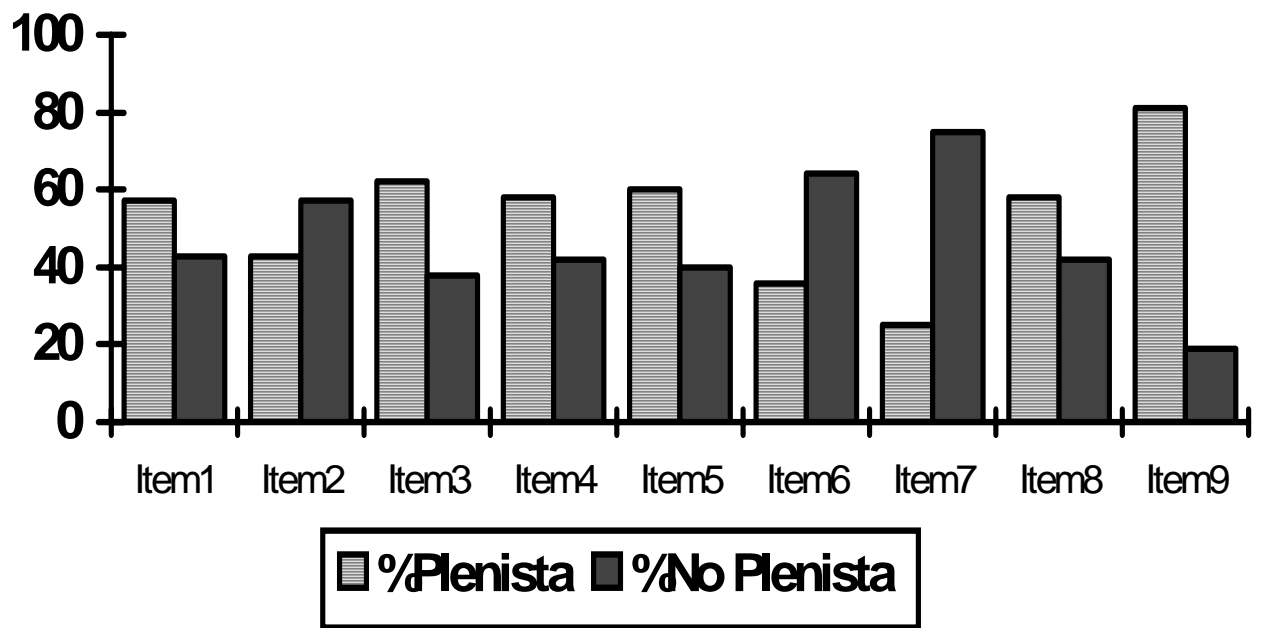
Tabla 13. Sujetos plenistas y no plenistas de cada curso en el ítem 9.

	χ^2 (g.l.=5)	p (nivel de significación)
Item 1	39.6	<.001*
Item 2	3.2	>.05
Item 3	2.0	>.05
Item 4	1.5	>.05
Item 5	0.5	>.05
Item 6	1.9	>.05
Item 7	11.9	<.05*
Item 8	4.5	>.05
Item 9	6.3	>.05

*Tabla 14..Resultados de la aplicación de la prueba χ^2 al número de sujetos plenistas y no plenistas de cada nivel académico en cada ítem.*estadísticamente significativo*

La Figura 11 nos ofrece el porcentaje total de alumnos plenistas en cada uno de los nueve ítems.

Fig.11 Porcentaje total de plenistas y no plenistas en cada ítem.



Por otra parte, la Tabla 15 refleja la aplicación de la prueba estadística χ^2 al número total de sujetos *plenistas* y *no plenistas* en cada uno de los nueve ítems.

	χ^2 (g.l.=1)	p (nivel de significación)
Item 1	6.5	<.05*
Item 2	6.5	<.05*
Item 3	20.3	<.001*
Item 4	8.9	<.01*
Item 5	12.5	<.001*
Item 6	27.8	<.001*
Item 7	84.3	<.001*
Item 8	7.7	<.01*
Item 9	126.4	<.001*

*Tabla 15..Resultados de la aplicación de la prueba χ^2 al número de sujetos plenistas y no plenistas en cada ítem.*estadísticamente significativo*

3.3.Conclusiones.

En relación con las características del cuestionario utilizado, que se recogen en la Figura 1, se desprende que:

- a) Los índices de discriminación de los ítems, que reflejan en qué medida tienden a ser acertados por los que han obtenido mayor puntuación global en el test, son moderados. Tan sólo el ítem 7 genera un índice de discriminación que puede considerarse bajo.
- b) Los ítems son relativamente *difíciles*, a tenor de los valores de los índices de dificultad. A cinco de ellos (ítems 1, 2, 4, 8 y 9) los catalogaríamos de realmente *difíciles*.
- c) El coeficiente de fiabilidad no es alto, pero satisfactorio. Esto es así, por la particularidad del test que, si bien en todos sus ítems siempre aparece implicado el concepto de espacio vacío, en muchos de ellos se tratan situaciones y conceptos asociados que no están relacionados entre sí. Esta circunstancia se ve confirmada por la matriz de correlaciones entre ítems (Tabla 4), que pone de manifiesto la existencia de correlaciones estadísticamente significativas únicamente entre los ítems 1 y 3, 4 y 5, 4 y 9, y 5 y 9. La primera correlación nos indica que la apropiada asimilación del concepto de presión atmosférica requiere de la comprensión de la experiencia

de Torricelli y de la consiguiente aceptación del espacio vacío. Las tres restantes correlaciones revelan la asociación entre la aceptación del vacío intraatómico y el interatómico.

Atendiendo a los porcentajes de alumnos *plenistas* y *no plenistas* que muestra la Fig. 11 y a los valores de la prueba estadística χ^2 reflejados en la Tabla 15, se puede concluir que hay seis ítems (ítems 1, 3, 4, 5, 8 y 9) donde el porcentaje sujetos *plenistas* es significativamente superior al de los *no plenistas*. Por el contrario, en los tres ítems restantes (ítems 2, 6 y 7) se hacen significativas las diferencias en favor de los *no plenistas*.

En consecuencia, parece confirmarse la primera hipótesis de nuestra investigación, que hacía referencia al carácter previsiblemente mayoritario de las ideas *plenistas* entre nuestros estudiantes. Sin embargo, no podemos dejar de destacar los casos en que las concepciones explícitamente *plenistas*, no son mayoritarias. A saber, en el movimiento de cuerpos en el seno de fluidos, en la compresión de los gases y en la interacción Tierra-Luna. Con todo, solamente en este último caso la opción por la que se han decantado los alumnos es la correcta, y en ella se menciona la existencia de una gran zona de espacio vacío entre la Tierra y la Luna.

En cuanto a nuestra segunda hipótesis, en la que expresábamos la escasa influencia de la instrucción científica sobre la modificación de las ideas en torno al concepto de espacio vacío, las figuras que ilustran los porcentajes de *plenistas* en cada nivel académico (Figuras 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10) junto con las pruebas estadísticas correspondientes (Tabla 14) ratifican en su mayoría la veracidad de la misma. Es en la

explicación de la experiencia de Torricelli y del movimiento de la Luna alrededor de la Tierra, donde se deja notar de manera estadísticamente significativa el efecto de la formación científica recibida por los alumnos. Además, esto último se hace más patente a partir de primero de Bachillerato, curso en el cual se inicia una ostensible reducción del porcentaje de estudiantes que escogen opciones *plenistas* en la explicación de ambas situaciones problemáticas.

Seguidamente, haremos referencia a las similitudes entre las ideas de los estudiantes y las que se defendieron en determinados momentos de la historia. En primer lugar, destacaremos que el gran porcentaje de alumnos *plenistas* encontrado advierte, con carácter general, de una cierta resistencia a admitir que el espacio pueda estar vacío. Esta resistencia puesta de manifiesto por los estudiantes de diferentes edades es equiparable a la que se ofreció a lo largo de la historia de la ciencia. Recordemos, a este respecto, que se hubo de esperar hasta comienzos del siglo XX para que la comunidad científica aceptase la posibilidad de que el espacio estuviese vacío de materia permanente.

En segundo lugar, señalaremos el relevante número (y porcentaje) de sujetos que han elegido interpretaciones que se ajustan exactamente a esquemas conceptuales mantenidos en determinados momentos de la historia de la ciencia, y que no son aceptados en la actualidad. Así, tenemos que:

- En el ítem 1, 98 sujetos (28.9%) piensan que el vacío ejerce una fuerza de succión que impide que caiga el mercurio en la experiencia de Torricelli (opción d). En el ítem 3, 122 sujetos (35.9%) creen que el vacío succiona el

líquido en una jeringuilla (opción a). En ambos casos se le otorga al vacío la capacidad de ejercer una fuerza de atracción. Esta misma idea fue defendida por el escolástico Gil de Roma, y compartida por el mismo Galileo.

- En el ítem 2, 95 sujetos (28%) sostienen, como lo hacía Aristóteles, que es el propio aire el que mueve un objeto en su seno (opción c).
- En el ítem 5, 62 estudiantes (18.3%) tienen una visión del átomo como partícula compacta (opción a). Esta misma imagen del átomo la tenían los griegos Leucipo y Demócrito, y se mantuvo inalterada hasta la formulación del modelo atómico de Rutherford.
- En el ítem 6, 49 alumnos (14.5%) piensan, como lo hacía Black en el siglo XVIII, que la compresión de un gas libera la atmosfera de calor que envuelve las moléculas (opción a); y 72 alumnos (21.2%) proponen un modelo de gases (opción b) que es muy parecido a uno de los dos que Boyle formuló en el siglo XVII para explicar la compresibilidad de los gases, el de las moléculas gaseosas comportándose como muelles.
- En el ítem 7, 48 sujetos (14.2%) consideran la necesidad de un medio material, gases en este caso, para transmitir la atracción gravitatoria (opción a). Esa misma idea ya fue propuesta por Aristóteles, y posteriormente la recogió Descartes en su teoría de los torbellinos.

- En el ítem 8, 94 estudiantes (27.7%) conciben la luz de la misma manera que Newton: como un movimiento vibratorio que al igual que el sonido sólo se propaga a través de un medio material (opción b).

Con todo ello, nuestra tercera hipótesis que afirmaba que:

Encontraremos en bastantes casos que las concepciones de los estudiantes ante situaciones donde intervenga de un modo u otro el concepto de espacio vacío tienden a coincidir con las mantenidas por algunos científicos de épocas pasadas.

debe ser modificada, atendiendo a los datos proporcionados anteriormente, para quedar redactada como conclusión de nuestra investigación de la siguiente forma:

Existe una destacable cantidad de estudiantes, aunque minoritaria, que ante situaciones donde interviene de un modo u otro el concepto de espacio vacío sostienen concepciones que coinciden con las de algunos científicos de épocas pasadas.

3.4. Implicaciones didácticas y problemas abiertos.

De las conclusiones obtenidas se constata, con las lógicas limitaciones impuestas por el diseño experimental, que las concepciones *plenistas* que defienden los estudiantes se erigen en un verdadero *obstáculo epistemológico*, comparable al que supusieron dichas concepciones en la historia de la ciencia. En nuestra opinión, estas concepciones *plenistas* de los estudiantes son predominantemente fruto de modelos mentales contruidos a partir de los datos procedentes de la percepción sensitiva, aunque también son parcialmente inducidas por el sistema educativo. Además, dichas concepciones les pueden impedir la adecuada asimilación de otros conceptos. Consecuentemente, se deriva de todo ello la necesidad de un tratamiento didáctico especial para el concepto de espacio vacío.

Nosotros ofrecemos aquí un conjunto de textos históricos (Ver Anexo 2) como una primera propuesta de materiales que nos pueden servir en el tratamiento didáctico del concepto de vacío. Se trataría de llevar a cabo un comentario de los textos de tal manera que el alumno confrontara sus esquemas de conocimiento con los que plantea el texto en cuestión. Finalmente, se debería abordar atendiendo a las concepciones aceptadas hoy en día por la comunidad científica, poniendo de relieve las deficiencias de otros esquemas conceptuales. Por otra parte, también es posible elaborar actividades tanto de carácter teórico como experimental a partir de la información contenida en dichos textos.

Tras la realización de este estudio quedan pendientes varias cuestiones. En primer lugar, sería necesario repetir el estudio que hemos realizado pero tomando como población a estudiar el colectivo de profesores que imparten ciencias fisicoquímicas en toda la franja académica seleccionada. En segundo lugar, se debería de hacer un análisis exhaustivo de un gran número de libros de texto con el objetivo de extraer y catalogar los errores conceptuales que aparecen en ellos en relación con el espacio vacío. En tercer y último lugar, se tendría que investigar el efecto del uso de materiales específicos en el tratamiento del concepto de espacio vacío, tales como los aquí propuestos u otros, sobre los esquemas de conocimiento de nuestros estudiantes.

4.BIBLIOGRAFÍA.

Andersson, B. (1990) Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16).

Studies in Science Education, 18, 53-85.

Ausubel, D.P., Novak, J.D. & Hanesian, H.(1986) *Psicología Educativa*. México: Trillas.

Bachelard, G. (1983) *La formation de l'esprit scientifique*. Paris:Librairie Philophique J. Vrin.

Bar, V., Zinn, B., Goldmuntz, R. & Sneider, C. (1994) Children's concepts about weight and free fall. *Science Education*, 78, 149-169.

Benson, D.L., Wittrock, M.C. & Baur, M.E. (1993) Students' preconceptions of the nature of gases. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 587-597.

Carey, S. (1986) Cognitive Science and Science Education. *American Psychologist*, 41, 1123-1130.

Cassels, J.R.T. & Johnstone, AH. (1984) The effect of language on student performance on multiple choice tests in Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 61, 613-615.

Driver, R. & Oldham, V. (1986) A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, 13, 105-122.

Driver, R., Guesne, E. & Tiberghien, A. (1989) *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: MEC/Morata.

- Duschl R.A., Hamilton, R. & Grandy, R.E. (1990) Psychology and epistemology: match or mismatch when applied to science education. *International Journal of Science Education*, 12, 230-243.
- Fillon, P. (1991) Histoire des sciences et réflexion épistémologique des élèves, *Aster*, 12, 91-120.
- Franco, C. & Colinviaux-de-Dominguez, D. (1992) Genetic epistemology, history of science and science education. *Science & Education*, 1, 255-271.
- Furió, C. & Guisasola, J. (1993) ¿Puede ayudar la historia de la ciencia a entender por qué los estudiantes no comprenden los conceptos de carga y potencial eléctricos?. *Revista Española de Física*, 7, 46-50.
- Gagné, R.M. (1987) *Las condiciones del aprendizaje*. México: Trillas.
- Giere, R. (1988) *Explaining Science: A cognitive approach*. Chicago: The University Chicago Press.
- Gil, D. (1993) Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11, 197-212.
- Gilbert, J.K. & Zyberstajn, A. (1985) A conceptual framework for science education: the case study of force and movement. *European Journal of Science Education*, 7, 107-120.
- Griffiths, A.K. & Preston, K.R. (1992) Grade-12 Students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 611-628.
- Hodson, D. (1986) Multiple choice tests -are four options as good as five?. *Education in Chemistry*, 23 (May), 84-86.

- Kuhn, D. (1989) Children and adults as intuitive scientists. *Psychological Review*, 96, 674-689.
- Kuhn, T.S. (1987 a) *La estructura de las revoluciones científicas*. Madrid: F.C.E.
- Kuhn, T.S. (1987 b) Los conceptos de causa en el desarrollo de la física. En T.S. Kuhn, *La tensión esencial*, 46-55. México: Fondo de Cultura Económica.
- Kuhn, T.S. (1989) *Qué son las revoluciones científicas y otros ensayos*. Barcelona: Paidós/ ICE-UAB.
- Llorens, J.A. (1988) La concepción corpuscular de la materia. Obstáculos epistemológicos y problemas de aprendizaje. *Investigación en la Escuela*, 4, 33-48.
- Llorens, J.A., De Jaime, M.C. & Llopis, R. (1989) La función del lenguaje en un enfoque constructivista del aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 7, 111-119.
- Matthews, M.R. (1990) History, philosophy and science teaching: a rapprochement. *Studies in Science Education*, 18, 25-51.
- Matthews, M.R. (1991) Un lugar para la historia y la filosofía en la enseñanza de las ciencias. *Comunicación, lenguaje y educación*, 11-12, 141-155.
- Matthews, M.R. (1994) Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 12, 255-277.
- Moreira; M.A. & Lang ds Silveira, F. (1993) *Instrumentos de pesquisa em ensino e aprendizagem*. Porto Alegre: EDIPUCRS.
- Nardi, R. (1994) História da ciência x aprendizagem: algumas semelhanças detectadas a partir de um estudo psicognético sobre as idéias que evoluem para a noção de campo de força. *Enseñanza de las ciencias*, 12, 101-106.

- Nersessian, N.J. (1989) Conceptual change in science and in science education. *Synthese*, 80, 163-183.
- Nussbaum, J. (1989) La constitución de la materia como conjunto de partículas en la fase gaseosa. En R. Driver, E. Guesne & A. Tiberghien (Eds.) *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: MEC/Morata.
- Osborne R. & Freyberg, P. (1991) *El aprendizaje de las ciencias*. Madrid: Narcea.
- Pereira, M.P. & Pestana, M.E.M. (1991). Pupils' representations of models of water. *International Journal of Science Education*, 13, 313-319.
- Pessoa de Carvalho, A.M. & Castro, R.S (1992) La historia de la ciencia como herramienta para la enseñanza de la física en secundaria: un ejemplo en calor y temperatura. *Enseñanza de las Ciencias*, 10, 289-294.
- Peterson, R.F., Treagust, D.F. & Garnett, P. (1989) Development and application of a diagnostic instrument to evaluate grade-11 and -12 students' concepts of covalent bonding and structure following a course of instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 26, 301-314.
- Piaget, J. (1970) *La epistemología genética*. Barcelona: Redondo.
- Piaget, J. (1974) *Introduction a l'epistemologie genetique*. Paris: P.U.F.
- Piaget, J. (1979) *Seis estudios de psicología*. Barcelona: Seix Barral
- Piaget, J. & Garcia, R. (1982). *Psicogénesis e historia de la ciencia*. México: Siglo veintiuno editores.
- Pozo, J.A., Sanz, A., Gómez Crespo, M.A. & Limón, M. (1991) Las ideas de los alumnos sobre la ciencia: una interpretación desde la psicología cognitiva. *Enseñanza de las Ciencias*, 9, 83-94.
- Renström, L., Andersson, B. & Marton, F. (1990) Students' conceptions of matter. *Journal of Educational Psychology*, 82, 555-569.

- Rumelhart, D.E. (1980) Schemata: the building of blocks of cognition. En R. J. Spiro, B.C. Bruce, W.F. Brewer (Eds.), *Theoretical issues in reading comprehension*. Hillsdale: Erlbaum.
- Saltiel, E. & Viennot, L. (1985) ¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontáneo de los estudiantes?. *Enseñanza de las Ciencias*, 3, 137-144.
- Schank, R.C., Abelson, R. (1977) *Plans, scripts, goals and understanding*. Hillsdale: Erlbaum.
- Sequeira, M. & Leite, L. (1991) Alternative conceptions and history of science in physics teacher education. *Science Education*, 75, 45-56.
- Séré, M.G. (1989) El estado gaseoso. En R. Driver, E. Guesne & A. Tiberghien (Eds.) *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: MEC/Morata.
- Solaz-Portolès, J.J. (1994) *Análisis de las interacciones entre variables textuales, conocimiento previo del lector y tareas en el aprendizaje de textos educativos de Física y Química*. Tesis Doctoral, Servei de Publicacions de la Universitat de València.
- Solaz-Portolès, J.J. (1996). Diagramas: ¿Ilustraciones eficaces en la instrucción en ciencias?. *Educación Química*, 7, 145-149.
- Solomon, J. (1987) Social influences on the construction of pupils' understanding of science. *Studies in Science Education*, 14, 63-82.
- Treagust, D.F. (1988) Development of and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science. *International Journal of Science Education*, 10, 159-169.
- Treagust, D.F. (1991) Assessment of students' understanding of science concepts using diagnostic instruments. *Australian Science Teachers Journal*, 37, 40-43.

- Wandersee, J.H. (1986) Can the history of science help science educators anticipate students' misconceptions?. *Journal of Research in Science Teaching*, 23, 581-597.
- West, L.H.T. & Pines, A.L. (1985) *Cognitive structure and conceptual change*. Orlando: Academic Press.

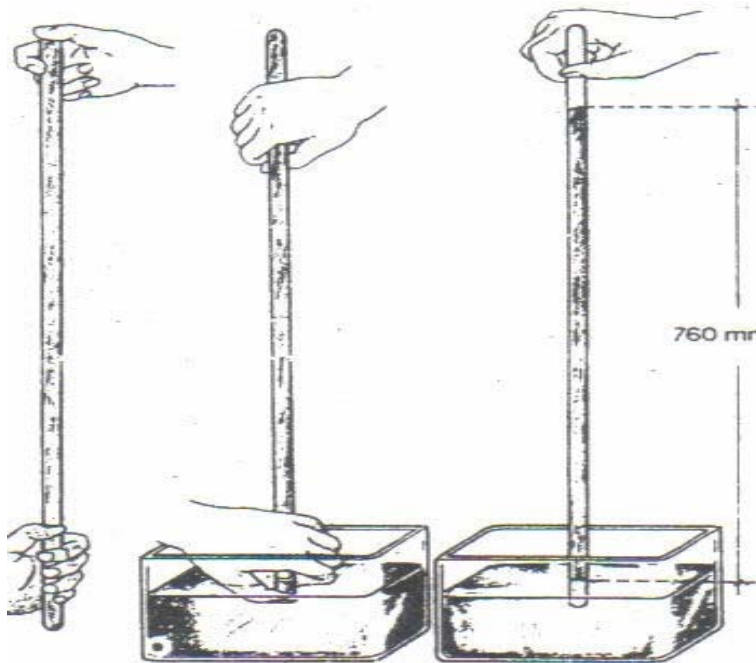
5.1 ANEXO 1. CUESTIONARIO.

Nombre y apellidos.....

Grupo.....

Marca la respuesta que creas correcta. Si piensas que ninguna lo es, propón tú una respuesta.

1.En el dibujo se muestra el resultado de llenar con mercurio un tubo de vidrio cerrado por un extremo, taparlo por el extremo abierto, introducirlo invertido dentro de una cubeta llena también de mercurio, y destaparlo.



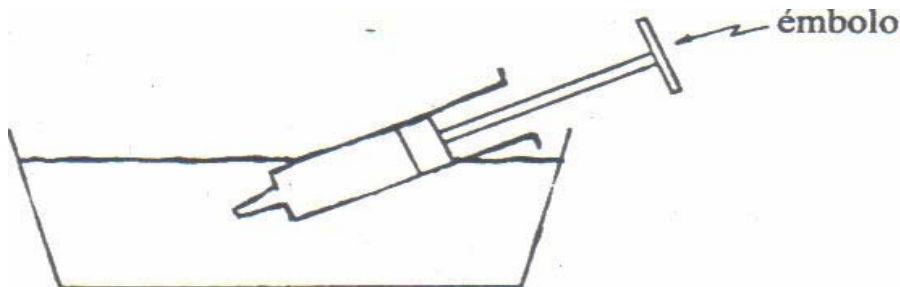
El nivel de mercurio en el tubo ha bajado, y por ello en la parte superior del tubo invertido:

- a. Hay espacio vacío.
- b. Hay alguna sustancia que impide que baje el mercurio totalmente.
- c. Actúa la presión atmosférica por el aire que se queda en el interior.
- d. El vacío existente permite que no caiga totalmente el mercurio.
- e. Otra cosa (señálala)

2. ¿Cómo explicas que se pueda mover un objeto en el interior de un fluido como es el aire?.

- a. El objeto conserva la fuerza ejercida sobre él durante el lanzamiento gracias al aire que va llenando los huecos que deja en el espacio.
- b. El objeto tiene energía suficiente para desplazarse en el aire.
- c. El objeto en movimiento comprime el aire que tiene delante y se queda sin aire detrás, por lo que el aire comprimido circula hacia la parte posterior del objeto y lo empuja.
- d. La fuerza total actuante sobre el objeto es distinta de cero y dirigida en la dirección del movimiento.
- e. Otra explicación (escríbela)

3. En la figura adjunta se muestra una jeringuilla que, por elevación de su émbolo, ha succionado líquido.



¿Por qué se llena la jeringuilla de líquido?.

- a. El émbolo desaloja aire y crea un vacío que aspira el líquido.
- b. El émbolo arrastra una capa de líquido que, a su vez, tira de las otras capas de líquido.
- c. El movimiento del émbolo deja un espacio vacío entre el émbolo y el líquido, que el líquido tiende a llenar.
- d. El líquido entra en la jeringuilla cuando asciende el émbolo por efecto de la presión atmosférica actuante sobre la superficie libre del líquido en la cubeta.
- e. Otra explicación (escríbela).

4. En una experiencia se lanzan partículas de carga positiva con gran velocidad sobre una finísima lámina metálica, observándose que la mayoría de partículas atraviesan la lámina. ¿Qué interpretación das tú para este experimento?.

- a. La lámina está constituida fundamentalmente por espacio vacío.
- b. Las partículas chocan contra los núcleos y electrones de los átomos metálicos, que están juntos sin dejar espacios libres, desplazándolos de sus posiciones.
- c. Por la gran energía de las partículas, éstas consiguen perforar la estructura continua y compacta de la lámina.
- d. Las partículas rompen los enlaces entre átomos metálicos.
- e. Otra interpretación (escríbela),

5. ¿Qué representación del átomo piensas que es más correcta?

- a. Una esfera homogénea y compacta que contiene protones, neutrones y electrones en su interior.
- b. Un núcleo de carga positiva, constituido por protones y neutrones, y a su alrededor electrones moviéndose en un gran volumen vacío.
- c. Un núcleo de protones y neutrones, y alrededor de éste electrones que, junto a otras partículas, ocupan todo el espacio disponible en el átomo.
- d. Un núcleo con protones y neutrones, y un conjunto de niveles energéticos que van llenando los electrones.
- e. Otra representación (escríbela).

6. Cuando se comprime rápidamente un gas por reducción del volumen del recipiente que lo contiene se produce un incremento de la temperatura. Esto es debido a que:

- a. Las moléculas gaseosas están rodeadas de una atmósfera de calor que cuando el gas se comprime y las moléculas se acumulan en un mínimo espacio, se libera.
- b. Cuando un gas se comprime sus moléculas, que están juntas, se reducen de tamaño con lo que se libera energía en forma de calor.
- c. Por el aumento de la presión las moléculas gaseosas, que se encuentran separadas por una gran distancia, se aproximan entre sí y aumentan su velocidad.
- d. La reducción del volumen del recipiente hace que las moléculas de gas reduzcan su distancia de separación, con el consiguiente aumento de las fuerzas atractivas entre moléculas y liberación de energía en forma de calor.
- e. Otra razón (escríbela).

7. El movimiento de la Luna alrededor de la Tierra se debe a :

- a. Los gases existentes en todo el espacio entre ambos cuerpos celestes que permiten que la atracción gravitatoria de la Tierra se transmita hasta la Luna.
- b. La fuerza de atracción gravitatoria Tierra-Luna que actúa a través de la gran zona de vacío existente entre ambos astros.
- c. La suma de todas las fuerzas ejercidas sobre la Luna por la materia dispersa en todo el espacio comprendido entre la Tierra y la Luna.
- d. La anulación entre sí de las dos fuerzas que actúan sobre la Luna: la atracción gravitatoria y la fuerza centrífuga .
- e. Otra razón (escríbela).

8.La luz puede considerarse como:

- a.Líneas de energía o materia luminosa que unen el foco luminoso y el observador siguiendo una línea recta.
- b.Una onda que, como el sonido, se propaga únicamente a través de un medio material: aire, agua, etc.
- c.Partículas que se mueven gracias a las sustancias que se encuentran entre el foco luminoso y el observador.
- d.Una onda que se propaga en el espacio vacío.
- e.Otra cosa (escríbela).

9.Un trozo de hielo está constituido por:

- a.Una gran molécula en donde los átomos de hidrógeno y oxígeno se enlazan entre sí, de modo que hay el doble de átomos de hidrógeno que de oxígeno.
- b.Moléculas de agua enlazadas de manera que forman una estructura que deja mucho espacio vacío.
- c.Moléculas de agua que están tocándose unas a otras sin dejar ningún hueco.
- d.Moléculas de agua enlazadas entre sí formando un conglomerado que no deja espacios vacíos.
- e.Otra cosa (escríbela).

5.2 ANEXO 2. TEXTOS HISTÓRICOS.

Texto 1: Texto de Estratón.

La ciencia de la neumática era tenida en gran estima por todos los filósofos e ingenieros de la antigüedad: los primeros se ocuparon de deducir lógicamente sus principios; los segundos, de determinarlos mediante pruebas experimentales. En el presente libro nos hemos sentido obligados a suministrar una exposición ordenada de los principios establecidos de la ciencia, y a sumarles nuestros propios descubrimientos. Esperamos en esta forma ser útiles a los futuros estudiantes de la materia.

Sin embargo, antes de empezar con los particulares de nuestra exposición, queda un tópico general por discutir, a saber, la naturaleza del vacío. Algunos autores niegan enfáticamente su existencia. Otros dicen que en condiciones normales no hay cosa tal como un vacío continuo, sino que existen pequeños vacíos en estado de dispersión en el aire, el agua, el fuego y otros cuerpos. Ésta es la opinión a la cual debemos adherirnos. Procederemos ahora a demostrar mediante pruebas experimentales que esta interpretación del asunto es verdadera.

Debemos ante todo corregir una ilusión popular. Debe entenderse claramente que las vasijas tomadas generalmente por vacías no lo están en realidad, sino que se encuentran llenas de aire. Ahora bien, en la opinión de los filósofos naturales, el aire consta de menudas partículas de materia, en su mayoría invisibles para nosotros. De acuerdo con esto, si uno echa agua en una vasija aparentemente vacía, sale de ella

un volumen de aire igual al volumen del agua que se le ha vertido. Para demostrarlo, haz el siguiente experimento. Toma una vasija aparentemente vacía. Vuélvela boca abajo, procurando que se mantenga en posición vertical, e introdúcela en un recipiente con agua. Aunque la hagas penetrar hasta que se halle completamente cubierta, el agua no entrara en ella. Esto demuestra que el aire es una cosa material, que impide que el agua penetre en la vasija, porque él ha ocupado previamente todo el espacio disponible. Luego, haz un orificio en la base de la vasija. El agua penetrará por la boca mientras el aire se escapa por dicho orificio. Pero antes de perforar la base levanta la vasija verticalmente, sácala del agua, vuélvela boca arriba y examínala, y verás que su interior ha permanecido perfectamente seco. Esto demuestra que el aire es una sustancia corpórea.

El aire se convierte en viento al ser puesto en movimiento. El viento es simplemente aire en movimiento. Si una vez perforada la base de la vasija introduces ésta en el agua, manteniendo tu mano cerca del orificio, sentirás que el viento se escapa de la vasija. éste no es sino el aire expulsado por el agua. Por lo tanto, no debes suponer que existe un vacío continuo entre las cosas, sino que existen pequeños vacíos en estado disperso en el aire, el agua y otros cuerpos. Esto debe ser entendido en el sentido de que las partículas de aire, aunque estén en recíproco contacto, no encajan completamente unas en otras. Dejan entre sí espacios vacíos, como la arena en la playa. Los granos de arena pueden ser comparados con las partículas de aire, y el aire entre los granos de arena ha de compararse con el vacío entre las partículas de aire.

Como consecuencia de esta estructura física del aire, éste puede, cuando se le aplica una fuerza externa, ser comprimido y alojado en los espacios vacíos, al ser apretadas sus partículas en forma contraria a la naturaleza. Cuando disminuye la presión, vuelve a su estado anterior, gracias a la elasticidad de las partículas. De modo similar, si la aplicación de alguna fuerza motiva la mutua separación de las partículas y la creación de espacios vacíos entre ellas mayores que los naturales en condición normal, su tendencia es volver a juntarse nuevamente. La razón de esto es que el movimiento de las partículas se hace más rápido a través del vacío, por no haber nada que lo impida o le oponga resistencia hasta que las partículas vuelven a establecer contacto entre si.

Veamos la siguiente demostración experimental de la antedicha teoría. Toma una vasija liviana, con boca estrecha; succiona el aire de su interior y aparta tus manos de ella. La vasija continuará suspendida de tus labios, porque el vacío tenderá a absorber la carne para ocupar el espacio vacuo. Esto demuestra que vacío continuo ha sido creado en la vasija. He aquí otra prueba de esto. Los médicos tienen vasos de vidrio con bocas estrechas a los que llaman *huevos*. Cuando quieren llenarlos con un líquido succionan el aire de su interior, ponen los dedos en la boca del vaso y lo introducen invertido en el líquido. Éste es entonces atraído hasta llenar el espacio vacío, pese a que un movimiento hacia arriba es antinatural en un líquido.

Volvamos ahora a los que niegan terminantemente la existencia del vacío. Es posible, desde luego, que ellos descubran muchos argumentos para replicar a lo que se ha dicho, y en ausencia de demostración experimental alguna, podría parecer que su lógica conquista una fácil victoria. Les

demostraremos, por lo tanto, mediante fenómenos susceptibles de ser sometidos a observación dos hechos, a saber: 1) que hay cosa tal como un vacío continuo, pero que sólo existe en forma contraria a la naturaleza, y 2) que el vacío existe también de acuerdo con la naturaleza, pero sólo en cantidades pequeñas y dispersas. También les demostraremos que al ser comprimidos los cuerpos rellenan esos vacíos dispersos. Tales demostraciones no dejarán escapatoria a estos gimnastas verbales.

Para nuestra demostración necesitaremos una esfera metálica de una capacidad aproximada de un par de litros, construida con una lámina de metal lo suficientemente gruesa como para resistir cualquier tendencia a aplastarse. Esta esfera debe ser hermética al aire. Un tubo de cobre, un caño de poco diámetro, debe ser insertado en la esfera de modo que no toque el punto diametralmente opuesto al de entrada, sino que deje lugar para el paso del agua. Este tubo debe sobresalir de la esfera como medio palmo. La parte de la esfera que rodea al punto de inserción del tubo debe ser soldada de modo que caño y esfera presenten una superficie continua. Deberá eliminarse la posibilidad de que el aire introducido forzosamente en la esfera al soplar pueda escaparse por alguna resquebrajadura.

Ahora, analicemos en detalle las condiciones del experimento. Desde un principio hay aire en la esfera, lo mismo que en todas las vasijas popularmente llamadas vacías, y el aire llena todo el espacio cerrado y se aprieta constantemente contra la pared que lo contiene. Ahora bien, de acuerdo con los lógicos, al no haber ningún espacio absolutamente desocupado, debería resultar imposible introducir agua, o más aire, salvo que se desplazara algo del aire ya contenido en el recipiente. Por otra

parte, si se intentara introducir en él por la fuerza aire o agua, hallándose lleno de antemano, estallaría antes que admitirlo. Muy bien. ¿Qué es lo que en realidad sucede? Aquel que pone los labios en el tubo puede introducir soplando una gran cantidad de aire en la esfera sin que se escape porción alguna del que ya estaba en el interior. Esto mismo volverá a suceder cuantas veces se repita el experimento, y constituye una prueba evidente de que las partículas de aire de la esfera son constreñidas a penetrar en los espacios vacíos que había entre ellas. Esta contracción es contraria a las leyes de la naturaleza, siendo consecuencia de la introducción forzada de aire. Por otra parte, si una vez que se ha soplado se obtura rápidamente el caño con un dedo, el aire permanece comprimido en la esfera. Pero al sacar el dedo, el aire que estaba forzado en el interior sale de inmediato, ruidosa y violentamente, al ser expulsado por la expansión del aire interior, debido a su elasticidad.

Si se intenta el experimento inverso, una gran cantidad del aire contenido en la esfera puede ser succionado sin que otro aire alguno penetre para reemplazarlo, como vimos anteriormente en el caso del *huevo*. Éste experimento demuestra de modo terminante que en la esfera tiene lugar la formación de un vacío continuo. De aquí se concluye que los espacios vacíos están dispersos entre los intersticios de las partículas de aire, y que cuando se fuerza, el aire es introducido en esos espacios vacíos, mediante una compresión contraria a la naturaleza. La existencia de un vacío continuo contrario a la naturaleza ya ha sido demostrada mediante la adherencia de un recipiente liviano a los labios, y mediante el ejemplo de los *huevos*, utilizados por los médicos. Muchos otros experimentos podrían aducirse sobre la naturaleza del vacío, pero con éstos bastará, pues se fundan en la evidencia de fenómenos

observables. Resumiendo, pues, podemos decir que todo cuerpo está formado de partículas pequeñísimas de su propio material, entre las cuales se hallan esparcidos espacios vacíos más pequeños que sus partes. Sólo mediante un abuso del lenguaje podría sostenerse que, en ausencia de fuerza, no existe en absoluto vacío, sino que todo está lleno de aire, o agua, o alguna otra sustancia, y que sólo en la medida que una de esas sustancias se desplaza puede otra pasar a ocupar el espacio vacío.

Texto 2: Texto de Descartes.

En primer lugar, supongo que el agua, la tierra, el aire y cuantos cuerpos nos rodean están compuestos de diversas y pequeñas partes de figuras y tamaños diferentes, que jamás están tan bien ordenadas ni tan perfectamente unidas como para que no existan espacios en torno a cada una de ellas; asimismo, supongo que éstos no están vacíos, sino repletos de aquella materia sutil por medio de la cual he explicado antes que se comunicaba la acción de la luz. En segundo lugar, supongo que las pequeñas partes de las que el agua está compuesta son largas, ligeras y deslizantes como pequeñas anguilas que, aunque se unan y se entrelacen, esto no se realiza en modo tal que no puedan ser fácilmente separables; por el contrario, casi todas las partes, tanto de la tierra como del aire y de la mayor parte de los otros cuerpos tienen formas muy irregulares y desiguales, de suerte que no pueden estar mínimamente unidas sin que se junten y entrelacen unas con otras, tal como sucede con las diversas ramas de los arbustos que crecen juntos en un seto; unidas de este modo dan lugar a la formación de cuerpos duros como la tierra, la madera u otros parecidos. Por el contrario, si están simplemente amontonadas unas sobre otras, muy poco o nada entrelazadas y, a la vez, son tan pequeñas que pueden ser fácilmente reblandecidas y separadas por la agitación de la materia sutil que las rodea, deben ocupar mucho espacio y formar cuerpos líquidos muy raros y muy ligeros, como los aceites y el aire. En tercer lugar, se debe pensar que la materia sutil que rellena los espacios existentes entre las partes de estos cuerpos es de tal naturaleza que no cesa jamás de moverse en todas direcciones con

gran velocidad, aunque no sea exactamente la misma en todos los lugares y en todos los instantes, pues su velocidad es un poco mayor sobre la superficie de la tierra que en la altura del aire donde se encuentran las nubes y superior en los lugares próximos al ecuador que en los polos y, en el mismo lugar, es más alta en el verano que en el invierno y durante el día que durante la noche. La explicación de esto es evidente, si suponemos que la luz no es sino un cierto movimiento o acción en virtud de la cual los cuerpos luminosos empujan a esta materia sutil hacia cualquier punto alrededor de ellos y en línea recta, tal como ha sido explicado en la Dióptrica. De esto se deduce que los rayos del sol, tanto los incidentes como los reflejados, la deben agitar más durante el día que durante la noche, más en verano que en invierno, más bajo el ecuador que bajo los polos y más cerca de la tierra que a la altura de las nubes. En cuarto lugar, es preciso pensar que esta materia sutil está compuesta de diversas partes que, aunque todas sean muy reducidas, sin embargo, siempre lo son mucho menos unas que otras; a su vez, las más grandes o, hablando con más precisión, las menos pequeñas tienen siempre la fuerza mayor tal como generalmente sucede, pues los grandes cuerpos tienen una fuerza mayor que los más pequeños, cuando han sido alterados con igual intensidad. Por tanto, cuanto menos sutil sea esta materia, es decir, cuanto menos pequeñas sean las partes de que está compuesta, mayor agitación puede producir en las partes de los otros cuerpos. Por esta misma razón se encuentra la menos sutil en los lugares y épocas en que está la más agitada, como son la superficie de la tierra más que en la proximidad de las nubes, bajo el ecuador más que bajo los polos, durante el verano más que durante el invierno y durante el día más que durante la noche. La razón de esto es que las mayores de estas partes, teniendo más fuerza, pueden más fácilmente avanzar hacia aquellos lugares en que, siendo mayor la agitación, pueden continuar su movimiento con mayor facilidad. Sin embargo, existen siempre cantidad de pequeñas partes que se introducen entre las de mayor tamaño, siendo de destacar que todos

los cuerpos terrestres tienen un gran número de poros por donde pueden pasar las más pequeñas, y existen otros que los tienen tan reducidos o dispuestos de modo tal que impiden el paso de las de mayores dimensiones. Éstos son ordinariamente los que se sienten más fríos cuando se les toca o cuando nos aproximamos a ellos. Así, puesto que se sienten más fríos los mármoles y los metales que la madera, debemos que sus poros no reciben tan fácilmente las partes sutiles de esta materia y que los poros del hielo oponen aún una mayor dificultad que los de los mármoles o metales, en tanto que el hielo es aún más frío que éstos. Afirmando esto, pues para entender la explicación tanto del frío como del calor, no es necesario concebir sino que las pequeñas partes de los cuerpos que nosotros tocamos, siendo agitadas con mayor o menor fuerza que de costumbre, bien por las pequeñas partes de esta materia sutil o bien por cualquier otra causa, agitan también con mayor o menor fuerza las pequeñas fibras de nuestros nervios, que son los órganos del tacto; cuando las agitan más fuerte que de costumbre, se produce en nosotros el sentimiento del calor y, por el contrario, cuando las agitan menos, producen el del frío. Asimismo, es muy fácil comprender que aunque esta materia sutil no separe las partes de los cuerpos duros, que son comparables a las ramas entrelazadas, de la misma forma que sucede con las del agua y las de todos los otros cuerpos que son líquidos, no cesa de agitarlas y hacerlas temblar más o menos, según sea su movimiento más o menos intenso y sus partes de mayor o menor tamaño, así como el viento puede agitar todas las ramas de los arbustos de que está formada una empalizada sin arrancarlos de raíz.

Texto 3: Texto de Torricelli.

Muchos han dicho que el vacío no existe, otros que existe a pesar de la repugnancia de la naturaleza por él, aunque con dificultad; no sé de ninguno que haya dicho que existe sin dificultad y sin resistencia de la naturaleza. Yo argumento así: Si puede encontrarse una causa manifiesta de la cual se pueda derivar la resistencia que se percibe si tratamos de hacer el vacío, me parece tonto tratar de atribuir el vacío a aquellas acciones que resultan evidentemente de alguna otra causa; y así, haciendo algunos cálculos fáciles encontré que la causa asignada por mí (esto es, el peso de la atmósfera) debe por sí sola ofrecer una resistencia más grande que la que ofrece cuando tratamos de producir el vacío. Esto digo, porque cierto filósofo, viendo que no es posible dejar de admitir que el peso de la atmósfera causa la resistencia que se percibe al hacer el vacío, no dice que admite la acción del peso del aire, sino que persiste en atribuirlo a que la naturaleza también contribuye a resistir al vacío. Vivimos sumergidos en el fondo de un mar de aire elemental, el cual, por los experimentos sin duda tiene peso, y tanto peso, que el aire más denso en las cercanías de la superficie terrestre pesa cerca de $1/400$ del peso del agua. Ciertos autores han observado después del crepúsculo que el aire vaporizado y visible se levanta ante nosotros a la altura de 50 a 54 millas, mas no pienso que es tanto porque puedo mostrar que el vacío debe oponer una resistencia mucho mayor que la que opone, a menos que usemos el argumento de que el peso que Galileo asignó se aplica a la atmósfera baja, donde los hombres y animales viven, pero que en los picos de las altas montañas el aire comienza a ser más puro y pesa mucho menos que $1/400$ del peso del agua.

Hemos hecho muchos recipientes de vidrio con tubos de dos codos de largo. Llené estos tubos con mercurio, y, tapando el extremo abierto con un dedo, los invertí en la cubeta donde había mercurio; entonces vimos que se formaba un espacio vacío y que nada sucedía en el recipiente donde se formaba este espacio; el tubo permanecía siempre lleno hasta la altura de un codo y un cuarto y una pulgada.

Sobre la superficie del líquido que esté en el recipiente descansa el peso de una altura de 50 millas de aire. ¿Qué tiene de extraño, entonces, que el mercurio, que no tiene ninguna tendencia o repugnancia, ni aun la más leve, a permanecer en el interior del tubo CE, penetre en el y se eleve a una altura suficientemente alta como para equilibrar el peso del aire exterior, que lo fuerza hacia arriba?

Por otra parte el agua, en un tubo similar, si bien mucho más largo, se elevaría unos 18 codos, esto es, tantas veces más que el mercurio, cuantas éste es más pesado que el agua, para estar así en equilibrio con la misma causa que actúa sobre uno y otro.

Texto 4: Texto De Euler

La discusión metafísica acerca de si los cuerpos pueden estar dotados de una fuerza interna por la que se atraen unos a otros sin ser impulsados por una fuerza externa, no puede darse por finalizada sin entrar concretamente en el examen de la naturaleza de los cuerpos en general. Puesto que esta cuestión es de extrema importancia, no sólo en matemáticas y en física, sino también en toda la filosofía, a V. A. no le parecerá mal que me extienda un poco sobre este tema. En primer lugar nos preguntamos qué es un cuerpo. Por absurda que parezca esta cuestión, puesto que nadie ignora la diferencia que existe entre lo que es un cuerpo y lo que no lo es, resulta difícil, sin embargo, profundizar en las auténticas características que constituyen la naturaleza de los cuerpos. Los *cartesianos* dicen que la naturaleza de los cuerpos consiste en la extensión, de modo que todo aquello que es extenso es también un cuerpo. Se refieren a una extensión de tres dimensiones, pues son lo suficientemente buenos geómetras como para saber que una sola dimensión o una extensión según la mera longitud no da lugar más que a una línea, y que dos dimensiones en las que no hay más que longitud y anchura no forman sino una superficie lo cual no es aún un cuerpo. Para constituir éste es necesario, pues, disponer de tres dimensiones, debiendo tener todo cuerpo longitud, anchura y profundidad o espesor, es decir, una extensión de tres dimensiones. Pero nos preguntamos al mismo

tiempo si todo aquello que tiene una extensión es un cuerpo, lo cual es lo que debería suceder si la definición de *Descartes* fuera exacta. La idea que el pueblo se forma de los espectros contiene extensión y, sin embargo, negamos que sean cuerpos. Aunque esta idea sea puramente imaginaria, sirve, no obstante, para probar que una cosa podría ser extensa sin ser un cuerpo. Además de esto, la idea que nos hacemos del espacio supone, sin duda, una extensión de tres dimensiones, pese a lo cual se reconoce que el mero espacio no es aún un cuerpo, sino que se limita a proporcionar los lugares que los cuerpos ocupan y llenan. Supongamos que todos los cuerpos que actualmente hay en mi habitación, incluido el aire que en ella se encuentra, sean aniquilados por el poder divino; seguirá habiendo en mi habitación la misma longitud, anchura y profundidad sin que haya en ella cuerpo alguno. He aquí, pues, al menos, la posibilidad de una extensión que no sea un cuerpo. Tal espacio sin cuerpos es denominado vacío, siendo por tanto el vacío una extensión sin cuerpos. También decimos, siguiendo la superstición del pueblo, que un espectro tiene, por ejemplo, extensión, pero que le falta el cuerpo o la corporalidad. A través de esto vemos claramente que no basta ser extenso, sino que es necesario algo más para constituir un cuerpo, de donde deducimos que la definición de los cartesianos no es suficiente. Pero ¿qué es lo que se requiere, además de la extensión, para formar un cuerpo?. Se responde que la movilidad o la posibilidad de ser puesto en movimiento, pues, aunque un cuerpo esté en reposo y se mantenga así firmemente, será posible, sin embargo, moverlo con tal que haya fuerza suficiente para ello. Queda así excluido el espacio de la clase de los cuerpos,

puesto que se comprende que, al no ser apto sino para alojar a éstos, permanece inmóvil sea cual sea el movimiento que puedan tener los cuerpos que se contienen en él. Se dice también que, mediante el movimiento, los cuerpos son transportados de un lugar a otro, dándose así a entender que los lugares y el espacio permanecen inalterables. Sin embargo, mi habitación, junto con el vacío que he supuesto anteriormente, podría ser movida, y en efecto lo es, puesto que es arrastrada por el movimiento que arrastra a la tierra misma; he aquí, pues, un vacío que estaría en movimiento sin ser un cuerpo. También la superstición atribuye movimiento a los espectros, lo cual basta para probar que únicamente la movilidad y la extensión no constituyen la naturaleza corpórea. Es necesario algo más; se precisa la materia para constituir un cuerpo, o mejor, se denomina materia a aquello que distingue un cuerpo real de una simple extensión o de un espectro. Henos aquí, pues, conducidos a explicar qué es la materia, sin la cual una extensión no podría ser un cuerpo. Ahora bien, hasta tal punto es la misma la significación de estos dos términos, que todo cuerpo es materia y toda materia es cuerpo, de modo que apenas hemos avanzado. Descubrimos fácilmente, sin embargo, una característica general que es adecuada para toda materia y, por consiguiente, para todo cuerpo; se trata de la *impenetrabilidad*, de la imposibilidad de ser penetrado por otros cuerpos, o bien de la imposibilidad de que dos cuerpos ocupen a la vez el mismo lugar. En efecto, es la impenetrabilidad la que falta al vaso o a los espectros por el hecho de no ser cuerpos. Si un espectro, por imaginario que fuese, fuera impenetrable, es decir, si no pudiéramos pasar la

mano por él sin encontrar obstáculos, no dudaríamos en situarlo en la clase de los cuerpos; pero en tanto que lo consideramos penetrable, estamos negando su corporabilidad. Tal vez se objetará que podemos pasar la mano por el agua y por el aire los cuales, sin embargo, admitimos que son cuerpos; serian, por tanto, cuerpos penetrables y la impenetrabilidad no sería, en consecuencia, una característica necesaria de éstos. Pero hay que darse cuenta de que, cuando se pasa la mano por el agua, las partículas de agua ceden y que allí donde está la mano, ya no hay agua. Si la mano pudiera pasar a través del agua, de modo que ésta no escapara y permaneciera en el mismo lugar en el que se encuentra aquélla, entonces el agua sería penetrable, pero es claro que esto no sucede. Todos los cuerpos, por tanto, son impenetrables, o lo que es lo mismo, un cuerpo excluye siempre del lugar que ocupa a todos los demás, de modo que en cuanto otro entra en ese lugar, es absolutamente necesario que el primero lo abandone. Es así como hay que entender el término impenetrabilidad.