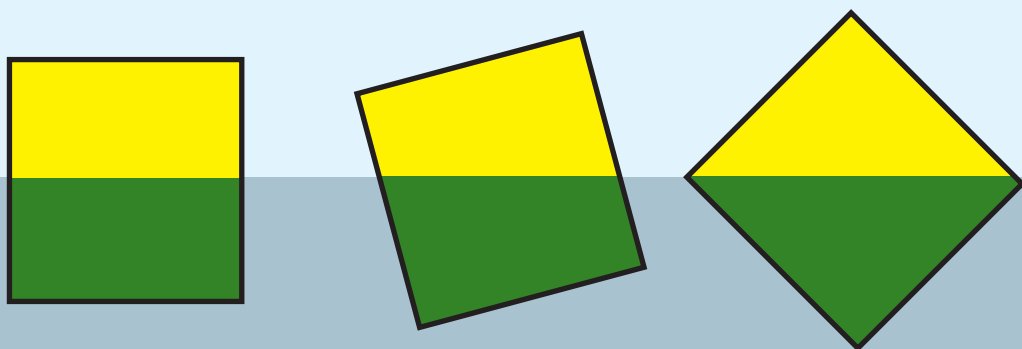


Historia de las ciencias en textos para la enseñanza neumática e hidrostática



Edwín Germán García Arteaga



Universidad
del Valle

Programa  Editorial

E&P

Colección Educación y Pedagogía

Historia
de las ciencias en textos
para la enseñanza
neumática e hidrostática
Perspectivas socioculturales

E&P

Colección Educación y Pedagogía

Este libro brinda herramientas para el uso de la HC desde la perspectiva sociocultural que destaca el papel del contexto, el entorno social y la dinámica cultural en la que se consideran los problemas y necesidades inherentes a la actividad científica en la construcción del conocimiento científico, particularmente en el campo de la hidrostática y la neumática, hoy en día conocida como mecánica de fluidos.

El libro recoge la validez del uso de la historia de la ciencia con fines pedagógicos y brinda elementos para la enseñanza de la neumática e hidrostática desde una perspectiva sociocultural de las ciencias. El libro esta dirigido fundamentalmente a profesores de física o de ciencias naturales que muestren interés y curiosidad por la enseñanza de la neumática desde una perspectiva sociocultural del conocimiento en la construcción de significados con el aporte de la Historia de las Ciencias. También puede ser leído y estudiado por estudiantes de física, licenciatura en física o licenciatura en ciencias naturales o áreas afines como filosofía y sociología y que muestren interés y disposición por construir los conceptos fundamentales de la ciencia a partir del uso de la Historia de las Ciencias.

El libro está estructurado en dos partes. La primera parte presenta los fundamentos teóricos de la investigación en torno a las diferentes formas de hacer uso de la historia de las ciencias con fines pedagógicos, haciendo énfasis en la perspectiva sociocultural del conocimiento, donde se destaca la ciencia como una actividad cultural y la enseñanza de las ciencias como una construcción social de significados. La segunda parte, y como resultado de la primera, presenta a los docentes y estudiantes la introducción de los conceptos fundamentales de la neumática y la hidrostática desde la historia sociocultural de las ciencias.



EDWIN GERMÁN GARCÍA ARTEAGA

Historia
de las ciencias en textos
para la enseñanza
neumática e hidrostática
Perspectivas socioculturales

E&P

Colección Educación y Pedagogía

García Arteaga, Edwin Germán

Historia de las ciencias en textos para la enseñanza. Neumática e hidrostática /
Edwin Germán García Arteaga. -- Santiago de Cali : Programa Editorial Universidad
del Valle, 2009.

128 p. ; 24 cm. -- (Colección libro de investigación)

1. Ciencia - Historia 2. Ciencia - Enseñanza 3. Neumática - Enseñanza 4.
Hidrostática - Enseñanza I. Tít. II. Serie.

509 cd 21 ed.

A1205621

CEP-Banco de la República-Biblioteca Luis Ángel Arango

Universidad del Valle
Programa Editorial

Título: *Historia de las ciencias en textos para la enseñanza - Neumática e hidrostática*

Autor: Edwin Germán García Arteaga

ISBN: 978-958-670-715-2

ISBN PDF: 978-958-765-574-2

DOI: 10.25100/peu.85

Colección: Educación y Pedagogía

Primera Edición Impresa febrero 2009

Edición Digital febrero 2018

Rector de la Universidad del Valle: Édgar Varela Barrios

Vicerrector de Investigaciones: Jaime R. Cantera Kintz

Director del Programa Editorial: Francisco Ramírez Potes

© Universidad del Valle

© Edwin Germán García Arteaga

Diseño de carátula: Artes Gráficas del Valle Ltda.

Este libro, o parte de él, no puede ser reproducido por ningún medio sin autorización escrita de la Universidad del Valle.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión del autor y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad del Valle, ni genera responsabilidad frente a terceros. El autor es el responsable del respeto a los derechos de autor y del material contenido en la publicación (fotografías, ilustraciones, tablas, etc.), razón por la cual la Universidad no puede asumir ninguna responsabilidad en caso de omisiones o errores.

Cali, Colombia, febrero de 2018



**PÁGINA EN BLANCO
EN LA EDICIÓN IMPRESA**

CONTENIDO

Presentación	11
Introducción	13
PARTE I	
CAPÍTULO 1: Historia y Enseñanza de las Ciencias;	
perspectivas socioculturales	19
Concepciones de ciencia; historia y enseñanza	19
Concepción positivista de la ciencia	20
Uso de la historia positivista	22
Historia lineal, descriptiva y narrativa	22
El docente y la concepción positivista de la ciencia	24
Concepción relativista de la ciencia	25
El relativismo científico	25
La perspectiva sociocultural	28
La ciencia como actividad cultural	30
Historia y enseñanza de las ciencias	31
El papel del docente en la perspectiva sociocultural del conocimiento	34
CAPÍTULO 2: Enseñanza de la mecánica de fluidos	
Enseñanza de las ciencias y recontextualización del conocimiento científico	37
La enseñanza tradicional de las ciencias	37
Enseñanza de las ciencias desde la perspectiva sociocultural	38
El recurso de las fuentes originales	39
La construcción de explicaciones	40
El papel de la experiencia y el experimento	41
Recontextualización del conocimiento científico	42
Sobre el estudio de la mecánica de fluidos	45
Dificultades en torno a la enseñanza de la mecánica de fluidos	45
Sobre las formas de explicar los fenómenos	51

PARTE II

CAPÍTULO 3: El vacío

La problemática del vacío	55
Exploración de ideas	55
El problema del vacío en la antigüedad	56
El vacío en la Edad Media	58
Galileo y la fuerza de vacío	58
Torricelli y la existencia del vacío	61
Pascal y la inactividad del vacío	63
Experimentos con jeringas	64
Experimentos con tubos	65
Experimentos con sifones	66
Sobre las máximas de Pascal	67
Actividades adicionales	68
Lectura complementaria: Nuevos experimentos sobre el vacío B. Pascal	69
Preguntas de seguimiento y valoración	71

CAPÍTULO 4: Hidrostática

Sobre el equilibrio de los líquidos	73
Exploración de ideas	73
Los antiguos y el problema fundamental del equilibrio	73
Equilibrio de los cuerpos	74
Descartes y el principio de los desplazamientos virtuales	75
Pascal y el equilibrio de los líquidos	76
El principio de la máquina hidrostática	77
Fuerzas proporcionales a desplazamientos	78
Desplazamientos proporcionales a áreas	79
Fuerzas proporcionales a las áreas	79
El principio de Pascal	79
Presión externa a un líquido	79
Presión interna en un líquido	80
Equilibrio entre dos líquidos	81
Equilibrio en los vasos comunicantes	82
La prensa hidráulica	83
Flotación de los cuerpos	84
Experimento: el diablillo de Descartes	85
Experimentos con jeringas	86
Experimentos con tubos	87
Experimentos con sifones	88
Experimentos con fuelles	89
Lectura complementaria: Pascal y la Estática de los fluidos Alexandre Koyre	91
Preguntas de seguimiento y valoración	92

CAPÍTULO 5: Neumática

Sobre el comportamiento del aire	93
Exploración de ideas	94
El estudio del aire en la antigüedad	94
El aire en la Edad Media	95
El tratado del peso de la masa del aire: Blaise Pascal	96
El experimento del Puy de Dome	98
El barómetro o baroscopio	99
El experimento de Auzout	99
El experimento de “vacío en el vacío” de Pascal	100
El experimento de Roberval	101
Experimento de Charleton	101
Experimento de los discos de mármol	102
Experimentos con jeringas	103
Experimentos con tubos	104
Experimentos con pitillos	105
Experimentos con sifones	105
Lectura complementaria: Pascal y la Estática de los fluidos Alexandre Koyre	106
Actividades de seguimiento y valoración	110

CAPÍTULO 6: Ley de elasticidad del aire

Sobre la elasticidad del aire	111
Exploración de ideas	111
Problemática sobre el comportamiento del aire	111
Boyle y los problemas del vacío	112
Experimentos con la máquina de vacío	112
Experimento 1	113
Experimento 2	115
De un problema básico a una ley fundamental	115
Experimento 3	117
La hipótesis de la elasticidad del aire	118
Experimento 4	119
Lectura complementaria: Cómo se construye un hecho experimental S. Shapin	122
Preguntas de seguimiento y valoración	124
Bibliografía	125
Referencias de ilustraciones	127

**PÁGINA EN BLANCO
EN LA EDICIÓN IMPRESA**

PRESENTACIÓN

El presente libro es producto de la investigación realizada inicialmente como tesis de grado en la Universidad Pedagógica Nacional “La neumática de Pascal, elementos para la enseñanza del concepto de presión atmosférica desde una perspectiva constructivista” dirigida y acompañada por la profesora María Mercedes Ayala, a quien debo inmensa gratitud por sus aportes e ideas, por la convicción sobre la importancia del uso de la historia de las ciencias desde una perspectiva diferente a la usual y por la calidad humana que la caracteriza. Continuada en la Universidad del Valle, con el apoyo de Colciencias, en el marco del proyecto de investigación **La Historia de las Ciencias en los textos universitarios** el cual permitió el diseño, análisis, presentación y evaluación de un curso denominado “Educación en física” para estudiantes del programa de Licenciatura en Ciencias Naturales, en torno al uso de la Historia de las Ciencias en la enseñanza de los conceptos fundamentales de la física.

El libro recoge la validez del uso de la historia de la ciencia con fines pedagógicos y brinda elementos para la enseñanza de la neumática e hidrostática desde una perspectiva sociocultural de las ciencias. El libro está dirigido a profesores de física o ciencias naturales que muestren interés y curiosidad por la enseñanza desde una perspectiva sociocultural del conocimiento. Puede ser estudiado por estudiantes de física, licenciatura en física o licenciatura en ciencias naturales o áreas afines como filosofía y sociología y que muestren interés y disposición por construir los conceptos fundamentales de la ciencia a partir del uso de la Historia de las Ciencias.

Agradezco la participación y el compromiso del profesor Claret Zambrano por promover la edición y publicación del presente libro, así como a los profesores Robinson Viáfara y Carlos Uribe por sus valiosos aportes desde el Comité editorial. También agradezco a los estudiantes del curso Educación en Física por sus constantes

contribuciones y aportes, a los estudiantes de la licenciatura en Educación Básica énfasis en Ciencias Naturales y Educación Ambiental de la Universidad del Valle, por su participación en la lectura, revisión y evaluación de este texto, entre ellos, Cristian Polanco, Deicy Torres, Carolina Barney, Jennifer Herrera, Angélica Mejía, Fabián Gómez, Mara Polanco, Tatiana Salazar, Marlen Angulo, Lorena Buitrón y Liliana Sandoval.

INTRODUCCIÓN

La investigación realizada en varias universidades y el ejercicio directo de la docencia me han permitido constatar las dificultades en la enseñanza de las ciencias, particularmente de la física, sobre todo en la introducción de los conceptos fundamentales. Dificultades que tienen que ver con la falta de comprensión y manejo por parte de los estudiantes de los conceptos “aprendidos” y además la incapacidad para explicar de manera apropiada los fenómenos cotidianos relacionados, generando muchas veces confusión e incertidumbre que los lleva incluso a la apatía y el desinterés por las ciencias.

Las dificultades que evidencian los estudiantes han generado una reflexión importante para los docentes en la investigación de su propio quehacer. En este sentido la historia de las ciencias (HC) se ha convertido en una fuente inagotable de posibilidades que el docente puede utilizar para avanzar en esta reflexión. En la introducción al libro “Renovar la Enseñanza de las Ciencias” el profesor R. Duschl, director de la prestigiosa revista Science Education dice:

un factor que distingue las tentativas de mejorar la enseñanza de las ciencias actuales de las realizadas en los decenios de 1950 y 1960 es una comprensión de los procesos asociados al desarrollo del conocimiento. Es mejor porque disponemos de los trabajos de historiadores y filósofos de la ciencia, que han contribuido a desarrollar la noción de que el desarrollo del conocimiento científico se entiende mejor como una serie de cambios en las explicaciones básicas que dan los científicos sobre cómo y por qué funcionan las cosas ¹.

¹ Duschl, R. “Renovar la enseñanza de las ciencias. Importancia de las teorías y su desarrollo” Narcea S. A. ediciones, Madrid. 1997.

Este libro brinda herramientas para el uso de la HC desde la perspectiva sociocultural que destaca el papel del contexto, el entorno social y la dinámica cultural en la que se consideran los problemas y necesidades inherentes a la actividad científica en la construcción del conocimiento científico, particularmente en el campo de la hidrostática y la neumática, hoy en día conocida como mecánica de fluidos.

El libro está estructurado en dos partes. La primera parte, dirigido a profesores e investigadores en enseñanza de las ciencias. Presenta los fundamentos teóricos de la investigación en torno a las diferentes formas de hacer uso de la historia de las ciencias con fines pedagógicos, haciendo énfasis en la perspectiva sociocultural del conocimiento, donde se destaca la ciencia como una actividad cultural y la enseñanza de las ciencias como una construcción social de significados. La segunda parte, y como resultado de la primera, presenta a los docentes la introducción de los conceptos fundamentales de la neumática y la hidrostática desde la historia sociocultural de las ciencias.

El libro para su mejor comprensión está dividido en capítulos:

Parte I. En el capítulo primero se hace un análisis en torno a las concepciones que sobre la historia de las ciencias se suelen considerar para su uso en la enseñanza de las ciencias, particularmente de la física. De una concepción lineal, descriptiva y anecdótica, derivada del positivismo científico se pasa a una concepción discontinua y contextual derivada de la corriente relativista del conocimiento científico, donde la ciencia se considera como una actividad cultural ligada a un contexto y el conocimiento es una construcción social donde juegan un papel importante las problemáticas, necesidades e intereses del científico que se ven reflejadas en la construcción de hechos, en su organización de la experiencia sensible, en la construcción de explicaciones en torno a los fenómenos estudiados y la producción y validación de experimentos.

En el segundo capítulo se presenta una análisis de la enseñanza de las ciencias desde dos tendencias fundamentales, la perspectiva tradicional y la perspectiva sociocultural del conocimiento, se destaca la importancia de la construcción social del conocimiento, el papel del experimento y la tarea del docente desde esta nueva perspectiva. Además, se presenta la importancia de la recontextualización del conocimiento científico como forma válida para construir conocimiento escolar.

Parte II. En el capítulo tercero se presenta el concepto del vacío como problema fundamental del conocimiento desde la antigüedad y que promovió rupturas conceptuales en la Edad Media; se analizan los escritos de Aristóteles en torno al horror de la naturaleza a la creación del vacío y la defensa de los escolásticos por estas ideas. Se recuperan los escritos de Galileo y Torricelli sobre los límites del horror al vacío, la demostración de Pascal de la existencia del vacío y los experimentos de R. Boyle en la bomba neumática para demostrar la existencia e inactividad del vacío.

En el capítulo cuarto se presenta el estudio sobre el equilibrio mecánico realizado por Descartes, y el estudio del equilibrio en los líquidos de B. Pascal donde se hace énfasis en la máquina hidrostática para explicar la proporcionalidad inversa entre la presión y el área, el peso con la altura, así como la ley del equilibrio de los líquidos hoy conocida como principio de Pascal. De aquí se avanza en la construcción de fenómenos relacionados con el equilibrio en un líquido y en dos líquidos, cuerpos que flotan y se hunden (principio de Arquímedes), así como la independencia de la forma y el tamaño de los recipientes.

En el capítulo quinto se presenta el comportamiento del aire como un líquido y por lo tanto la unión de la neumática y la hidrostática en la mecánica de fluidos. Se describe cómo Torricelli explica los fenómenos que se atribuían al horror de la naturaleza al vacío como efecto de la acción del peso de la masa del aire circundante; los experimentos que realizó Pascal para demostrar el comportamiento del aire en condiciones de reposo, particularmente el célebre Puy de Dome y el vacío en el vacío.

En el sexto y último capítulo se analiza el aporte de R. Boyle para caracterizar el aire como un medio elástico con los experimentos realizados en la máquina de vacío, para posteriormente llegar a establecer una relación cuantitativa entre dos de las variables que caracterizan el estado del aire, la fuerza del resorte y su densidad, relativas al estado de rarefacción y condensación del mismo, conocida posteriormente como la ley de Boyle.

Cada capítulo propone una serie de actividades para ser tenidas en cuenta y recontextualizadas por el docente, así como preguntas de seguimiento y valoración del proceso seguido por el estudiante.

Finalmente el libro no busca que el docente aplique la enseñanza de modo repetitivo, memorístico y esquemático, es más ¡eso es lo que se quiere evitar! el libro lo que pretende es convertirse en una fuente de ideas para ser tenidas en cuenta, de tal manera que permitan al docente proponer nuevas e interesantes experiencias para sus estudiantes en un ejercicio de recontextualización que los lleve a la construcción de significados, de acuerdo con su contexto sociocultural en un diálogo de saberes y en un reconocimiento del saber intercultural.

**PÁGINA EN BLANCO
EN LA EDICIÓN IMPRESA**

PARTE I

**PÁGINA EN BLANCO
EN LA EDICIÓN IMPRESA**

CAPÍTULO 1

HISTORIA Y ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS; (PERSPECTIVAS SOCIOCULTURALES)

Las investigaciones muestran que la importancia del uso de la historia de las ciencias (HC) en la enseñanza es cada vez mayor, el creciente número de publicaciones y eventos dedicados al tema en los últimos años así lo demuestran². La HC en la enseñanza se suele tener en cuenta por los investigadores para el diseño de estrategias didácticas tales como narraciones, cuentos, anécdotas, dramatizaciones, diálogos, confrontaciones e incluso estudios de caso como lo sugiere Stinner Arthur³. Sin embargo es necesario reconocer que sea cual sea el uso de la HC que hagan los docentes, los enfoques en didáctica de las ciencias dependen de la concepción de ciencia.

CONCEPCIONES DE CIENCIA; HISTORIA Y ENSEÑANZA

Se suele afirmar que el científico estudia la naturaleza de forma objetiva y neutral. Esto no es cierto. La actividad del científico y de la comunidad científica en general está determinada por debates, polémicas, necesidades personales e intereses sociales

² Véase a este respecto el análisis que hace A Drewes sobre perspectivas historiográficas y enseñanza de las ciencias, también artículos que sobre historia y enseñanza aparecen con más frecuencia en las revistas especializadas, como el de Michael Matthews. Es igualmente significativa la aparición de espacios destinados a la relación historia y enseñanza de las ciencias en congresos nacionales e internacionales sobre ciencia.

³ Citado en González, M “Atomismo vs. energetismo, controversia científica a finales del siglo XIX; perspectivas sobre la HC en relación con la enseñanza de las ciencias” Revista Enseñanza de las Ciencias, nov 2006. Barcelona.

(Hacking 2000) que lo condicionan, esto le implica necesariamente una manera de concebir la ciencia, esto es, preguntarse por sus problemas fundamentales, la naturaleza del método, el papel del experimento, la validez y legitimidad del conocimiento en otros.

La reflexión sobre la naturaleza de la actividad científica en cuanto a sus fundamentos y razón de ser en la dinámica social, y sobre el conocimiento científico mismo se han convertido en una fuente inagotable de exploración para filósofos, sociólogos, lingüistas, psicólogos, antropólogos historiadores de la ciencia y por supuesto docentes investigadores de ciencias. ¿Qué es la ciencia? ¿cómo se producen las teorías? ¿qué papel juega el experimento? ¿cuál es el objeto de la ciencia? ¿cuál es el valor de las demostraciones científicas? ¿cuál es la función de las instituciones científicas? ¿cuál es la naturaleza del conocimiento científico? ¿cómo se valida o institucionaliza una ley o una teoría? hacen parte de las preguntas fundamentales. Las respuestas a estas cuestiones han generado históricamente corrientes de pensamiento diferentes que incluso hoy en día hacen parte del debate fundamental y en torno a las cuales no existe un acuerdo general. Mi interés es mostrar este debate a través de las concepciones de ciencia consideradas desde la filosofía de la ciencia como son el positivismo científico y el relativismo científico, sin agotar su discurso pero reconociendo su impacto en el desarrollo del conocimiento, es mostrar su incidencia en los programas de formación y destacar el papel del docente dentro de ellas. En este marco de presentación se hace énfasis en la perspectiva sociocultural que reconoce la actividad científica dentro de un contexto social de producción y validación del conocimiento, y le permite al docente hacer uso de la historia de las ciencias.

CONCEPCIÓN POSITIVISTA DE LA CIENCIA

La corriente filosófica del positivismo científico surge a finales del siglo XIX, para justificar la consolidación de la mecánica como la forma verdadera de explicar el comportamiento de la naturaleza y el método inductivo como método universal de investigación. Los filósofos del conocido “Círculo de Viena” guiados por los trabajos de Hume y Schilck, llegaron a considerar la importancia de demarcar el conocimiento científico de otras formas culturales de conocimiento, particularmente la teología y la ética, y mostrar la legitimidad del conocimiento científico occidental. Esta filosofía, conocida como positivismo lógico y empirismo lógico, tuvo mucha incidencia en la manera de pensar la ciencia en las generaciones siguientes, incluyendo los historiadores de la ciencia hasta la primera mitad del siglo XX. Para ellos lo importante de la ciencia está en que sus verdades hacen referencia a una realidad donde el científico descubre los hechos y los enuncia a través de leyes objetivas y universales. E. Carr la caracteriza de la siguiente forma: “generalmente la

historia se identifica con el pasado, con los hechos que ya ocurrieron y corresponde al historiador mostrar lo que realmente sucedió. El pasado está constituido por hechos reales, evidentes, y el historiador debe contar esa realidad objetiva: los hechos son sagrados [...] los hechos hablan por sí solos”⁴.

Esta perspectiva muestra una concepción de realidad, donde los hechos y fenómenos naturales existen por sí mismos, independientes del observador, el papel del científico es descubrir las leyes que están en la naturaleza, como lo sugería el filósofo Berkeley y el papel del historiador se restringe a organizar los datos que le permiten verificar la realidad que debe contar.

Los historiadores de la ciencia formados en esta concepción positivista llegaron a considerar un carácter lineal, progresista y evolutivo del conocimiento científico; en este sentido lo importante es saber quién, cuándo, dónde y de qué manera descubrió algo o inventó alguna máquina. El énfasis estaba en seguir el rastro al concepto o la idea, mostrar los triunfos de las teorías sobre sus competidoras y mostrar la evolución del concepto hasta nuestros días, es decir mostrar la ciencia como un producto acabado y las leyes y teorías como el resultado que se debe divulgar. Las dificultades, desaciertos o debates internos de los científicos no eran relevantes, como tampoco la incidencia del contexto social.

Esta manera de hacer HC es criticada con especial énfasis por los historiadores contemporáneos. El propio Carr se refiere a ella de la siguiente manera: “La historia (desde esta concepción) consiste en un cuerpo de hechos verificados [...] lo mismo que los pescados sobre un mostrador de una pescadería. El historiador los reúne, se los lleva a casa, donde los guisa y los sirve como a él le apetece”⁵.

De acuerdo con Carr dentro de esta imagen de ciencia como “producto científico” el historiador selecciona lo que considera debe ser contado, los demás hechos los deja a un lado, la historia así seleccionada se vuelve objetiva y se fundamenta en poder encontrar “hechos históricos” que resulten significativos para enriquecer la verdad del concepto o de la ley que se quiere ilustrar.

⁴ Carr Edward ¿Qué es la historia?, Traducción: Joaquín Romero Mauro, Barcelona, Seix Barral, 1978, p. 12.

⁵ Ibid. Pag. 54.

El filósofo de las ciencias Mariano Artigas cuestiona esta concepción de ciencia así:

los conocimientos suelen ser expuestos de modo atemporal como verdades establecidas, prescindiendo del contexto en que han surgido y se han desarrollado o limitándolo en todo caso a referencias históricas aisladas. De ahí resulta una imagen de ciencia en la que ésta se presenta como un conjunto de conocimientos reconocidos universalmente y válidos sin restricción. Se trataría de un proceso acumulativo en el que se coloca un ladrillo tras otro hasta ir completando el edificio, de tal modo que cada ladrillo sería una adquisición definitiva e intangible⁶.

De otra parte, los conflictos generados por el desarrollo de la ciencia positiva y su vinculación con la tecnología comenzaron a presentar serias dificultades después de la primera guerra mundial. El temor en torno al uso irracional de la tecnología y la creencia férrea en leyes deterministas del universo generaron reacción al interior de las propias comunidades científicas; muchos científicos y filósofos de la ciencia cuestionaron la autoridad, el método y el carácter impersonal de la ciencia positiva⁷, revaluando así sus prácticas y métodos de investigación. Promover una imagen de la ciencia más humana, con fortalezas y debilidades, donde lo científico sea asumido en un rol más directo como agente social, fue parte de la actividad que orientó las investigaciones posteriores.

Así pues la HC que destacaba la actividad puramente intelectual, comenzó a ser desplazada para centrar la atención en los contextos sociales, económicos, políticos e ideológicos de su producción.

USO DE LA HISTORIA POSITIVISTA

Historia lineal, descriptiva y narrativa

Algunos libros de texto de introducción a la física que incorporan la HC en sus páginas lo hacen a través de narraciones o relatos de las hazañas o descubrimientos científicos, así como apartes de la vida y obra del científico. Cuando la ciencia es considerada como el resultado mismo de la investigación científica, las leyes o principios se hacen universales y por lo tanto independientes de quienes las producen, de las polémicas que dan lugar a los mismos, de los intereses a los que

⁶ Artigas, M. "filosofía de la ciencia experimental; introducción" Ediciones Universidad de Navarra. Pag 9. España. 1989.

⁷ Paul Forman en su libro "la Cultura en Weimar" considera que el surgimiento de la mecánica cuántica en Alemania se generó como reacción social de la comunidad alemana, incluyendo los científicos, respecto a la derrota en la I guerra mundial justificada por las leyes deterministas de la mecánica, surge el movimiento indeterminista que culmina con el principio de incertidumbre de Heisenberg y el papel fundamental del observador.

responden, en fin, de los contextos de su producción y validación. El conocimiento científico se hace objetivo y universal. Desde esta imagen y teniendo en cuenta su relación en el tiempo, los productos de la actividad científica a lo largo de su historia suelen ser catalogados de las dos formas siguientes: 1. Son base de desarrollo de otros que los contienen y superan (la mecánica de Newton es considerada como el fundamento de toda la mecánica clásica, por ejemplo; en tanto que la mecánica Lagrangiana la comprende, al ser concebida ésta como una forma más general de la mecánica clásica), 2. Los desarrollos posteriores hacen evidente su falsedad (así, la teoría del calórico suele ser considerada falsa mientras la teoría cinética del calor es considerada verdadera). Tal clasificación se convierta en un elemento de constitución del corpus de conocimiento denominado física, por ejemplo⁸.

En palabras del físico, filósofo e historiador de las ciencias T. S. Kuhn, este tipo de libros de texto tergiversan el sentido de la historia y hacen que se maneje una imagen de ciencia como una constelación de hechos, teorías y métodos que no corresponden a las preocupaciones e intereses que han movido el conocimiento científico a lo largo de su desarrollo. Al respecto dice:

[...] es inevitable que la finalidad de esos libros sea persuasiva y pedagógica; un concepto de la ciencia que se obtenga de ellos no tendrá más probabilidad que ajustarse al ideal que los produjo, que la imagen que pueda obtenerse de una cultura nacional mediante un folleto turístico o un texto para el aprendizaje de un idioma. La historia de la ciencia se convierte en una disciplina que relata y registra esos incrementos de hechos sucesivos y los obstáculos que han inhibido su acumulación⁹.

Aprender historia de las ciencias de esta forma se convierte, entonces, en un ejercicio de aprendizaje memorístico y acumulativo de información que no genera un concepto significativo de ciencia, ya que desconoce aspectos relevantes de la actividad científica como tal. La analogía utilizada por Kuhn para considerar lo que puede saber uno sobre un país solamente a través de un folleto informativo es lo mismo que conocer la ciencia a través de estos textos. Lo que sugiere es la necesidad de adentrarse en la actividad científica, teniendo en cuenta el contexto de producción del conocimiento, sus implicaciones socioeconómicas, la validez, el estatus y el reconocimiento de las comunidades científicas en sus respectivas

⁸ García Edwin, "Construcción del fenómeno eléctrico en una perspectiva de campos" Tesis de maestría. Universidad pedagógica Nacional. Bogotá 1999. pag. 19.

⁹ Kuhn T, "La estructura de las revoluciones científicas" Ed. Fondo de Cultura Económica, Breviarios.pp 20-23.

épocas e ideologías. Por lo tanto propone: “que los nuevos historiadores y textos que hacen uso de la historia, comiencen a plantear nuevos tipos de preguntas y a trazar líneas diferentes de desarrollo para las ciencias en las que no se tenga en cuenta lo acumulativo”¹⁰.

Los libros sobre HC que se han producido desde la segunda mitad del siglo XX consideran como relevante entre otros aspectos mostrar las implicaciones sociales de la ciencia, identificar las visiones de mundo que transmite la actividad científica, resignificar los métodos de acercamiento a la naturaleza, examinar los conceptos de verdad, realidad y legitimidad del conocimiento en nuevos contextos de pensamiento y resaltar la influencia de las ideologías imperantes.

El docente y la concepción positivista de la ciencia

El docente formado desde esta imagen de ciencia considera que lo importante es enseñar la ciencia como producto acabado, la verdad es objetiva e incuestionable, las leyes de la naturaleza existen independientes de quienes las producen y los conceptos que de ellas se derivan son verdaderos y únicos, el experimento sirve para comprobar la teoría y su validez es universal. Esta concepción de ciencia le implica al docente un sentido de exterioridad con el conocimiento mismo, por lo tanto él como mediador entre el conocimiento científico y el conocimiento común de los estudiantes debe limitarse a transmitir de la mejor forma posible el conocimiento científico establecido, saber las definiciones, manejar las ecuaciones matemáticas, repetir los experimentos y resolver los ejercicios, estos aspectos terminan siendo el eje articulador de las propuestas de enseñanza.

Desde esta concepción de ciencia, el uso posible que se puede hacer de la historia de la ciencia es descriptivo en la enseñanza. “La historia que se presenta es anecdótica y cronológica, donde lo importante es registrar las fechas en que se hicieron los aportes, ubicar local y cronológicamente el autor, reseñar las anécdotas que lo llevaron a un descubrimiento o al planteamiento de una determinada teoría y dejar constancia de los errores” (Guridi 2004). La relación de exterioridad del maestro con relación a la HC se hace evidente en esta imagen, no se reconoce como sujeto cognoscente y transformador y por lo tanto se ubica solamente como un divulgador de una historia, “la historia verdadera”.

¹⁰ Ibid.

CONCEPCIÓN RELATIVISTA DE LA CIENCIA

La actividad científica del siglo XIX en física, particularmente los trabajos científicos de Faraday, Maxwell, Boltzman y Hertz, entre otros, promovieron una nueva forma de explicar los fenómenos naturales, especialmente fenómenos ópticos y eléctricos distinta a la mecánica newtoniana que era oficialmente aceptada por la comunidad científica de la época, dando origen a una nueva teoría conocida como el electromagnetismo, Darwin, Wallace y Mendel cambiaron la biología, Dalton, Lavoisier y Mendeleiev transformaron la química. La validez y aceptación de las nuevas teorías al interior de la comunidad científica y la incapacidad de la mecánica de explicar los nuevos fenómenos, promovió el cuestionamiento a la validez de la mecánica como teoría universal y por tanto una revisión profunda de sus bases y fundamentos. Los propios científicos y filósofos de la ciencia se vieron abocados a reflexionar sobre el carácter universal y objetivo del conocimiento, cuestionar el concepto de verdad, cuestionar la validez del método, el papel del experimento, la existencia ontológica de las leyes y el pensamiento determinista. Como resultado de ello surge la teoría electromagnética, la teoría de la relatividad, la mecánica cuántica, la física de probabilidades y la teoría del caos y la complejidad, entre otras.

El Relativismo científico

Cuestionar el concepto de verdad científica permitió la construcción de nuevos sentidos para el conocimiento de la naturaleza; para Heisenberg, notable físico, creador del principio de incertidumbre en la mecánica cuántica, la verdad ya no está en la naturaleza sino en lo que nosotros creemos de ella, al respecto decía que: “En la medida en que en nuestro tiempo puede hablarse de una imagen de la naturaleza propia de la ciencia natural exacta, la imagen no lo es en último análisis de la naturaleza en sí; se trata de una imagen de nuestra relación con la naturaleza”¹¹.

Desde este enfoque la naturaleza deja de ser exterior a sus leyes objetivas y pasa a ser parte de una relación mutua con el observador, en este sentido el hombre es quien construye la realidad y las leyes resultan ser modelos y elaboraciones que responden a los interrogantes que le hacemos a la naturaleza. Por eso continúa diciendo que:

¹¹ Heisenberg “La imagen de la naturaleza en la física actual” Ed Orbis. España. Pag 23.

“las leyes naturales que se formulan matemáticamente en la teoría cuántica no se refieren ya a las partículas elementales en sí, sino a nuestro conocimiento de dichas partículas”¹².

Tanto filósofos como historiadores de la ciencia encuentran en esta nueva lectura de la realidad elementos para considerar la reflexión sobre la validez universal del conocimiento llegando a configurar la corriente del relativismo científico. El propio Einstein afirmó.

[...] Durante la segunda mitad del siglo XIX se introdujeron en la física ideas nuevas y revolucionarias que abrieron el camino a un nuevo punto de vista filosófico, distinto del anterior mecanicista. Los resultados de los trabajos de Faraday, Maxwell y Hertz condujeron al desarrollo de la Física moderna, a la creación de nuevos conceptos que constituyeron una nueva imagen de realidad¹³.

La filosofía de las ciencias siguiendo el curso de esta actividad científica llegó a considerar que no existen verdades últimas y que por lo tanto todo pensamiento sobre la naturaleza es relativo y depende de contextos de producción. El famoso sociólogo L. Wittgestein decía que todo conocimiento depende de los contextos de producción y esta amarrado a él. Pero quizás uno de los primeros filósofos que hizo referencia directa al relativismo científico fue Spengler, quien desde una teoría de la historia mundial sobre la decadencia de occidente consideraba que todo conocimiento está inserto en un contexto cultural, la física y las matemáticas son tratadas junto al arte, la música y la religión como completamente condicionadas culturalmente. Al respecto Forman transcribe de él que:

simplemente no existen otras concepciones que no sean las antropomórficas [...] y así es con toda teoría física, no importa lo bien fundada que esté. Todo eso es en sí mismo un mito antropomórficamente prefigurado en todos sus detalles. No existe ciencia natural pura, ni siquiera existe ciencia natural que pueda ser considerada común a todos los hombres [...]. Cada cultura tiene sus propias posibilidades nuevas de auto-expresión que surgen, maduran, declinan y nunca vuelven. No existe una cultura, una pintura, una matemática, una física, sino muchas, cada una diferente de la otra en su esencia más profunda, cada una limitada en duración y auto-contenida¹⁴.

¹² Ibid, pag 26.

¹³ Einstein A, Infeld L. The Evolution of Physics, ed. Biblioteca Científica Salvat, pp.93.

¹⁴ Forman. Op cit. Pag 66.

Esta mirada a la ciencia, insertándola en patrones culturales despertó el interés de muchos historiadores que cuestionaban el positivismo lógico y la filosofía del círculo de Viena. Desde esta perspectiva la verdad no está en la naturaleza misma, está en el hombre y en su actividad humana y cultural, pero éste, precisamente por su condición humana no puede acceder a la esencia última de las cosas por lo tanto sus verdades son relativas a los marcos socioculturales en los que viven. Esta concepción generó una reacción interesante sobre la manera de concebir la ciencia.

Para muchos historiadores de la ciencia bajo esta concepción les resultó fundamental no hacer HC como conocimiento universal, sino un conocimiento válido dentro de un contexto de producción, –seguramente Kuhn abrió el panorama al considerar que no se debe mirar el pasado con los ojos del presente, esto es, los conceptos construidos en el pasado responden a formas de ver el mundo en cada época y en cada lugar, y no es que evolucionen linealmente sino que surgen nuevas formas de ver y comprender la naturaleza, por lo tanto otros conceptos surgen a tal punto que resultan ser inconmensurables con los anteriores. Kuhn invita a los nuevos historiadores de la ciencia a considerar esta idea y por lo tanto sugiere:

los nuevos historiadores han comenzado a plantear nuevos tipos de preguntas y trazar líneas de desarrollo diferentes para las ciencias que frecuentemente nada tienen de acumulativas. En lugar de buscar contribuciones permanentes de una ciencia más antigua a nuestro caudal de conocimiento, tratan de poner de manifiesto la integridad histórica de esa ciencia en su propia época¹⁵.

El relativismo científico, como lo sugiere el filósofo de las ciencias P. Feyerabend, brinda entonces elementos para pensar la ciencia en una dimensión más humana, donde las verdades no son universales sino que dependen de quien las construye, socializa y valida y el método científico es dependiente del objeto de investigación por lo cual no es una norma estandarizada que deba seguir quien investiga, no existe un método único y las raíces de la ciencia son ideológicas y anarquistas.

Debemos tener cuidado de todas maneras de no caer en el esquema reduccionista de que en el relativismo científico todo se puede decir y por lo tanto “todo vale”, Ian Hacking llama la atención sobre este aspecto en lo que se ha denominado la guerra de las ciencias o la guerra de las culturas, y aclara que la tensión se encuentra en que cuando se afirma que la ciencia es una construcción social entonces pareciera ser que se deslegitima la verdad universal [...] “alguien arguye que

¹⁵ Kuhn, op cit pag 23.

los resultados científicos, incluso en la física fundamental son construcciones sociales –un oponente irritado protesta diciendo que esos resultados son descubrimientos sobre nuestro mundo que se mantienen independientes de la sociedad”

No se trata de reducir el relativismo científico a este nivel de discusión, es necesario ponerlo en un plano más profundo, para Hacking: “nuestra experiencia de la realidad, nuestro sentido de la realidad como otra entidad, con todo su rico y circunstancial detalle, como independiente de nosotros, no es ni un apriori kantiano ni simplemente el producto de la maduración psicológica. Es el resultado de procesos y actividades”¹⁶.

Por lo que es necesario mirar la estructura de la sociedad como una forma de comprendernos a nosotros mismo, reflexionar sobre la naturaleza relativa a las experiencias inmediatas y comprender el mundo dado por supuesto y objeto de experiencia que cada persona comparte con las demás en una sociedad.

La perspectiva sociocultural

Desde la concepción relativista del conocimiento –los escritos del médico y científico Alemán Ludwik Fleck (1896-1961)– y que fueron reconocidos posteriormente por Kuhn hacia 1949, se gesta la formación de filósofos e historiadores de la ciencia con una nueva perspectiva –*los estudios sociales de la ciencia*– la necesidad e importancia de involucrar los factores sociales y culturales en la constitución del conocimiento científico se vuelve relevante. Hacking considera que Fleck fue el primer científico que cuestionó la ciencia en la que él mismo se formó y propuso nuevas formas de valorar el conocimiento científico y dimensionar la actividad científica como tal. “sólo un científico genuino como Fleck pudo empezar a cuestionarse la mística en la que el mismo había sido educado”. Fleck cuestiona el método en la ciencia y su tendencia a la generalización a todas las disciplinas científicas, decía que: “la medicina se aparta de la norma ya que en ella el conocimiento no se basa en la regularidad sino en un alto grado de abstracción de la observación de un caso individual”.

Por lo tanto no se puede imponer métodos para conocer la naturaleza, estos responden más a las demandas sociales y culturales que a las doctrinas filosóficas. Fleck al respecto afirma:

¹⁶ Hacking I. “la construcción social de que?” pag. 22.

[...] sólo teniendo en cuenta las condiciones sociales y culturales del conocer puede hacerse comprensible la aparición de muchas otras ¡realidades! Junto a la realidad establecida por las ciencias naturales, por lo tanto, al igual que cada individuo posee una realidad propia, todo grupo social dispone de una realidad social determinada y específica. Por lo tanto el conocer, en cuanto actividad social, está unido a las condiciones sociales de los individuos que lo llevan a cabo. Cada saber forma consecuentemente su propio estilo de pensamiento con el que comprende los problemas y los orienta, de acuerdo a sus objetivos, pero la elección de problemas determina la forma de ver específica en la observación del objeto. La verdad conocida, es por tanto relativa al objeto prefijado del saber¹⁷.

La sugerencia de Fleck es que no se puede desconocer que hay una sociedad que nos determina y la cual nosotros determinamos, esta relación biunívoca no es universal, es relativa al contexto social y las problemáticas surgen de las necesidades personales pero en el ámbito social que nos implica.

Los científicos, epistemólogos e historiadores se orientan por esta corriente que es cada vez mayor: Barnes, Bloor, Latour, Elkana, Callon, Forman, Stengers, Prigoyine, Collins, Morin, Lynch, y Shapin entre otros resaltan la importancia de los aspectos culturales en la actividad científica. Isabel Stengers sugiere que: “el redescubrimiento del tiempo en las ciencias del mundo físico-químico testimonia en sí mismo que las HC no es una lenta acumulación de datos que se incorpora en un enunciado simple y unánime, la HC es una historia conflictiva, de elecciones, de apuestas, de redefiniciones inesperadas”¹⁸.

La nueva tendencia estrecha los vínculos entre la historia y la filosofía de las ciencias en la llamada filosofía historicista de las ciencias¹⁹, a partir de la cual se reconoce, como lo hace Lakatos que la filosofía sin la historia es vacía y la historia sin la filosofía es ciega. Posteriormente se sumaron a esta tendencia otros sociólogos, lingüistas y antropólogos de la ciencia que encontraron en la relación ciencia, tecnología y sociedad (CTS) una fuente interesante de investigación. Por supuesto que los investigadores en enseñanza de las ciencias también.

Este grupo de investigadores en historiografía de la ciencia, si los podemos considerar así, son los que conciben la ciencia teniendo en cuenta el contexto de producción del conocimiento, esto es, no importa sólo el conocimiento en tanto que tal,

¹⁷ Fleck L. “La génesis del hecho científico” Alianza editorial. Madrid. 1986.

¹⁸ Stengers, I. “La nueva alianza” círculo de lectores, Barcelona. 1997.

¹⁹ Pérez S “Epistemología de las ciencias” Universidad del Valle. 1997

es necesario identificar y caracterizar los procesos sociales e ideológicos que posibilitaron dicho conocimiento. Esta nueva forma de hacer HC ha permitido considerar no sólo el producto del conocimiento sino también los procesos inherentes a su elaboración. Estas nuevas formas de hacer HC, llamados por algunos “nuevos enfoques histórico-epistemológicos” porque relacionan de forma estrecha la epistemología con la forma de hacer HC, ponen de relieve el considerar la ciencia como una actividad en sí misma y por lo tanto dinámica y cambiante, sujeta a las condiciones de producción y transformación en el contexto social e ideológico en el cual actúan quienes están involucrados en el ejercicio de dicha actividad.

La ciencia como actividad cultural

El interés de la filosofía de la ciencia se desplaza entonces del positivismo (conocimientos como productos verdaderos, objetivos, reales, independientes, acumulativos, ahistóricos e individuales) para estudiar más de cerca la actividad de comunidades científicas sometidas a las dinámicas culturales, las manifestaciones ideológicas y los intereses sociales. Se vuelve de interés ahora el estudio de la ciencia no como producto sino como actividad. Los historiadores de la ciencia encuentran nuevos elementos para rastrear a lo largo del curso de la historia explicaciones diferentes y diversas para un mismo fenómeno, aspectos sociales y culturales que incidieron en el nacimiento de una teoría, dilemas ideológicos que promovieron la imposición de unas teorías sobre otras y su respectiva difusión, usos sociales de la ciencia y la negación de conocimientos diferenciados.

La pregunta que seguramente orienta las investigaciones en este campo es como la sugiere Y. Elkana

[...] ¿Existe una diferencia de base en los modos de pensamiento (ya sea en el contenido y especialmente en la lógica y en la formulación de los pensamientos) de las sociedades occidentales y no occidentales? ¿De las sociedades “tradicionales” y “modernas”, “precientíficas” y “científicas” letradas e iletradas, industriales o no industriales, desarrolladas o en vías de desarrollo, etc? ²⁰.

Muchos historiadores de la ciencia comparten con Elkana que si bien hay diferencias importantes también hay similitudes fundamentales, pero que no hay diferencia de base ni en términos de conocimiento, ni en términos de lógica.

²⁰ Elkana Y. “La ciencia como un sistema cultural. Una aproximación antropológica”. Sociedad colombiana de epistemología. Vol III Trad. J Charum, J Granes. Bogotá 1983.

Para la enseñanza de las ciencias es relevante en tanto que se puede considerar que los conocimientos científicos responden a contextos culturales específicos, fuera de los cuales son inconmensurables, esto es, los significados de los conceptos responden a contextos particulares fuera de los cuales pierden su sentido y significación.

Las propuestas de enseñanza de las ciencias desde una perspectiva socio-cultural destacan la ciencia como una actividad cultural más del hombre y acercan la brecha entre la cultura científica y la cultura común. Rescatan las problemáticas del conocimiento en sus contextos y promueven el carácter social y constructivista del conocimiento individual. En este sentido M. M. Ayala y G. Guerrero proponen dos consideraciones fundamentales:

1. Reconocer que la ciencia más que una colección de saberes con carácter de verdad absoluta, es una actividad realizada por un grupo humano que se ha venido diferenciando y conformando históricamente como tal mediante la construcción de formas especiales de ver, de argumentar, de dar validez a las afirmaciones sobre el mundo y con ello, de actuar en él.
2. Entender al estudiante no como un sujeto aislado y sin historia sino como un sujeto inmerso en un contexto socio-cultural que lo define; en consecuencia se concibe al estudiante como un individuo que tiene un conocimiento previo (formas de ver, de valorar y de actuar) que le ha permitido, y de hecho le permite, pensar y vivir en el mundo ²¹.

El docente como mediador entre la cultura científica y la cultura común debe establecer criterios que le permitan acercar estos dos grupos humanos (científicos y estudiantes) en la construcción y validación del conocimiento para ver, valorar y actuar en la sociedad en que vive.

HISTORIA Y ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Si bien los trabajos de Kuhn brindaban elementos para ser tenidos en cuenta en los procesos de enseñanza de las ciencias, no fue sino a partir de la década de 1980 cuando empiezan a aparecer investigaciones en enseñanza de las ciencias que consideraban importante la necesidad de incorporar la HC en planes de estudio y programas curriculares.

²¹ Ayala M. M. et al. La enseñanza de las ciencias desde una perspectiva cultural. Rev. Física y Cultura. Universidad Pedagógica Nacional No. 7. Bogotá. 2004.

La revolución historiográfica desarrollada desde la década de 1960 (Kuhn 1962) en el campo de la historia y la epistemología de las ciencias, no tuvo una traslación equivalente en el diseño y las concepciones de ciencia presentes en buena parte de los libros de biología, química y física hasta entrada la década de 1980, y aún en la actualidad, aspectos centrales de las propuestas didácticas de los mismos (por ejemplo, el diseño de trabajos prácticos) muestran visiones empiristas, acumulativas y esencialmente ahistóricas de la construcción del conocimiento en la ciencia escolar (Lacolla 2000).

Pero ¿con qué fin se incorpora la HC en la enseñanza de las ciencias? Los textos producidos en las últimas décadas muestran enfoques como los siguientes:

1. La historia y filosofía de las ciencias puede jugar un papel en el desarrollo de un cuerpo específico de conocimientos didácticos, integrar aspectos esenciales que afectan a la actividad científica, pero que a menudo no son tenidos en cuenta en la enseñanza de las ciencias, nos referimos a los problemas de contextualización del trabajo científico (Gil 1993).
2. La HC permite una mejor comprensión de los conceptos científicos, un mejor entendimiento de los conceptos y teorías de la física, una comprensión de los obstáculos y posibles dificultades de los alumnos, una concepción de ciencia como empresa colectiva e histórica, un entendimiento de las relaciones entre ciencia cultura y sociedad (Matthews 1994).
3. La ciencia, su enseñanza, su aprendizaje y su epistemología, puede ser como un sistema complejo en donde la conexión entre la reflexión sobre la construcción de las ciencias y la reflexión sobre su enseñanza y aprendizaje supone en mayor o menor medida una reconstrucción de la actividad intelectual de los científicos que justifica su aplicación en la enseñanza de las ciencias en muchos aspectos, dentro de los que se destacan los mecanismos de producción de conocimientos y de su filosofía (Penagos 1997).
4. Una de las principales tendencias que puede conducir a juicios históricos erróneos es la visión anacrónica del pasado, según la cual se estudia y se valida a la luz del presente. Su contrapartida, la visión diacrónica consiste en estudiar la ciencia del pasado de acuerdo a las condiciones que existían realmente en ese pasado. Así pues la historia que se utiliza en didáctica de las ciencias ha de ser la historia que surge del trabajo de

los historiadores, procurando huir del anacronismo y de la hagiografía (Izquierdo 2001).

5. Recurrir a la historia y filosofía de las ciencias en la formación del profesorado es un recurso para afrontar la mejora del interés por la ciencia, despertar el espíritu crítico ante los hechos en que la ciencia está involucrada y manifestar que es una forma más de la cultura (González Moreno 1999).
6. La HC se utiliza como respuesta a la necesidad de erradicar esa imagen estereotipada de la ciencia y su método de trabajo, para dar paso a una más realista acerca del quehacer científico y posibilitar un pensamiento crítico en el estudiante, necesario para actuar en la sociedad. (Guridi 2004).
7. Elementos de historia y filosofía hacen posible que los alumnos construyan una amplia red de relaciones entre la producción científica y contexto social, económico y político. (Carneiro 2005).
8. La HC puede ser una vía para superar las dificultades que se presentan al tratar de darle un contenido cultural a las enseñanzas científicas, que a su vez aporten contenidos provechosos, para atender los requerimientos cada vez más acuciantes e irreversibles de la multiculturalidad y la transdisciplinariedad (Brush 1969) (Carson 1997).
9. Es necesario que el ciudadano del siglo XXI no sólo conozca ciencia sino que también sepa cómo es creada y validada, cómo se desenvuelve a través de la historia y cómo se relaciona con el medio social y cultural. En este sentido el enfoque CTS incorpora la HC en la educación científica como parte de la formación de una conciencia ciudadana en los estudiantes (Auduriz Bravo 2002).
10. Se hace fundamental la manera como nos relacionamos con la historia de las ciencias (HC), no con los contenidos ni las teorías, sino con la experiencia misma que nos permite comprender los fenómenos físicos y construir explicaciones que sean significativas desde nuestras propias preocupaciones e intereses (García Edwin 1999).
11. Un aspecto que no se puede pasar por alto al referirse a la HC es la aportación que desde ella se hace a la contextualización de saberes, métodos, influencias sociales e ideológicas de todo tipo (políticas, científicas, religiosas, económicas...) (Abd El Khalick 2001).

Por supuesto que el uso de la HC que se presenta en este libro se identifica con algunos de estos enfoques, en particular los que consideran importante la contextualización de saberes como lo propone El Khalick, que destaca las influencias sociales e ideológicas de todo tipo, pero que a la vez promueven despertar el espíritu crítico del profesorado y del estudiantado necesario para actuar en sociedad frente a los hechos en que la ciencia esta involucrada y atender los requerimientos cada vez más acuciantes e irreversibles de la multiculturalidad, compartiendo los enfoques propuestos de Brush y Auduriz Bravo.

El papel del docente en la perspectiva sociocultural del conocimiento

Investigadores en enseñanza de las ciencias, bajo esta imagen de ciencia, consideran que la historia puede tener un uso mucho más enriquecedor en el espacio de las clases de ciencias, pues consideran que lo relevante, más que “relatar” la historia, es encontrar en ella los problemas epistemológicos que permitieron un avance del conocimiento científico²², porque asumen y pueden ver un cierto paralelismo entre las dificultades que presentan los estudiantes para explicar los fenómenos y las dificultades que en su momento tuvieron los científicos que aportaron al conocimiento universal. Desde esta perspectiva los aportes de la historia y la epistemología a la enseñanza de las ciencias son relevantes por cuanto permiten una apropiación más racional del conocimiento mismo, ya que –como dice Furió– “permite establecer las características fundamentales de la naturaleza de la ciencia y el trabajo científico”²³, lo que le posibilita al maestro tener un acercamiento a la manera como se estructuró un determinado cuerpo de conocimiento, con todos los aspectos epistemológicos inherentes al mismo. En este sentido se analiza la historia con una intención definida. Esta perspectiva, continúa Furió, “permite, además, hacer un análisis cuidadoso de aquellas teorías que por su importancia representaron verdaderos saltos cualitativos en el conocimiento, centrándose en aquellas dificultades y problemas cuya superación determinó un avance científico”²⁴.

²² Más recientemente, un análisis realizado por Carlos Furió en España sobre los libros de texto, encontró que la gran mayoría de ellos hacen uso de la historia en forma descriptiva de tipo cronológico y anecdótico y que no evidencian en absoluto una investigación epistemológica del conocimiento.

²³ Véase el comentario que hace Furió en el artículo “deficiencias epistemológicas en la enseñanza habitual...” publicado en la revista Enseñanza de las ciencias, Vol. 15, 1997. Barcelona.

²⁴ Ibid.

Tener un conocimiento de las dificultades y problemas que se detectan en el análisis histórico permiten plantear estrategias metodológicas para lograr los cambios conceptuales en los estudiantes. Por lo tanto se busca con este uso de la historia superar la metodología de transmisión verbal empleada en la enseñanza habitual; lo que le implica al maestro conocer los aspectos epistemológicos de las teorías y conceptos que pretende enseñar.

Esta imagen de ciencia hace posible construir historia y validarla en un contexto particular. La historia deja de ser objetiva y única, es decir deja de ser ahistórica. En este sentido el maestro se reconoce a sí mismo como sujeto cognoscente capaz de intervenir en el desarrollo del conocimiento, transformarlo y enriquecerlo de acuerdo a sus necesidades particulares. Se pierde la relación de exterioridad y se entra en un plano en el que sus acciones son determinantes para la orientación de la enseñanza de las ciencias en el contexto particular donde se desempeñe. El maestro es constructor de conocimiento científico escolar.

**PÁGINA EN BLANCO
EN LA EDICIÓN IMPRESA**

CAPÍTULO 2

ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS Y RECONTEXTUALIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO

LA ENSEÑANZA TRADICIONAL DE LAS CIENCIAS

Enseñar ciencias hoy en día es un reto para los docentes. Hasta hace un tiempo se asumía que la función del docente era transmitir los conocimientos científicos como lo sugiere la psicología conductista, estímulo-respuesta, el docente brindaba información como paquetes que el estudiante debía memorizar y mecanizar para luego repetir y así interiorizar. Para enseñar un concepto el docente explicaba su definición y la expresión matemática asociada, seguido de algunos ejemplos ilustrativos y la resolución de ejercicios, si acaso un experimento demostrativo para justificar el tema, en adelante el estudiante debía repasar las definiciones, aprenderse las fórmulas matemáticas y resolver los ejercicios del libro de texto, posteriormente una evaluación que indicara que efectivamente el estudiante había aprendido. Las prácticas de laboratorio eran espacios para repetir los experimentos del libro texto, cuando se contaba con los instrumentos para ello, siguiendo un orden como quien prepara una receta de cocina, al final el resultado no debía fallar, y si fallaba entonces era porque hubo un error en su realización, por lo tanto había que hacerlo de nuevo o inventar la excusa que justificara la dificultad. Algunas variaciones a esta presentación: que el estudiante realice exposiciones, presente trabajos y talleres escritos, realice trabajos en grupo y presente evaluaciones orales.

Esta manera de enseñar ciencias, conocida como conductivista fue el referente para los docentes durante muchos años. Sin embargo el sinnúmero de investigaciones realizadas desde la década de los 80 han puesto de relieve las dificultades que conlleva esta forma de enseñanza; estudiantes que después de pasar por cursos de física fueron interrogados sobre cuestiones fundamentales de los conceptos aprendidos no sabían qué contestar, tampoco se apreciaba comprensión en la explicación de fenómenos asociados, se registraban errores conceptuales, la actitud era pasiva y poco crítica, aspectos que denotaban que la ciencia no resultaba ser significativa para el estudiante, contribuyendo así a que este asumiera la ciencia como una serie de verdades absolutas e incontrovertibles que requieren ser aprendidas y usadas, como un asunto abstracto, ininteligible y carente de significado para su vida. Las investigaciones en este campo ponen en evidencia que “este enfoque tradicional está tan remoto del mundo en que viven los estudiantes que éstos deciden que la mayor parte del asunto es bastante irrelevante” (Driver 1994).

ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS DESDE LA PERSPECTIVA SOCIOCULTURAL

Reconocer entonces que la ciencia es una actividad cultural ha permitido a grupos de investigadores construir propuestas alternas para la enseñanza de las ciencias donde se destaca que el conocimiento en el aula es también una construcción social. Si la ciencia es una actividad cultural porque responde a necesidades, intereses, problemas sociales, políticos, económicos e ideológicos, entonces su enseñanza debe darse teniendo en cuenta estos aspectos y no por fuera de ellos. Esta tendencia pedagógica es conocida como perspectiva sociocultural.

Si la ciencia responde a formas de ver y explicar el mundo de maneras diferentes, entonces no hay razón para que se enseñe como una única forma universal y verdadera, debe enseñarse reconociendo que los conceptos responden a contextos de producción, validación y legitimización, tanto en cada época como en cada región geográfica. En este sentido el método en la ciencia está determinado por las dinámicas culturales y por las necesidades e intereses sociales, por lo tanto no hay razón para enseñar un “método científico” como el único y verdadero, es necesario enseñar a construir formas de ver y explicar los fenómenos de acuerdo con las diferentes métodos utilizados históricamente.

Las investigaciones actuales reconocen la importancia del estudio de la actividad científica como comunidades organizadas en contextos sociales, más que el resultado del conocimiento como producto mismo, esto es, leyes y teorías, entonces su enseñanza no se debe circunscribir solamente a enseñar “la ciencia como producto”, sin tener en cuenta la actividad del científico en torno a sus problemáticas y necesidades personales y sociales y los contextos de producción y validación.

Las investigaciones en enseñanza de las ciencias se han preocupado por tener en cuenta los aspectos anteriores en las nuevas propuestas. Algunas se han centrado en el papel del estudiante, cómo aprende y cómo construye conocimiento; otras en las concepciones y creencias del docente, cual es la concepción de ciencia que posee y cómo se ve reflejada en su ejercicio docente; otras sobre la relación docente-estudiante, esto es el papel del diálogo y la comunicación interpersonal; otras en el contexto docente-estudiante-sociedad (Izquierdo 2002) esto es, el conocimiento como construcción social.

En estas tendencias se reconoce que el estudiante posee formas explicativas de la realidad que deben ser tenidas en cuenta en la apropiación de nuevos conocimientos, el conocimiento no es una copia de la realidad sino una construcción de ella (Ayala M. 1993). Se reconoce que el docente no es un mero transmisor de información sino un agente social que reflexiona sobre su propia práctica para transformar los procesos de enseñanza. Se reconoce que el contexto social determina las necesidades e intereses de docentes y estudiantes en los procesos de enseñanza-aprendizaje (García E. 1999).

El recurso de las fuentes originales

Los investigadores en enseñanza de las ciencias, que pretendan hacer uso de la HC desde la perspectiva sociocultural deben considerar entre otros aspectos el recurso de los documentos originales. Ello permite encontrar nuevos sentidos en torno a las ideas, preocupaciones y problemas que tenían los científicos en sus contextos y épocas, sentidos que tal vez no son considerados por los propios historiadores pero que se convierten en una fuente de ideas y aportes para la intención pedagógica. Los escritos originales permiten un diálogo intercultural con sus autores, donde estas problemáticas hacen parte de su pensamiento.

El retorno a las fuentes puede ayudar a entender, en primer lugar, que los conceptos que finalmente fueron decantados en el paradigma y que son presentados de manera acabada y precisa en los libros de texto tuvieron una génesis y un proceso de desarrollo. Conocer este proceso permite enriquecer el concepto, flexibilizándolo y sugiriendo nuevos significados y relaciones. Permite reconocer, con mayor facilidad, que el significado del concepto nunca se agota y que toda decantación es por eso provisional.

En segundo lugar, los textos originales, considerados dentro del contexto cultural y científico en el que fueron producidos, permiten entender los problemas que originalmente motivaron la elaboración de un conocimiento particular.

Pueden permitir, además, un acercamiento al proceso que hizo surgir lo nuevo a partir de la situación problemática y, en ocasiones, de las contradicciones y del debate agudo entre posiciones contrapuestas. Por ejemplo, el concepto de “vacío” era un problema teológico en la época de Aristóteles, lo mismo las concepciones plenistas de la Edad Media y las consideraciones energéticas del siglo XVIII, la mecánica newtoniana tuvo su origen en la cultura whig, la física cuántica fue cultivada en Alemania como reacción al determinismo teleológico y las concepciones modernas de caos y complejidad responden a un nuevo sistema de orden mundial.

En tercer lugar, el recurso a la historia de las ciencias y a los textos originales es con frecuencia la única manera de responder adecuadamente a preguntas que se suelen hacer los estudiantes sobre el origen y la fundamentación de principios básicos de la física.

Finalmente, el recurso a los textos originales permite entender, por comparación, los procesos de recontextualización que se operan en los libros de texto. Es decir, resulta posible tomar conciencia de los cambios en el significado de los conceptos y en su articulación respectiva, de las transformaciones en la formulación de los problemas, en el lenguaje, en las formas de argumentación y en los criterios de coherencia y de rigor²⁵.

La construcción de explicaciones

En la propuesta que se presenta se pretende generar condiciones que favorezcan una nueva relación frente al conocimiento, en la que sea posible organizar y ampliar la experiencia y en esa medida establecer una relación de diálogo con los aportes de otros pensadores y con la información que circula en nuestro medio. Dentro del enfoque que nos orienta se aborda el conocimiento como una construcción de sentidos, significados y de explicaciones, en la que se pone de presente la imagen de ciencia como actividad cultural. Ello implica, según nuestra perspectiva, elaborar formas de organización de acuerdo a las preocupaciones individuales en torno a los fenómenos abordados. Dichas formas de organización son dinámicas y se transforman en la medida que se amplían las explicaciones. En este enfoque el compromiso no es con las teorías o modelos de explicación establecidos; en este sentido se hace posible tomar distancia frente a los modelos explicativos y entrar a analizar la experiencia misma. Tener este distanciamiento frente a las formas explicativas usuales permite establecer que las verdades no son reveladas por la autoridad del modelo, sino que ellas se construyen en la medida que podemos validar nuestras formas de organización y socializarla en el contexto cultural en el que nos movemos.

²⁵ García, E. op cit pag 58.

En la presentación usual esta dinámica no es posible ya que la organización viene dada por el modelo explicativo y la actividad cognitiva se reduce, en el mejor de los casos, a explicar situaciones desde el modelo y por lo tanto no genera inquietudes frente a la experiencia como tal. En esta nueva relación con el conocimiento la manera de abordar los libros de texto cambia, lo mismo la información que se tiene en general. Se analiza de los libros aquello que aporta elementos en la organización del fenómeno; no todo lo que dicen los libros se asume como válido o relevante. Los textos son sometidos a un análisis histórico-crítico en un contexto muy particular, donde se posibilita un diálogo con el autor (Ayala 2005). Al asumir una posición crítica y reflexiva, los criterios de verdad no son impuestos, sino producto de la constante reflexión y generación de significados acordes con la manera de organizar el mundo. Tal actividad, a la vez que le permite a la persona construir una imagen del mundo y de sí mismo, le exige su confrontación continua en los diferentes espacios posibles con las organizaciones elaboradas por otros grupos e individuos, buscando estructurar y validar su pensamiento en el contexto cultural donde se desenvuelve.

Los seminarios son espacios de diálogo donde en torno a una situación problemática fundamental derivada de la HC se construyen y validan explicaciones. Las problemáticas propuestas por el docente sugieren experiencias y experimentos que se deben estudiar y que a su vez generan nuevas problemática que sugieren a su vez nuevos experimentos y argumentos y así sucesivamente, convirtiéndose la construcción de explicaciones en una forma de construcción de conocimiento y los diálogos y debates en las formas de socialización. La sustentación en espacios públicos más amplios como congresos y coloquios impulsa la legitimidad del conocimiento y su divulgación.

El papel de la experiencia y el experimento

Desde que se configuró con Galileo la llamada ciencia experimental, esta ha generado múltiples reflexiones por parte de la filosofía de las ciencias y de otras disciplinas en torno al papel del experimento en la actividad científica. Para algunas corrientes como el positivismo el experimento es demostrativo, permite falsear teorías o también resultan ser cruciales para dirimir entre teorías enfrentadas, mientras que para otras corrientes como el relativismo científico, el experimento responde a elaboraciones teóricas no para contrastarlas sino para enriquecerlas y dimensionarlas. Pero sea cual sea la corriente filosófica comparto con Artigas que “no existe un control experimental que sea totalmente independiente de interpretaciones teóricas”²⁶ en este sentido el experimento cumple una función esencial en la construcción del conocimiento.

²⁶ Artigas, M. op cit. Pag 43-55.

La experimentación supone observaciones y experiencias, la observación sería imposible sin la percepción de señales sensibles. La experimentación es una actividad que supone la intervención activa en los procesos naturales con el objeto de obtener respuestas a las preguntas formuladas hipotéticamente, de acuerdo con un plan establecido. De otra parte, la experiencia es asumida de una forma diferente a la usual²⁷. El término experiencia se utiliza en sentidos diversos, uno de ellos es que designa los sucesos que tienen un impacto vital sobre los individuos concretos, esto es, enriquecen sus conocimientos de un modo personal y se refiere al impacto que el conocimiento recibe de los hechos. Los hechos son construidos y organizados. En la organización de los fenómenos físicos la experiencia no está dada, hay que construirla. Construir experiencia es llenar de sentido una actividad en la que la práctica es un medio de constante reflexión sobre el fenómeno abordado. En este sentido construir experiencia que sea sensible a partir de las preocupaciones individuales resulta significativo. En la propuesta que se hace en este libro la experiencia sobre los fenómenos neumáticos e hidrostáticos no está dada, es necesario a partir de las preguntas e indagaciones históricas que se empieza a construir, y en la misma medida sugiere nuevas preguntas y por lo tanto nuevas experiencias que hacen que la imagen del fenómeno se amplíe cada vez más.

En síntesis, con este libro se espera, en particular, contribuir a promover la imagen de ciencia como una actividad con un carácter eminentemente cultural e histórico; donde las obras de los científicos, teorías, conceptos, procedimientos, en fin, los productos de la actividad científica se conviertan en un referente que adquiera significación en la medida en que logremos con intenciones y sentidos propios aproximarnos a él, para que en ese proceso de diálogo, así posible, podamos elaborar nuevos sentidos y significados y de esta manera avanzar en nuestra organización y ampliación de nuestra experiencia y en la elaboración de criterios de acción.

Recontextualización del conocimiento científico

En la década de los 80 se divulgó en el medio académico la obra del sociólogo Basil Bernstein quien consideraba que las dinámicas sociales están sujetas a constantes procesos de recontextualización, esto es: “situar, insertar un conocimiento de manera significativa en un nuevo contexto, diferente de aquel en el que se originó”²⁸.

²⁷ El papel que usualmente se ha asignado a la experiencia es demostrativo. Se parte de algunos referentes conceptuales y luego se contrastan con la experiencia. En este sentido la experiencia misma es cuestionable, pues ella es artificiosamente ajustada para arrojar los resultados esperados.

²⁸ BERNSTEIN, B., “La construcción social del discurso pedagógico” ed. Griot, Cap 4 “Sobre el discurso pedagógico”. Citado en :Granes José, et al “la educación como recontextualización” Rev. Momento, Dpto de Física Universidad Nacional de Colombia, No 14-15, dic 1997.

Siguiendo las tesis de Spengler y Fleck, Berstein asumía que cada sociedad produce conocimiento que tiene validez y significado en su propio contexto cultural, fuera del contexto el conocimiento pierde su sentido y originalidad. Lo que hacen las sociedades para comunicarse y transmitir conocimiento es a través del proceso de recontextualización.

Para las investigaciones actuales en didáctica de las ciencias este ha sido un concepto que ha posibilitado la apertura a nuevas formas de abordar la enseñanza y de tener en cuenta las problemáticas y necesidades inherentes a los conceptos de la ciencia.

Las versiones del conocimiento científico que aparecen en los textos de enseñanza son recontextualizaciones de los saberes originales (Granes 1998); y si seguimos a Kuhn, se podría afirmar que un libro de texto que presenta en la forma más articulada y coherente posible un determinado paradigma científico, tal como es aceptado por la comunidad científica de la época es ya en sí mismo un ejercicio de recontextualización²⁹. De esta manera la neumática que se conoce en los medios escolares a través de los textos son recontextualizaciones de las elaboraciones de los pensadores que aportaron a la constitución de este campo de la física.

Sin bien la enseñanza de la física puede ser considerada como una actividad de recontextualización del conocimiento, se pueden establecer diferentes formas de asumir esta actividad.

- a) Quienes defienden la transmisión de contenidos consideran que la recontextualización es una actividad ilegítima, que es necesario en la medida de lo posible evitarla. Se asume la enseñanza como la transmisión del conocimiento del contexto de las comunidades científicas al contexto del estudiante en la cual se torna imperativo reproducir lo más fielmente posible ese conocimiento.
- b) Otros autores y maestros asumen la recontextualización como la modificación o transformación inevitable que deben sufrir los conocimientos desde las comunidades científicas que lo producen hasta los nuevos contextos culturales que lo apropian; modificaciones sufridas de acuerdo a las necesidades de la comunidad particular. Se parte así, de un conocimiento establecido por las comunidades científicas, el cual es apropiado por una determinada comunidad cultural, de acuerdo a las necesidades y problemas que ella tenga. En este sentido el conocimiento sufre una transformación para poder ser apropiado. Se diferencia de la anterior perspectiva en cuanto se asume como punto de partida que la transformación de los contenidos –que expresan el conocimiento validado

²⁹ Tomado de: GRANES, J. et al “La educación como recontextualización” Rev. Momento, Dpto. de Física Universidad Nacional de Colombia, No 14-15, dic 1997.

por la comunidad científica— es inevitable y ello legitima en cierto sentido la elaboración de nuevas versiones e interpretación. J. Granés reivindicando esta perspectiva afirma:

“ la primera perspectiva tiende a devaluar los procesos de recontextualización y a considerar la enseñanza como una suerte de simulación que remeda las prácticas reales de la investigación. La segunda perspectiva enfatiza la creación de nuevos significados y de nuevas relaciones en los procesos de recontextualización que podrían constituir incluso aportes cognitivos”.

Desde esta mirada de la recontextualización el maestro es considerado como un mediador entre dos culturas diferentes, la cultura científica, de la cual extrae el conocimiento y la cultura donde se desenvuelve, en la que apropia el conocimiento. El maestro se convierte en “anfibio cultural” (Mockus 1993) que se mueve por entre todos estos medios culturales, circulando el conocimiento.

- c) Es posible distinguir una tercera perspectiva para la que no es posible separar el conocimiento de quienes lo elaboran y le dan significado, es la convicción que funda y diferencia esta perspectiva de las dos anteriores. Es decir, no hay propiamente, un ‘producto’ para ser recontextualizado que sea susceptible de ser separado de la actividad de producción de significados y que pueda llamarse ‘conocimiento’. Se asume, pues, la recontextualización como una actividad que genera las condiciones para que estudiantes y maestros se involucren en la actividad de organizar los fenómenos; y es precisamente en esa actividad que paralelamente se conforman problemas, se configuran fenómenos y se construyen los aportes de quienes han contribuido a la formación de tradiciones en el conocimiento. Es claro que esta perspectiva según Ayala:

“no supone o implica una actividad solipsista; implica eso sí una nueva relación con el conocimiento, con los “productos científicos” y los planteamientos de los científicos con la información en general, en la medida en que posibilita establecer un diálogo con los autores analizados con miras a avanzar en la elaboración de una estructuración particular de toda la clase de fenómenos abordados”³⁰.

Así desde este enfoque, la construcción de significados en torno a las obras de los científicos se daría en relación con las preguntas y problemas que la persona se plantee sobre los fenómenos a los que estos corresponden.

³⁰ Ayala M M. “Análisis histórico crítico y la recontextualización de saberes científicos” Preimpresos. Universidad Pedagógica Nacional. 2005.

SOBRE EL ESTUDIO DE LA MECÁNICA DE FLUIDOS

Si la ciencia es asumida como una actividad cultural cambiante y sujeta a las necesidades particulares de una comunidad, entonces la relación con la historia está también sujeta a dichas necesidades. En este sentido se analiza la historia a partir de una necesidad particular y con unas intenciones definidas. Una manera de abordar la historia en la enseñanza de las ciencias sustentada en los criterios anteriores es la que se presenta en este libro para el caso de la neumática e hidrostática. A partir de la necesidad de dar sentido y organizar las experiencia sensible en torno a lo atmosférico, se hace un análisis histórico-crítico de los escritos originales de los científicos cuyo aporte ha sido significativo en la organización y evolución del fenómeno. Dicho análisis sólo es posible desde las necesidades de conocimiento que lo orientan, por lo tanto las problemáticas estudiadas son restringidas a dicha necesidad, de tal manera que en la interpretación que se hace de la problemática se pueda hacer un ejercicio de recontextualización al plano de preocupaciones que la determinaron.

El trabajo con Torricelli, Pascal, Boyle... son una muestra clara del tipo de relación que se asume con la historia y lo que se analiza en los escritos originales. Los historiadores y quienes divulgan el conocimiento científico por ejemplo, se refieren a Pascal como la persona que aportó a la filosofía y matemática, pero poco han escrito sobre la importancia que para Pascal tuvo considerar el comportamiento del aire como un líquido y asimilarlo a la ley de equilibrio de los líquidos.

Dificultades en torno a la enseñanza de la mecánica de fluidos

Las investigaciones en torno a la enseñanza y aprendizaje sobre el comportamiento del aire y los fluidos en equilibrio ha sido frecuente. Sin embargo la forma de enfocar el problema ha sido diferente. A continuación presentaré algunas de ellas para destacar posteriormente la importancia de la propuesta que se presenta en este libro.

Caso 1: Mazurano et al investigaron en torno a las dificultades conceptuales y procedimentales en temas relacionados con la presión y los fluidos en equilibrio (Mazurano 2005); en sus informes identifican las dificultades más frecuentes que presentan los alumnos al estudiar el concepto de presión y su aplicación al estudio de los fluidos en equilibrio, la importancia de algunas habilidades procedimentales involucradas en experiencias sencillas. Entre las dificultades encontradas consideraron las siguientes:

1. Grafican la fuerza con sentido contrario al de la fuerza aplicada cuando se les pide que expliquen qué sucedería al tratar de cortar la papa con la hoja del cuchillo. Tampoco muestran un manejo adecuado y simultáneo de las variables *fuerza y superficie*.
2. Consideran que la presión disminuye con la profundidad cuando se les pregunta que ocurre cuando se introduce un tubo, con una lámina de cartón, en un recipiente con agua.
3. Relacionan en forma incorrecta fuerza y presión cuando en la misma experiencia se pregunta qué ocurre si se cambia el tubo por otro de mayor diámetro.
4. Tienen dificultades para relacionar y controlar variables y hay una indiferenciación de los conceptos (fuerza y presión, fuerza y velocidad, peso y empuje).
5. Consideran la fuerza de empuje y las condiciones de flotabilidad sólo en relación con el peso del cuerpo cuando se les pide que con un trozo de plastilina realicen varios objetos y los coloquen sobre agua para ver si flotan.

La preocupación de los investigadores para superar las dificultades observadas estaba orientada por la organización de una guía de actividades que parten de: primero, hacer las experiencias, segunda, buscar información (definiciones) y bibliografía sobre los temas presentados, tercero, aplicar los conceptos encontrados en la bibliografía a nuevas situaciones, por ejemplo, por qué pinchan los objetos puntiagudos? Por qué te hundes menos en la nieve si usas esquís?

Esta forma de presentar las actividades permite evidenciar que por un lado están las actividades de exploración de las ideas de los estudiantes y por otro el aprendizaje de los conceptos a partir de las definiciones, pero no se evidencia aprendizaje con relación a la aplicación de las definiciones en la solución de nuevos problemas propuestos.

Caso 2: R. Driver presenta estudios realizados sobre el comportamiento del aire con estudiantes de distintas edades. En su estudio se encontraron las siguientes dificultades:³¹.

1. Algunos estudiantes estaban menos seguros de que hubiera aire dentro de un recipiente herméticamente cerrado
2. Algunos niños sólo asociaban la existencia del aire con la sensación que experimentaban cuando se movían
3. Algunos niños pequeños consideraban que el aire y el humo existen sólo de forma transitoria, algo similar a los pensamientos que son transitorios.

³¹ Driver, R. et al “Dando sentido a la enseñanza en la secundaria” capítulo 13. ediciones VisorDis, S. A. Madrid. 1999.

4. Algunos niños parecía que no diferenciaban el peso y el volumen y utilizaban el tamaño aparente de un recipiente de aire como indicador de su peso.
5. Algunos niños consideran que el aire tiene peso negativo o no tiene peso.
6. Algunos niños consideran que el aire y la gravedad son inseparables; que en el espacio las cosas no caen porque no hay atmósfera y, en ausencia de aire el peso se hace cero.
7. Algunos alumnos pensaban que sólo el viento tenía presión, y el aire no.
8. Algunos alumnos estaban menos inclinados a pensar que la presión actuara en todas las direcciones, se inclinaban a pensar en una mayor presión hacia abajo.
9. Las explicaciones de los alumnos sobre los cambios que se observan con los pitillos (pajillas) y las jeringas se debe a que el aire o un vacío “chupan”
10. Los escolares tienden a asociar la presión en los gases con aire en movimiento, suponiendo que la presión actúa en la dirección del movimiento
11. La mayoría de los estudiantes consideraban que las fuerzas en el aire sólo actúan cuando una fuerza externa produce movimiento y en ese caso, sólo en la dirección del movimiento. Por lo tanto en condiciones de equilibrio (cuando no se percibe movimiento) los estudiantes decían que el aire no estaba “haciendo nada”
12. Cuando se les pedía que interpretaran situaciones que implicaban presión atmosférica, tendían a dar explicaciones en términos de que un vacío chupaba o empujaba, o una idea de que los espacios tienden a llenarse (es decir, que es difícil mantener un vacío en la naturaleza)
13. Otros estudiantes utilizaban la idea de que la atmósfera presiona hacia abajo sobre las superficies pero no extendían esta idea a una explicación en términos de diferencia de presión.

El estudio exhaustivo de muchos investigadores compilado por Driver para detectar las dificultades de los estudiantes en distintas edades sobre el comportamiento del aire deja claro que a pesar de una enseñanza de los conceptos de forma tradicional, los estudiantes siguen presentando dificultades para comprender y explicar los fenómenos estudiados y las situaciones cotidianas presentadas.

Caso 3: En una investigación realizada sobre neumática e hidrostática por Ayala y García (1992) se identificaron las siguientes dificultades alrededor de algunas situaciones prácticas que tiene que ver con tales fenómenos, para ello se diseñaron cuestionarios con el fin de explorar las formas cómo los estudiantes las abordan, así como el nivel de información adquirido por ellos sobre la mecánica de fluidos.

Se buscaba con ello que el docente diera tener una primera visualización de los posibles problemas que surgen en la construcción de una conceptualización sobre los fenómenos en cuestión. El análisis de las respuestas dadas a los cuestionarios permite destacar los siguientes rasgos conceptuales de las explicaciones de los estudiantes sobre los fenómenos considerados, que describiremos a continuación³²:

1. **Acción interna:** Existe en las explicaciones un elemento interno que da cuenta de los fenómenos observados. Para referirse a dicho elemento los estudiantes designan la existencia de algo, un ente, o bien la acción como tal. Así, a dicho elemento interno puede llamársele con diferentes nombres, a saber: vacío, aire, fuerzas magnéticas o viento, que a la postre son los causantes de que, por ejemplo, “el agua no caiga del vaso” cuando este se encuentra invertido sobre una lámina de papel. Este elemento interno goza de ciertas propiedades o cualidades que le identifican: “hace fuerza”, “puede chupar”. El elemento interno es entonces un ente activo capaz de sostener y de levantar grandes cantidades de líquido: “por muy largo y grande que sea el vaso el viento siempre lo chupa”, dicen los estudiantes.

Otra de las propiedades que manifiesta el elemento interno es adherirse a las paredes del recipiente en el que está contenido. Algo así como si quisiera escapar por los poros del cristal, o más aún, como si formara una especie de pegamento que liga el líquido al vaso o a dos superficies lisas entre sí. Lo cierto es que esta propiedad del elemento interno responde satisfactoriamente en un primer nivel a las expectativas del estudiante y le permiten sostener este criterio con muchos de los fenómenos que enfrenta.

2. **El aire encerrado:** Se diseñó para ello un cuestionario relacionado con jeringas en varias situaciones prácticas, detectándose que en todas las situaciones planteadas siempre se encontraba la intervención del aire. A los estudiantes la idea de un vacío interno les resulta muy familiar; pero no un vacío donde hay ausencia total de materia, sino aquel en el que no se ve nada. Por eso tienen la tendencia de confundir el aire con el vacío y a dotarlos a ambos de las mismas propiedades. En todos los fenómenos en donde sostenían presentarse el vacío, consideraban que siempre debería quedar algo dentro que ejerciera acción, y ese algo era aire comprimido o rarificado cuyas manifestaciones describimos en el aparte sobre el elemento interno. Es decir, consideraban un vacío aparente. Pero, en lo relativo a la acción del aire se encuentra que éste en sí mismo no puede causar ningún efecto, ni ejercer fuerzas, ni actúa sobre los cuerpos.

³² García Edwin. La neumática de Pascal, elementos para la enseñanza del concepto de presión atmosférica desde una perspectiva constructivista. Tesis de grado. Universidad Pedagógica Nacional: Bogotá. 1992.

Para que el aire se manifieste se requieren condiciones especiales. Se requiere en primer lugar que esté encerrado, de ahí su carácter interno. Pero, ¿por qué el encerrar al aire lo coloca en condiciones de actuar? Es posible asimilar el aire a un resorte. Por un lado, se puede considerar que en espacio abierto el aire es como un resorte que no está estirado ni comprimido; en un espacio cerrado es un resorte comprimido que tiene una tendencia a estirarse y por lo tanto a actuar. Pero, para los casos considerados que privilegian la dirección vertical, la tendencia a moverse es hacia arriba. Así por ejemplo, ante la pregunta de por qué el líquido permanece en el pitillo cuando su extremo superior es tapado con el dedo, y no en el caso contrario; algunos estudiantes visualizan la situación en la siguiente forma: cuando el dedo se coloca en el extremo superior del pitillo el aire queda encerrado y se genera la tendencia a salir por el orificio que está tapado por el dedo, arrastrando consigo al agua y sosteniéndola. Cuando el dedo deja de tapar el orificio, la tendencia desaparece al recuperarse el estado natural del aire. En los cuestionarios muchos alumnos mencionan que el aire quisiera escaparse pero como se encuentra encerrado entonces hace todo un esfuerzo desesperado arrastrado consigo el líquido y evitando su caída. Por otro lado, cuando se trabaja con jeringas, se plantean situaciones que involucra la rarefacción del aire contenido al interior de ésta. En este caso el aire es asimilado también a un resorte, pero se le piensa como un resorte estirado cuando está en condiciones de actuar. Así, cuando el émbolo de la jeringa está en la posición más baja, se considera que entre la superficie del émbolo que está en contacto con ella queda aire en un estado natural, de no acción; al subir el émbolo el aire se estira, generándose en éste una tendencia a recuperar su estado natural; debido a esta tendencia el aire ejerce sobre el émbolo una fuerza hacia abajo y sobre el dedo que taponaba la abertura una fuerza hacia arriba. Esta acción del aire es evidente también cuando la abertura de la jeringa está sumergida en agua y el émbolo es levantado. En otras palabras, la posibilidad, de succionar está íntimamente ligada a la rarefacción del aire contenido en el interior de la jeringa. Se puede concluir entonces que el aire sólo puede ser un elemento activo mientras se encuentra encerrado; solo así es posible ponerlo en condiciones de acción: ya sea comprimiéndolo o rareficándolo. Es claro que tal forma de entender estos fenómenos, no es compatible con el concepto de presión atmosférica.

3. Límites de la acción del elemento interno: Con el fin de averiguar más sobre el aire como elemento interno se desarrolló un nuevo cuestionario que pretendía determinar cuál es, o cuáles son los posibles límites de acción de éste. La acción que puede ejercer el aire, puesto en condiciones de hacerla, es variable. La fuerza que ejerce el aire es capaz de sostener o levantar grandes cantidades de líquido al interior de un tubo, pues a medida que éste aumenta también aumenta aquella. Pero la fuerza del aire puede aumentar hasta un cierto límite: lo cierto es que hay cantidades de líquido que el aire ya no puede sostener, al hablarse de tubos o jeringas de grandes proporciones,

unos diez o veinte metros de longitud, los estudiante piensan que es imposible que un líquido pueda subir toda esa distancia, mientras que hablar de uno a cinco metros es más razonable, pues la distancia no es muy grande. En cuanto a la capacidad de los recipientes no diferencian un líquido de otro sino que todos son lo mismo, más bien si es mucho el líquido en cuestión entonces el recipiente no lo puede sostener y por lo tanto éste se caerá.

4. El equilibrio de los líquidos: El análisis de las respuestas de los estudiantes encuestados en torno al fenómeno del equilibrio de los líquidos, permite destacar tres formas características en sus explicaciones. Una, cuando se les pregunta qué sucede cuando a un sistema de vasos comunicantes se le agrega agua por la rama más delgada, ellos consideran que el líquido contenido en el recipiente se resiste a ser desplazado, de modo que cuando se vierte más líquido sobre él (u otro líquido) éste permanece inmóvil, teniendo que llenarse el brazo por donde se vierte el líquido. En algunos casos se considera que si la rapidez de caída del líquido y su cantidad es grande entonces logra vencer la resistencia del líquido que reposa en el recipiente, logrando desplazarlo un poco. De todas maneras el nivel alcanzado por el líquido es mayor en la rama del recipiente por donde se vierte el líquido. En la segunda, se asume una acción unidireccional. El agua vertida es activa, mientras que la que reposa en el recipiente es pasiva, no ofrece resistencia alguna a ser desplazada por el agua vertida. Se alcanza así un mayor nivel en el brazo contrario al brazo por donde se vierte el agua. La última, parte de la consideración de que la cantidad de líquido vertido debe repartirse igualmente entre las dos ramas del recipiente. De esta forma si los brazos son iguales los niveles alcanzados serán iguales; pero si no lo son, el nivel es mayor en el brazo de área menor. Sin embargo, algunos veían que las cantidades se repartían teniendo en cuenta las áreas de los brazos del recipiente; de esta manera se preveía el mismo nivel para los dos brazos. Es importante notar que desde esta perspectiva no existe diferencia si el líquido vertido es el mismo que el que reposa en el recipiente (agua-agua) o si es otra (agua-aceite). Lo destacable en todas estas formas de abordar el fenómeno de equilibrio de los líquidos es que el peso de estos no juega ningún papel en la definición de las condiciones de equilibrio de los mismos. Es la cantidad del líquido o el movimiento de éste lo que define la configuración de equilibrio.

Caso 4: En una investigación realizada con estudiantes universitarios de programas de licenciatura en ciencias naturales en la Universidad del Valle (García 2006) se encontró que, a pesar de haber pasado por cursos de física presentan dificultades para explicar fenómenos relacionados con la neumática y la hidrostática a saber³³:

³³ García E. notas sobre el curso de educación en física, exploración de conceptos. Universidad del Valle. 2006.

1. Al preguntar por qué resulta difícil separar dos superficies completamente lisas y pulidas las respuestas se orientaban en que al interior, o sea entre las superficies queda aire que no se deja estirar (elemento interno) otros estudiantes afirman que es posiblemente por una propiedad característica de estas superficies.
2. Por qué resulta difícil subir el émbolo de una jeringa cuando tapamos con el dedo su abertura? Las respuestas no tenían en cuenta la presión atmosférica sino el aire o vacío encerrado que no permite salir u ofrece resistencia como un resorte.
3. Al preguntar qué sucede cuando se agrega agua a un sifón que posee un brazo con un diámetro menor que el otro las respuestas de algunos estudiantes es que la columna del líquido sube más en el tubo delgado porque el aire actúa con una mayor presión en el tubo grueso por haber un área mayor.
4. Al preguntar por qué un globo se infla cuando se encuentra en una máquina neumática a la cual se le extrae aire, algunos estudiantes explicaban que la presión interna del globo aumentaba, lo que hacía que éste se inflara, no tenían en cuenta la diferencia de presiones.
5. Al preguntar por qué si se tapa con un dedo un orificio de un pitillo que contiene agua, ésta no se cae? La explicación de los estudiantes se da en torno a una fuerza del aire que actúa tanto adentro como afuera que equilibra las acciones. En estas explicaciones el equilibrio lo establece la fuerza del aire y no tanto el peso del líquido.
6. Al preguntar por qué en la experiencia de Torricelli, realizada en una máquina neumática el mercurio no cae totalmente cuando se extrae el aire de la campana, algunos estudiantes afirman que dentro del tubo queda algo de aire que “hala” el mercurio hacia arriba y no lo deja caer.

Sobre las formas de explicar los fenómenos

Es posible hacer algunos comentarios generales sobre la forma como los estudiantes en cuestión abordan y explican las situaciones planteadas en torno a los fenómenos relacionados con la presión atmosférica en todas las investigaciones referenciadas. Para empezar, debemos destacar que no hay diferencia de base entre las explicaciones dadas por los estudiantes de secundaria y las expresadas por los estudiantes universitarios, lo que pone de relieve que no importa el nivel de formación que se tenga, cuando se enfrentan los estudiantes frente a situaciones prácticas y cotidianas, las deficiencias en las explicaciones se hacen evidentes³⁴.

³⁴ Parte de las “disculpas” dadas por los estudiantes universitarios es que aprenden a repetir definiciones y resolver problemas numéricos, pero no a confrontar las experiencias directas y los fenómenos mismos.

Existe la tendencia natural de los estudiantes a dar respuestas inmediatas, asociando términos que les resultan familiares y que de alguna manera les ayudan a dar la respuesta. Algunas de las respuestas inmediatas son, por ejemplo: ... el agua no cae porque el vaso está cerrado, o... Porqué el pitillo tiene el dedo. Parece que su preocupación fundamental es dar una respuesta y no la calidad de la misma. Pero al ser sometidos a dar una mejor explicación sobre lo que observan, comienzan a plantear explicaciones más elaboradas.

Existe también otra serie de elementos que intervienen en las explicaciones que dan los alumnos; se hace uso de los términos que recuerdan de los textos o de los que escuchan usar a sus profesores, y que no tienen mayor significación para ellos, pero que conectan con las preguntas y situaciones planteadas. Utilizaban, por ejemplo, términos como: vacío, fuerzas magnéticas, oxígeno, etc., que aparecen en los textos. O daban respuestas como: “el agua no cae por la presión atmosférica”, “el agua no cae por el peso del aire”, pero al preguntárseles por el sentido de estas afirmaciones eran incapaces de darlo.

Dado lo anterior podemos concluir que si bien los conceptos de la mecánica de fluidos desde el punto de vista físico pueden resultar muy sencillos, presentan desde el punto de vista pedagógico grandes dificultades. Incluso se encuentra cómo los libros de texto explican el hecho de que el agua no se derrame en un vaso con agua invertido boca abajo o en un pitillo tapado en su parte superior por el dedo es debido a la presión atmosférica. Este tipo de explicaciones o definiciones no tiene en cuenta que alrededor de estos fenómenos pueden haber otro tipo de explicaciones más significativas para el alumno, por ejemplo, la acción de un elemento interno (al que ellos llaman de muchas maneras). Por otro lado, parece olvidarse que hay grandes dificultades en hacer manifiesta para los estudiantes la acción del aire en estado de reposo (Driver 1999).

De acuerdo a las dificultades planteadas anteriormente, con este libro se pretende dar elementos para hacer una propuesta que le permita al alumno desarrollar su conocimiento desde un enfoque sociocultural, esto es identificando las problemáticas sociales e ideológicas que estaban en juego al momento de defender conceptos como “vacío” “presión” “equilibrio” “plenum” y que pueda de esta manera, a través de experiencias y cuestionamientos, tener una visión del comportamiento de los líquidos y la acción del aire y así llegar a una comprensión más racional y práctica de la ley del equilibrio de los líquidos y la elasticidad del aire con sentido y aplicación en su propio contexto.

PARTE II

**PÁGINA EN BLANCO
EN LA EDICIÓN IMPRESA**

CAPÍTULO 3

LA PROBLEMÁTICA DEL VACÍO

Es frecuente escuchar hoy en día expresiones como “empacado al vacío”, “el espacio es vacío” o en las clases de física “la mayor parte del átomo es vacío”, “considérese condiciones de vacío”, “el tubo de vacío de Newton” o “la bomba de vacío”, “la permisividad del vacío”... todas ellas presentan una idea de vacío, sin embargo la importancia del estudio de este concepto suele pasar desapercibido en la enseñanza de la física, ya que las dificultades en su comprensión se hacen evidentes a tal punto que incluso algunos estudiantes consideran aún que en el vacío los cuerpos flotan, o que el vacío ejerce fuerza. Lo que se pretende en este capítulo es mostrar la importancia histórica de este concepto, la problemática en que se configuró y su papel para comprender la importancia de la acción del aire en los fenómenos.

EXPLORACIÓN DE IDEAS

1. Explique ¿qué entiende por vacío?
2. Cuando se dice “el vaso está vacío” ¿el término vacío es igual que cuando se dice “empacado al vacío”?
3. Cuando a una pequeña jeringa tapada con el dedo se le hala el émbolo con fuerza, éste sube un poco, ¿qué crees que hay dentro de la jeringa?
4. ¿Qué comportamiento esperas de un pequeño globo que se encuentra en el vacío y qué esperas del mismo globo en el aire?

EL PROBLEMA DEL VACÍO EN LA ANTIGÜEDAD

Un problema artesanal conocido desde la antigüedad era la dificultad para poder subir el agua desde las pozos profundos hasta la superficie, pues las bombas de succión o bombas impelentes construidas en la época sólo lograban hacerlo para pozos de poca profundidad (menos de 10, 5 metros aproximad) (fig. 1). La pregunta que se hacían los artesanos era, ¿por qué el agua se rehúsa seguir subiendo para pozos de mayor profundidad, si las bombas son de la mejor calidad?

Actividad: discute con los compañeros qué factores pueden incidir para que el agua no suba más allá de 10,5 metros en la bomba impelente?

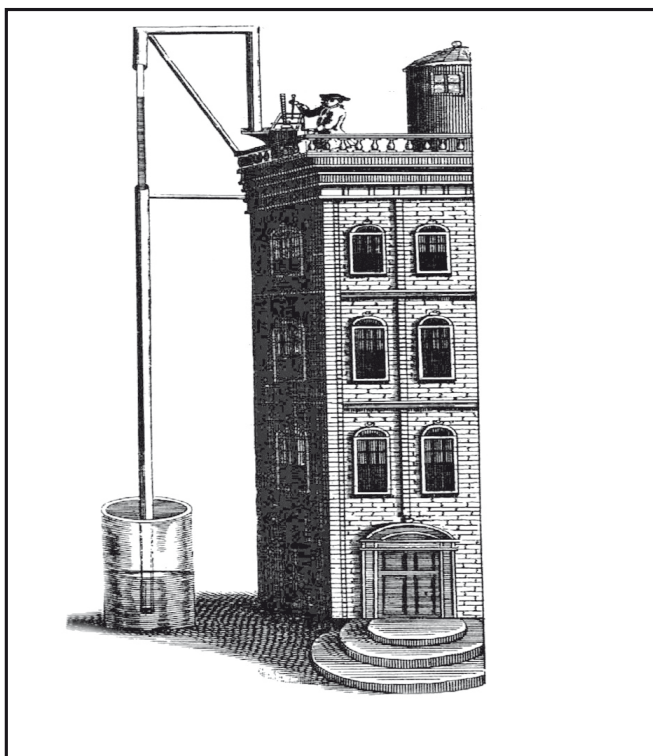


Fig. 1
La bomba impelente de la Edad Media.

En principio se creyó que el problema era que las bombas no eran fuertes y resistentes, se mejoraron las bombas pero la dificultad permaneció, incluso muchas de ellas se rompían al intentar succionar el agua más allá del límite encontrado (18 brazas) pero ¿por qué se rompían? ¿qué fuerza se producía tan grande como para romperlas?

Aristóteles (384-322 a.c.) uno de los grandes sabios de la antigua Grecia, propuso que las bombas se rompían porque antes que aceptar un vacío entre el pistón y el agua la naturaleza destruiría el pistón. Su idea principal de origen teológico es que la naturaleza (Dios) lo llena todo y por lo tanto no puede existir un espacio vacío (un espacio donde Dios no esté), la naturaleza tiene repugnancia al vacío y antes que aceptarlo lo rechaza.

La explicación de Aristóteles pone en el centro del debate la idea de vacío. Demócrito y Leucipo ya habían opinado al respecto muchos siglos atrás al considerar lo contrario, que la mayor parte de la naturaleza es vacía, si bien sus argumentos fueron importantes, no tuvieron la incidencia que se esperaba en términos de la ideología dominante en la época. La posibilidad de que hubiera un lugar donde Dios no esté era imposible de concebir, entonces se hizo necesario defender la idea de Aristóteles, el vacío es imposible en la naturaleza. Este estilo de pensamiento llamado “horror al vacío”, que en griego se expresaba como “horror vacui”, lo aplicaba Aristóteles en la física para explicar los fenómenos conocidos en ese momento, por ejemplo el movimiento de los cuerpos: “Dado que la velocidad de un cuerpo es directamente proporcional a su peso e inversamente proporcional a la densidad del medio, entonces el movimiento de un cuerpo en el vacío supondría velocidades infinitas, lo que implicaría estar en dos lugares a la vez y esto no se puede dar en la naturaleza”.

El espacio desalojado por un cuerpo es por naturaleza ocupado por algún elemento, aire, agua, etc. De tal manera que nunca se podrá crear el vacío. Una flecha que es lanzada deja tras de sí un espacio que tiende al vacío pero como la naturaleza lo rechaza entonces rápidamente el aire cubre ese espacio llenando e incluso ayudando a impulsar la flecha (Aristóteles).

Actividad: comente en un escrito las fortalezas y debilidades del pensamiento de Aristóteles en torno al vacío.

La creencia y el respeto que tuvieron estas ideas por varios siglos, hasta la Edad Media, fueron elemento fundamental al explicar los fenómenos observados. Los tradicionalistas o peripatéticos (seguidores de las ideas de Aristóteles) defendían la tesis de que en cualquier caso antes que presentarse un vacío, la naturaleza haría hasta lo imposible por evitarlo.

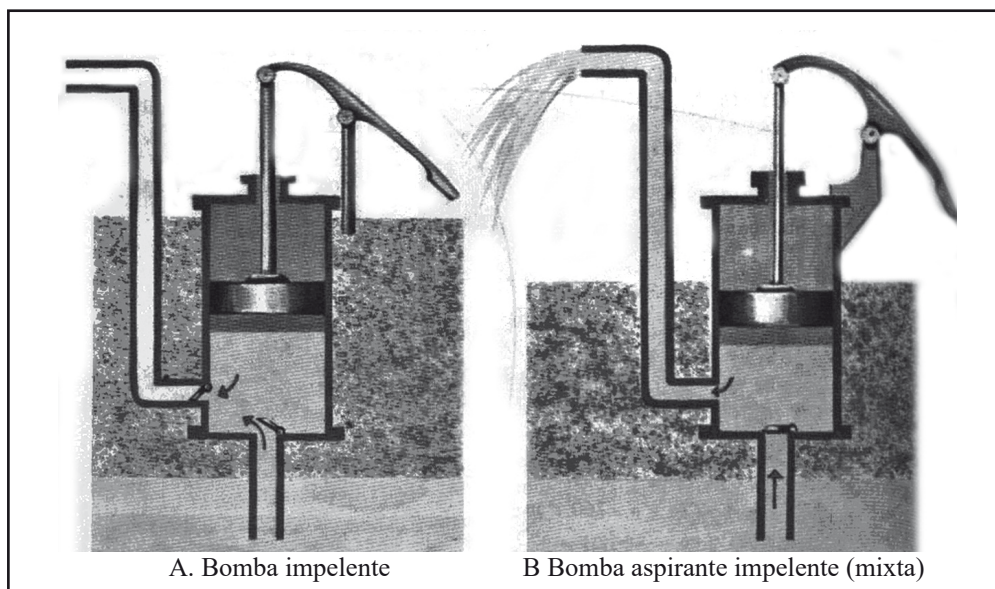


Fig. 2

Con este pensamiento se explicaban muchos de los fenómenos conocidos en ese momento como el funcionamiento de la bomba impelente (fig. 2): decían, que para hacer funcionar una bomba de agua, al levantar el pistón, éste deja un espacio que inmediatamente debe ser ocupado por el agua que se pega a las paredes del pistón, para evitar, precisamente la creación del vacío; de esta manera al subir el pistón, sube el agua pegada al tubo. Sin embargo el problema de por qué se rompían las bombas construidas seguía siendo un problema sin explicación ni justificación.

EL VACÍO EN LA EDAD MEDIA

Galileo y la fuerza de vacío

Quien encaró este problema fue Galileo Galilei (1564-1642) en su libro “Diálogo en torno a dos nuevas ciencias” la pregunta que seguramente se hizo Galileo fue ¿cuál es la fuerza bajo la cual se rompe una bomba de succión? Si la naturaleza aborrece el vacío y lo rechaza, ¿la fuerza con que lo rechaza es la misma o es diferente para bombas de diferente material?

Actividad: piense y explique la siguiente situación: se tienen dos bombas de succión idénticas en medidas y dimensiones pero de distinto material, si la fuerza de repugnancia al vacío fuera la misma, ¿cabe la posibilidad de que una se rompa primero que la otra? ¿qué sucedería con la bombas si la fuerza de repugnancia fuera diferente?

Actividad: discute con los compañeros la siguiente pregunta ¿puede una bomba pequeña sostener la misma cantidad de agua, esto es a la misma altura, que una grande?

Galileo propuso en los labios de Salviati que el vacío sin lugar a dudas existe y que al interior de la bomba existe una “fuerza de vacío” (forza del vuoto) que incluso se puede medir, o sea que si la naturaleza experimenta una fuerza de repugnancia al vacío, esta fuerza debe tener un límite que es el que se manifiesta precisamente al sostener una columna de agua de 18 brazas.

Salviati: hablaré primero del vacío, demostrando con claros experimentos cual y cuan grande es su poder. Sean dos placas de mármol, metal o vidrio extraordinariamente planas, pulidas y bruñidas. Si colocamos a una de plano sobre la otra con toda seguridad conseguiremos hacer resbalar la de encima siempre que nos plazca (argumento convincente de que ningún pegamento las une) pero intentamos separarlas, manteniéndolas equidistantes, y encontraremos tal repugnación a la separación, que la superior levantará y llevará tras si a la otra, por gruesa y pesada que sea, sosteniéndola levantada definitivamente. Esto nos prueba de modo evidente el horror de la naturaleza a tener que admitir aún por brevísimo tiempo, el espacio vacío que entre las dos láminas quedaría antes que la afluencia del aire ambiente lo hubiese ocupado, llenándolo.

Sagredo: permítame que te interrumpa para exponer una reflexión particular, que se me ha ocurrido en estos momentos. Es la siguiente: el ver cómo la lámina inferior sigue a la superior y se levanta durante su movimiento rápido, nos da la seguridad de que, contra las afirmaciones de muchos filósofos, incluso probablemente el mismo Aristóteles, el movimiento en el vacío no es instantáneo, si lo fuera, las dos planchas se separarían sin ninguna repugnación, puesto que el mismo instante de tiempo bastaría para su separación y para la afluencia del aire ambiente y llenar el vacío que entre las dos quedara. El hecho, pues, de que la plancha inferior siga a la superior, nos lleva a concluir que el movimiento en el vacío no es instantáneo, pero al mismo tiempo, nos obliga a admitir que entre esas planchas existe algún vacío, al menos durante brevísimo tiempo, es decir, durante todo el que transcurre en el movimiento del ambiente, mientras afluye a llenar el vacío; puesto que si allí no quedase vacío no habría necesidad ni de afluencia ni de movimiento del ambiente. Será, pues, necesario admitir que a veces se produce el vacío, aunque sea por violencia o contra las leyes de la naturaleza.

Galileo reconoce entonces la existencia del vacío, aunque sea en intervalos muy pequeños de tiempo, y reconoce una fuerza de vacío. Ahora bien, la pregunta que surge es ¿esta resistencia es la misma no importa las dimensiones de las placas? Galileo diseñó una experiencia interesante para medir la fuerza de vacío.

Salviati: tu familiar demonio te asiste (a Sagredo). Diré el modo de apartar de los otros el poder del vacío, después, la manera de medirlo. Para aislarlo tomaremos una materia continua, cuyas partes estén exentas de toda resistencia a la separación, menos del vacío, tal como es el agua, según lo ha demostrado extensamente en alguna de sus obras nuestro académico. Si se pudiera conseguir un cilindro de agua, y al estirarlo, se sintiese que sus partes se resisten a la separación, esta resistencia no podría atribuirse a ninguna causa más que al vacío. Para realizar este experimento he ideado un artefacto cuyo diseño me ayudará a explicarlo mejor que las palabras. Tenemos un cilindro metálico ABCD abierto en un extremo y cerrado por el otro (fig. 3), con su respectivo pistón en madera IK que sube y baja el tapón EGHF (estilo jeringa), pero con una condición, antes del pistón se introduce una porción de agua, de tal forma que el pistón la arrastre. Al invertir todo el sistema boca abajo, del gancho K se suspende un recipiente donde se pueda poner arena u otra materia pesada y se cargara hasta que la superficie superior EH del tapón se separe de la inferior del agua, con la cual estaba unida solamente en virtud de la repugnancia al vacío. Pesando ahora el tapón con el hierro y con el recipiente y su contenido, obtendremos la cantidad de fuerza del vacío.

Tomamos ahora un cilindro de mármol o de vidrio de igual grosor que el de agua y añadámosle un peso tal que juntamente con el peso propio del mármol o del vidrio, sea igual exactamente a la suma de todos los pesos antes citados.

Si la rotura sobreviene, podremos afirmar sin ninguna duda, que las partes del mármol o del vidrio están unidas solamente en virtud del vacío, pero si no basta, y para romperlo hay que añadirle un peso 4 veces mayor, habrá que admitir que la resistencia al vacío es de las cinco partes a una, y que la otra es cuádruple de la del vacío. Se pueden colocar diferentes pesos en el otro extremo del pistón hasta arrastrar el agua, la cual estaba unida con el pistón solamente en virtud de la repugnancia al vacío. De esta manera es posible saber el valor de la fuerza de vacío.

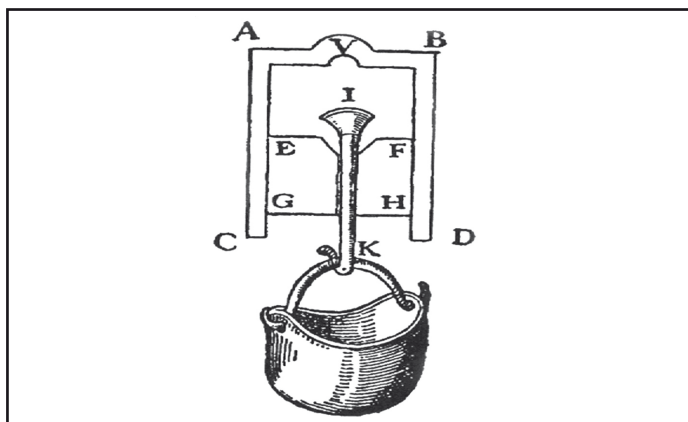


Fig. 3
Experimento de Galileo sobre la fuerza del vacío.

De la misma manera Galileo prueba la fuerza de vacío para diferentes bombas de succión idénticas entre sí pero de distinto material, entre ellas vidrio y mármol y encuentra que el valor de la resistencia al vacío es diferente, siendo en el mármol 4 veces mayor que en el vidrio.

Actividad: interpreta y escribe ¿qué pudo significar para la Edad Media que la resistencia al vacío se pudiera medir?

Torricelli y la existencia del vacío

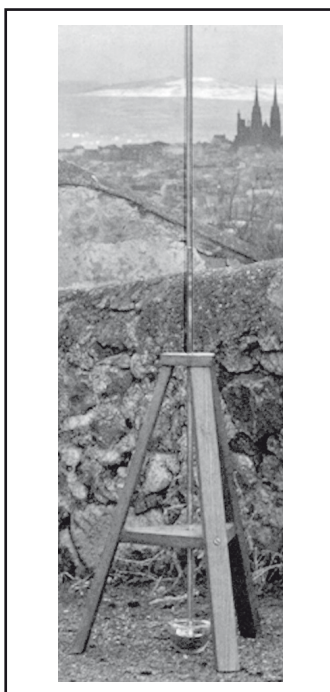


Fig. 4
Barómetro de Torricelli.

Las tesis a favor de la existencia del vacío tuvo adeptos desde la misma antigüedad, sólo que el respeto a la autoridad de Aristóteles no les permitieron abrirse paso. Tuvo que ser hasta la Edad Media cuando se empezaron a cristalizar ideas y experimentos que se pudieron divulgar.

Evangelista Torricelli (1608-1647) amigo personal de Galileo y motivado por su también amigo Magiotti realiza un experimento con el que demuestra la existencia del vacío y lo lleva a concluir que “no sólo la naturaleza no experimenta ningún tipo de horror al vacío –pues realmente vacío queda el espacio de la parte superior del tubo– sino que ni siquiera existe la fuerza de vacío”.

Torricelli lo describe así:

Hemos construido muchos tubos de cristal como éstos que se siguen, A y B, de dos brazas de longitud (aproximadamente 3,28 pies). Después de haber llenado ambos con mercurio, se taparon sus aberturas con un dedo y se pusieron boca abajo dentro de un recipiente C en que también había mercurio: pudo verse cómo se iba vaciando sin que por ello sucediera nada en el tubo que se vaciaba. El cuello AD permaneció, no obstante, lleno hasta una altura de una braza y aún una pulgada y un dedo más (29,92 in. aprox). Con el fin de demostrar que el tubo estaba perfectamente vacío en la parte superior, se llenó de agua el recipiente hasta D; a medida que se levantaba lentamente el tubo y su abertura alcanzaba la zona de agua, el mercurio descendía y el agua se precipitaba dentro de aquel con un violentísimo impulso, llenándolo por completo hasta E. (fig. 5).

Actividad: justifique y escriba ¿por qué esta experiencia demuestra que no existe la fuerza de vacío propuesta por Galileo?

Actividad: discuta con los compañeros; ¿cambiarán los resultados del experimento si uno de los tubos se cambia por otro que tiene un diámetro mucho mayor?

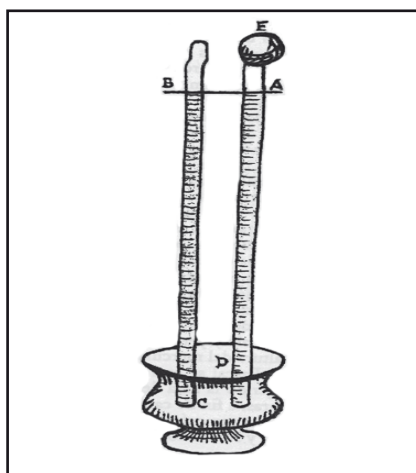


Fig. 5
Experimento de Torricelli.

La experiencia de Torricelli a pesar de ser clara y contundente no resultó ser concluyente, pues los defensores del horror al vacío sostenían que la parte superior del tubo debía estar llena de algo, ya fuera vapores de mercurio o de algún gramo imperceptible de aire, o alguna materia sutil, pero decididamente sosteniendo que en la naturaleza el vacío es un imposible y un absurdo.

Pascal y la inactividad del vacío

[...] “la controversia sobre la existencia o inexistencia del vacío en la naturaleza se revela como la mejor ocasión para combatir la ciega sumisión a la autoridad de los antiguos, así como para arremeter contra la escolástica, convertida desde hacía siglos en la doctrina oficial de la iglesia católica” (A. Helena).

A Blaise Pascal (1623-1662) se le debe una ley física propiamente dicha y es en torno al equilibrio de los líquidos. Pero para llegar allí tuvo que demostrar, como efectivamente lo hizo siguiendo la tesis defendida por Torricelli, que la naturaleza verdaderamente no aborrece el vacío y antes que rechazarlo, lo acepta y además es complementemente inactivo. Escribe un libro donde presenta “Los nuevos experimentos sobre el vacío” experimentos realizados con jeringas, con tubos de diferente longitudes, con sifones y con fuelles (muy utilizados en la época). En ellos cuestiona las ideas “plenistas” de los seguidores de Aristóteles en torno a que la naturaleza lo llena todo como el caso de su compañero y amigo Descartes y promueve la defensa de las ideas de un mundo imperfecto e impuro donde el vacío tiene lugar, “Pascal veía en el cartesianismo un nuevo ropaje para la física aristotélica, una ideología de recambio –apriorista y dogmática– que había que combatir en nombre de la verdad y de la práctica experimental que a ella conduce” (Helena 1984) Estas ideas se convirtieron en una ofensa al orden establecido desde la antigüedad y la imposición de una nueva manera de ver la naturaleza.

El pensamiento tradicional sostenía que existe una fuerza de la naturaleza para evitar la formación del vacío, fuerza que como vimos anteriormente Galileo denominó “fuerza de vacío”. Pascal sostiene que de existir dicha fuerza ella debería tener cierto límite. Demuestra a través de sus experimentos que la fuerza necesaria para hacer admisible el vacío, no es una fuerza muy grande como a primera vista se pudiera pretender, sino que, por el contrario, es pequeña; como la que se utiliza para levantar el émbolo de una jeringa sin que penetre nada en ella. Además, se registra que dicha fuerza puede producir un vacío tan grande como se quiera sin que por ello se modifique su intensidad. O sea que establece un límite, donde la fuerza del horror para producir un vacío aparente pequeño es la misma para producir un vacío aparente grande. De aquí que no sea cierto que al producir un vacío aparente pequeño se necesite una fuerza pequeña, como lo pretendían hacer ver en esa época.

Al indagar por la actividad interna del vacío aparente formado en todos los experimentos, mostró que un vacío aparente pequeño puede sostener la columna de un líquido de la misma forma que lo hace un vacío aparente grande.

Contrariamente a su pensamiento, se creía que si el vacío aparente aumentaba también aumentaba la fuerza para sostener una columna de líquido; y por lo tanto, este podía sostener pesos mayores, es decir la fuerza del vacío aparente aumentaba cuando este también aumentaba. Estableció Pascal que existía un límite de la acción del vacío aparente y que ésta no es mayor a la que debe tener una columna de agua a 31 pies de altura.

También demuestra Pascal que es posible vaciar un recipiente que inicialmente estaba lleno de cualquier líquido y producir en su interior un vacío aparente. Pero cuestiona la realidad de dicho vacío aparente; no es como muchos pretendían que fuera: materia rarificada que se mete al recipiente por los poros del cristal; sino que era en realidad un vacío absoluto, despojado de todo tipo de propiedades materiales. La inactividad de tal vacío –el hecho de que no intervenga para nada en los fenómenos que se le atribuían, ya que los efectos de un vacío muy grande como se quiera o uno tan pequeño como sea posible son los mismos– es su principal argumento.

Experimentos con jeringas

A una jeringa (sin aguja) le tapamos la abertura con el dedo (fig. 6), sumergimos todo el sistema en un recipiente con agua, para evitar que entre aire o vapores (como defendían los peripatéticos). Luego subimos el émbolo lentamente. Pascal encuentra que se produce un vacío aparente en el interior del tubo, que si bien ¡eso no es lo novedoso! Sí recalca que para producir un vacío pequeño se requiere la misma fuerza que para producir un vacío grande. Esto lo traduce en una máxima que dice “dicha repugnancia no es mayor al tener que producirse un vacío grande que uno pequeño”.

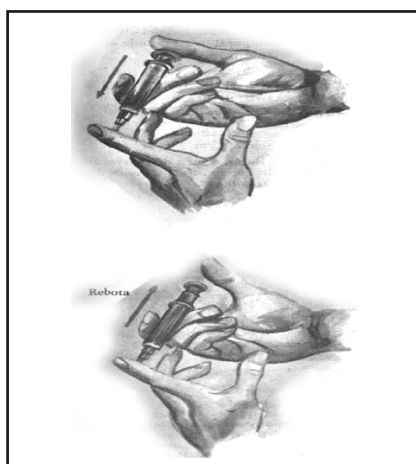


Fig. 6
Experimentos de Pascal sobre el vacío aparente

Actividad: Realiza las experiencias de Pascal pero ahora con jeringas de diferentes diámetros y sumergiéndolas en líquidos de diferente densidad, describe la sensación de dolor que se experimenta en cada caso al producir vacíos pequeños o grandes.

Experimentos con tubos

Con Galileo se funda el método experimental en la ciencia, con el cual se establece una nueva relación con el conocimiento. Pascal sugiere experimentos mentales con tubos de dimensiones muy grandes para la época, tanto así que algunos autores se preguntan si realizó realmente o no sus experimentos. Por ejemplo Alexandre Koyre sostienen que no los hizo ya que era imposible contar con dicha calidad de tubos en esa época y además porque “habla tan bien y tan claramente de sus experimentos que no tuvo necesidad de hacerlos”. Estos experimentos denominados experimentos ideales o mentales, permiten hacer interpretaciones sobre los supuestos que los orientan.

Experimento 1: Tomamos un tubo de vidrio de 16 m de largo y lo llenamos completamente de vino rojo y tapamos la abertura con el dedo. Luego volteamos todo el sistema y lo introducimos en un recipiente con agua a una profundidad de 30 cm; luego quitamos el dedo que taponaba la abertura. El vino comienza a descender a través del tubo hasta una altura de 10.5 m. sobre la superficie del agua y se forma un vacío aparente en la parte superior del tubo (fig. 7).

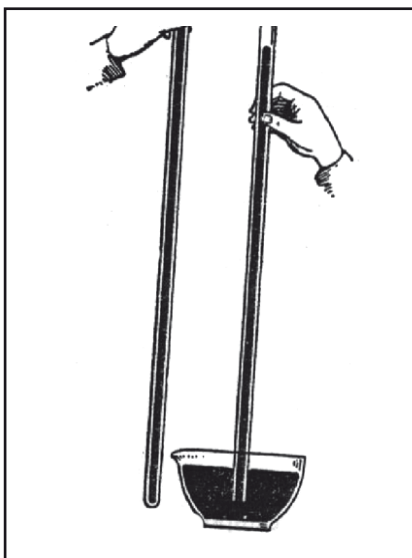


Fig. 7
Tubos de vidrio de 16 m de largo.

Experimento 2: Tomamos el dispositivo anterior pero inclinamos el tubo de modo que el nivel del vino quede por debajo de los 10,5 m. El vino que ha quedado por debajo de los 10.5 m., por causa de la inclinación, comienza nuevamente a subir hasta alcanzar los 10.5 m. de altura sobre la superficie del agua. De ahí en adelante no sube más. Se forma un vacío aparente, más pequeño que el primero.

Experimento 3: Finalmente tomamos el mismo dispositivo del segundo caso pero ahora lo inclinamos de manera que todo el tubo quede por debajo de los 10,5 m. El vino comienza nuevamente a subir mezclado con el agua hasta llenar completamente el tubo y ya no se forma vacío aparente.

En este tipo de experimentos, Pascal plantea dos aspectos fundamentales. En el primero deja claro que el vacío aparente no ejerce ningún tipo de acción; o sea que es completamente pasivo: en cada uno de los casos el vacío aparente no incide para que la columna de vino siempre se encuentre a la misma altura de 10.5 m. Muestra, así, que el tamaño de las dimensiones de dicho vacío pueden variar sin causar efectos secundarios, y puede ser tan grande o tan pequeño como se quiera. En el segundo pone de manifiesto que la fuerza de creación del vacío es limitada y que está determinada por la columna de agua o vino que desciende del tubo hasta una altura particular de 10.5 m.

Actividad: Explique ¿por qué el vino sube nuevamente cuando se levanta el tubo?

Experimentos con sifones

Experimento 1: Tomamos un sifón escaleno cuyos brazos son de 17 m. el más largo y 15 m. el más corto, completamente llenos de agua y con las aberturas tapadas. Introducimos los brazos en dos recipientes llenos de agua de tal forma que un recipiente esté dos metros más alto que el otro; luego quitamos los dedos que taponan la abertura. El agua desciende por los dos brazos del sifón hasta una altura (h) de 10.5 m. cada uno. Al interior del sifón se forma un vacío aparente (fig. 8).

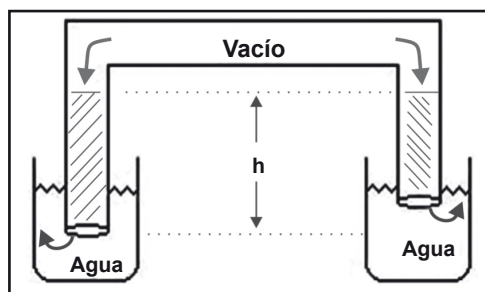


Fig. 8

El agua cae por los brazos del sifón.

Experimento 2: Tomamos el sifón del caso anterior cuando la columna de agua tienen una altura de 10.5 m. e inclinamos todo el sifón de modo que el nivel del agua quede por debajo de los 10 m. El agua que ha quedado por debajo de los 10.5 m. comienza a subir hasta alcanzar nuevamente la altura de los 10.5 m. de ahí en adelante no sube más. Se forma un vacío aparente más pequeño que el primero.

Experimento 3: Tomamos el sifón del segundo caso, pero ahora lo inclinamos totalmente por debajo de los 10 m. de altura. El agua comienza a subir a través de los brazos del sifón tratando de alcanzar los 10.5 m. de altura, pero como sólo está inclinado hasta 10 m. no se forma ningún vacío aparente y comienza a pasar líquido de un brazo a otro, y a circular agua de un recipiente a otro.

Actividad: Explique la relación entre este experimento y el anterior.

Sobre las Máximas de Pascal:

1. Que en verdad existe repugnancia a que los cuerpos se separen entre sí, como sostienen los tradicionalistas es algo evidente. Pero sugiere que dicha repugnancia no es mayor al producirse un vacío más grande que al producirse uno pequeño. Es decir que, no importa la cantidad de vacío que se pueda producir, la repugnancia es la misma.

2. Si bien parte de la idea de que el vacío formado en todos sus experimentos es un vacío aparente –que todos los cuerpos que lo rodean tienden necesariamente a llenarlo– demuestra:

- Que dicho vacío aparente no manifiesta ninguna fuerza ni ninguna acción o alguna propiedad que lo determine, o sea, que es inactivo.
- Que sin importar lo grande o pequeño que pueda ser el vacío, su acción sobre los cuerpos es significativamente nula.
- Que la fuerza de repulsión de los cuerpos al separarse entre sí no es infinita sino que tiene un límite –semejante a aquella con la que una columna de agua de 10.5 m. de altura (aprox.) tiende a caer.
- Finalmente, que una fuerza pequeña puede producir un vacío tan grande como se quiera.

Se hace evidente que Pascal sin apartarse del pensamiento Aristotélico de la repugnancia de la naturaleza al vacío, muestra los límites de dicha repugnancia. Y que aún, pensando como sus opositores, que debe existir un elemento sutil en donde se forma el vacío aparente, deja claro que dicho elemento carece de acción y que no interviene para nada en los experimentos registrados, es un elemento completamente pasivo. Y como si esto no bastara, Pascal deja entrever que la fuerza del horror al vacío

no sólo es limitada sino que es semejante a la fuerza con que una columna de un líquido de cierta altura tiende a caer; 10.5 m. para el vino y el agua y 76 cm. para el mercurio. Idea transitoria entre la inactividad del elemento interno “vacío aparente” y una posible causa externa que será corroborada y demostrada después con el célebre experimento del Puy de Domé, que veremos más adelante. Y para finalizar, sostiene que el elemento aparentemente vacío, no está lleno de aire que haya podido entrar por los poros del tubo, o algún elemento imperceptible, rarificado o vaporizado. Ni un elemento sutil o espíritu ni nada. Y que el espacio aparentemente vacío no está lleno de ninguna de las materias conocidas en la naturaleza y que puedan ser percibidas por los sentidos; por lo tanto, que dicho vacío aparente demostrado en los experimentos, está realmente vacío.

ACTIVIDADES ADICIONALES

Un primer núcleo de actividades están orientadas a considerar la existencia del vacío, para ello se puede disponer de tubos, jeringas y sifones entre otros. Algunas sugerencias de preguntas y experiencias posibles son las siguientes.

1. Reproducir la experiencia de Torricelli pero con tubos de distintos diámetros alturas e incluso con líquidos de diferentes densidades (agua, aceite, mercurio...) ¿se puede demostrar la inactividad del vacío? ¿hay límites para ello?
2. ¿Se puede hacer el experimento de Torricelli, con el mismo tubo con Hg, pero con un recipiente que esté desocupado de Hg? ¿por qué es importante que el recipiente también contenga Hg? ¿es realmente fundamental?
3. Realizar experiencias ideales con tubos y jeringas de alturas y diámetros considerablemente grandes, por ejemplo, ¿qué sucede con el agua al interior de un pitillo pero de una longitud de 15 metros? o con un diámetro doble del anterior....
4. Explique cómo lograr pasar gasolina de un tanque a otro con una manguera aplicando los experimentos de Pascal con sifones.

Otro núcleo de actividades orientadas a demostrar la inactividad del vacío o el elemento interno que justifica el equilibrio: se pueden realizar experiencias con jeringas de diferentes diámetros. Por ejemplo: se tiene una jeringa a la cual se le tapa la abertura con un dedo y luego se sumerge todo el sistema en un recipiente con agua. Al comenzar a subir el émbolo de la jeringa lentamente el dedo experimenta

una sensación de dolor y al interior de la jeringa se empieza a formar un vacío. Compare la sensación de dolor que experimenta el dedo cuando el vacío formado en la jeringa es pequeño y cuando es grande.

- Repita la experiencia anterior, pero ahora utilice jeringas de diámetros diferentes. Haga comparaciones y establezca conclusiones.

LECTURA COMPLEMENTARIA

NUEVOS EXPERIMENTOS SOBRE EL VACÍO

B. PASCAL

Mi querido lector, dado que algunas circunstancias me impiden por el momento dar a luz un tratado completo en el que he expuesto un buen número de experimentos sobre el vacío que yo mismo he hecho, así como las conclusiones que de ellos he extraído, he querido exponer las principales en este compendio en el que veréis por adelantado el plan de toda la obra.

El motivo de estos experimentos es el siguiente: hace unos cuatro años se demostró en Italia que si se llena de mercurio un tubo de vidrio de cuatro pies, uno de cuyos extremos está abierto en tanto que el otro está herméticamente cerrado, y luego se tapa la abertura con el dedo y se coloca el tubo perpendicularmente al horizonte, quedando en la parte inferior la abertura taponada, la cual se sumerge dos o tres dedos en más mercurio contenido en un recipiente lleno de mercurio y agua a partes iguales; al destapar la abertura, dentro siempre del mercurio del recipiente, el mercurio del tubo desciende un poco, dejando en la parte superior del tubo un espacio aparentemente vacío mientras que la parte más baja del dicho tubo continúa llena de mercurio hasta una determinada altura. Y si elevamos ligeramente el tubo para que su abertura, que antes estaba inmersa en el mercurio del recipiente, salga de este y pase a la región del agua, entonces el mercurio del tubo sube hasta la parte más alta, con el agua, y ambos líquidos se mezclan en el tubo, si bien a la postre todo el mercurio acaba cayendo y el tubo queda lleno de agua.

Este experimento le fue comunicado desde Roma al R. P. Mersenne, fraile mínimo de París, y él lo divulgó en Francia en el año 1644, no sin despertar la admiración de todos los sabios y curiosos, gracias a los cuales se hizo famoso en todo el mundo; yo tuve conocimiento del mismo por medio del señor Petit, Intendente de Fortificaciones y muy versado en todas las ciencias, a quien le había puesto al corriente el propio P. Mersenne. De este modo, hicimos el experimento en Rouen el susodicho señor Petit y yo, tal y como se había efectuado en Italia, y constatamos punto por punto todo lo que desde dicho país se nos había comunicado, sin haber podido descubrir entonces nada nuevo.

Posteriormente, al reflexionar sobre las consecuencias de tales experimentos, me reafirmé en mi previo convencimiento de que no era imposible que se diese el vacío en la naturaleza y de que este no lo rehuye con tanto horror como muchos se imaginan.

Lo que me inducía a pensar así era el escaso fundamento que me parecía tener el tan extendido principio de que la naturaleza no soporta el vacío, basado exclusivamente en experiencias que en su mayor parte son falsas, aunque se las tenga por incuestionables; en cuanto a las otras, unas distan mucho de poder contribuir a tal prueba y que demuestran es que la naturaleza aborrece una excesiva plenitud, pero no que rehuya el vacío, mientras que las más favorables no hacen sino poner de relieve que la naturaleza tiene horror al vacío, sin probar en lo absoluto que no lo pueda soportar.

A la fragilidad de este principio yo añadí las observaciones que diariamente practicábamos a propósito de la rarefacción y condensación del aire, el cual –como algunos han demostrado– puede llegar a condensarse hasta la milésima parte del lugar que previamente parecía ocupar y, por otro lado, se rarifica tanto que consideré necesario que hubiera un gran vacío entre sus partes o bien que se produjera una penetración de dimensiones. Pero como nadie aceptaba esto como prueba, pensé que con el experimento de Italia podría convencer a aquellos que más obcecados están en la imposibilidad del vacío.

No obstante, la fuerza de su prevención era tal que aun pudieron hallar objeciones capaces de empañar la credibilidad que merecía. Dijeron unos que la parte superior de la cerbatana estaba ocupada por los vapores del mercurio, otros, que estaba llena de un grano de aire imperceptible rarificado; otros, que de una materia que no existía más que en la imaginación; y todos, conspirando para desterrar el vacío, apelaron obstinadamente a esa potencia del espíritu que en las escuelas denominan sutileza y que por, toda solución a las auténticas dificultades no proporciona sino vagas palabras carentes de fundamento. Así, pues, me decidí a practicar unos experimentos tan convincentes que salieran airoso de cuantas objeciones se le pudieran oponer y, en efecto, a comienzos de este año hice un buen número de ellos, algunos relacionados con el de Italia y otros completamente distintos y que nada tiene que ver con aquél. Tan exactos y tan afortunados han resultado que gracias a ellos he podido demostrar que es posible vaciar un recipiente tan grande como sea posible construirlo de todas las materias perceptibles que se conocen en la naturaleza, así como también qué fuerza es necesaria para ser admisible este vacío. Por el mismo procedimiento he logrado demostrar qué altura ha de tener un sifón para que produzca el efecto que de él se espera, más allá de la cual ya no funciona, en contra de la opinión tan unánimemente extendida en el mundo durante tantos siglos; también he demostrado cuán pequeña es la fuerza que se requiere para tirar el émbolo de una jeringa sin que penetre en ella materia alguna, así como otras muchas cosas que tendréis ocasiones de ver en la obra completa, en la que me propongo mostrar cuál es la fuerza que emplea la naturaleza para evitar el vacío y como ciertamente lo admite y lo tolera en ese gran espacio que tan fácil es vaciar de todas las materias que quepa percibir. Ese es el motivo de que haya dividido el tratado en dos partes, la primera de las cuales consiste en la exposición detallada

e ilustrada de todos mis experimentos, así como de una recapitulación—dividida en varias máximas— de cuanto en ellos se ve; la segunda, en las consecuencias que de los mismo he extraído, dividiéndose en algunas proposiciones en las que demuestro que el espacio aparentemente vacío observado en los experimentos está realmente vacío de cualquier clase de materia perceptible que se conozca en la naturaleza. Y en la conclusión expongo mi opinión sobre el problema del vacío y respondo a las objeciones que pudieran hacerse. Así, pues, me conformo con mostrar un gran espacio vacío y dejo que sean otras personas sabias y curiosas las que comprueben lo que sucede en tal espacio (si, por ejemplo, pueden vivir en él los animales, si el cristal disminuye su refracción, así como todo aquello que en él pueda hacerse) : no hago referencia a ello en este tratado —del que me ha parecido oportuno adelantarnos este resumen— porque, habiendo invertido en estos experimentos mucho dinero, mucho esfuerzo y mucho tiempo, temía que alguien que no hubiese empleado, ni tiempo, ni dinero, ni esfuerzo, se anticipara a mi y ofreciera al público cosas que ni siquiera habría visto y que, por lo tanto, no hubiera podido exponer con la exactitud y el orden necesarios para desarrollarlos como conviene, habida cuenta además de que nadie ha dispuesto de tubos y sifones tan largos como los míos y muy pocos se han tomado las molestias necesarias para conseguirlos.

Y como quiera que las personas honradas unen a la inclinación general de todos los hombres a mantenerse dentro de sus justas posesiones aquella otra de rehusar los honores que no les corresponden, sin duda aprobaréis que yo me proteja por igual tanto de quienes pudieran pretender apropiarse de alguno de los experimentos que aquí presento —y acerca de los cuales os prometo el tratado completo— , como de los que me atribuyesen el experimento de Italia del que ya os he hablado, puesto que no es mío. En efecto, aunque lo he hecho de más formas que nadie y con tubos de doce y hasta quince pies de largo, no voy hablar de el en estos escritos, ya que no soy su artífice y pretendo exponer exclusivamente aquellos que son fruto de mi propia inventiva.

Preguntas de seguimiento y valoración

1. Por qué fue importante para los griegos la defensa del horror al vacío.
2. Qué demostró Galileo con sus experimentos.
3. Por qué el experimento de Torricelli fue importante.
4. Por qué era importante en la Edad Media defender las ideas “plenistas”.
5. ¿Por qué es importante demostrar la inactividad del vacío?
6. ¿Qué papel jugó Pascal en la problemática del vacío?
7. Si la repugnancia al vacío no es la causa, entonces ¿por qué es importante para la Edad Media, seguir defendiendo esta idea? ¿qué papel tuvo la iglesia en este proceso?
8. ¿Qué importancia tiene el vacío hoy en día?

**PÁGINA EN BLANCO
EN LA EDICIÓN IMPRESA**

CAPÍTULO 4

SOBRE EL EQUILIBRIO DE LOS LÍQUIDOS

Hoy en día vemos como se construyen modernas prensas hidráulicas para levantar pesos que en la antigüedad sería impensable hacerlo, el funcionamiento de los frenos de los vehículos, las puertas de los ascensores, grandes barcos transatlánticos surcan el mar y un sinnúmero de aparatos cotidianos funcionan de acuerdo con los principios contruidos en torno al equilibrio de los líquidos. El estudio sobre el comportamiento de los líquidos era estudiado desde la misma antigüedad, pero fue en la Edad Media donde cristalizó como ciencia. Hieron de Alejandría y Arquímedes son los primeros de quienes se tiene noticia sobre el estudio de los líquidos, Simón Stevin estudió el problema fundamental del equilibrio y Pascal estableció la conexión entre ellos a través del principio que hoy en día lleva su nombre.

EXPLORACIÓN DE IDEAS

1. Explica por qué una aguja que pesa muy poco se hunde en el agua pero un barco trasatlántico que pesa muchísimo más, flota en el mar
2. Explica si se puede afirmar con seguridad que los objetos pesados se hunden en el agua y los livianos flotan, por qué sí o por qué no.
3. Explica cómo funciona un gato hidráulico para levantar los carros

LOS ANTIGUOS Y EL PROBLEMA FUNDAMENTAL DEL EQUILIBRIO

La noción de equilibrio ha jugado un papel importante en el estudio de los fenómenos de la naturaleza, la idea de un universo en equilibrio fue defendido desde la antigüedad, las estrellas fijas se sostenían en reposo en la última esfera del universo. La noción de equilibrio ha servido de base para explicar, por ejemplo, el reposo y el movimiento natural de los cuerpos, la tendencia de los cuerpos a ocupar su lugar natural es precisamente a recuperar su estado de equilibrio.

Con el desarrollo artesanal de máquinas simples para la guerra como palancas y catapultas se aplica al estudio de relaciones que permitan levantar grandes pesos con pequeñas fuerzas. Posteriormente la noción de equilibrio se trasladó al estudio de los líquidos y luego a los gases. Todos los fenómenos conocidos en la época se explicaban desde una concepción “mecánica” de la naturaleza, donde el equilibrio es un concepto fundamental. Solamente hasta finales del siglo XIX se empezaron a considerar nociones de no-equilibrio para explicar el comportamiento del universo, particularmente en los fenómenos térmicos.

Actividad: explique de qué manera es posible relacionar el funcionamiento de las máquinas con el concepto de equilibrio.

Equilibrio de los cuerpos



Simón Stevin
(1548-1620)

Desde la antigüedad se había configurado un problema interesante en torno al equilibrio de los cuerpos. Se tiene noticia de que Simón Stevin (1548-1620), ya había realizado algunos trabajos en esta dirección, especialmente con palancas y máquinas llegando a construir el concepto de presión para diferenciarlo del concepto de peso. En 1586 demostró que la presión ejercida por un líquido sobre una superficie depende únicamente de la altura y la superficie pero no de la forma. En la historia de la Física fue conocido por sus trabajos sobre fortificación e ingeniería militar. Sus contemporáneos le conocieron por la invención de un carruaje con velas que, cargado con veintiocho personas, se movía a una velocidad superior a la de un caballo al galope.

El comportamiento de los líquidos también fue objeto de estudio desde la antigüedad, Heron de Alejandría inventó varios aparatos para estudiar los líquidos, inventó el sistema de vasos comunicantes, inventó el sifón y muchos más. Pero fue Arquímedes quien por primera vez aplica los principios de la estática al estudio de los líquidos, llegando a considerar que los líquidos en reposo se encuentran en equilibrio. “Arquímedes argumentaba que entre más lejos estuviera el punto de apoyo de la palanca, más fácil sería el levantamiento de un peso cualquiera; o sea que hay una relación directa entre la fuerza y el brazo existente”.

Llegó incluso a decir “dadme un punto de apoyo y yo os moveré el mundo” para mostrar la increíble capacidad de fuerza que se podría obtener con una palanca.

Actividad: Discute con los compañeros los alcances de esta afirmación hoy en día.

En el campo de los líquidos Arquímedes estudio de manera sistemática el equilibrio a través de la flotación de los cuerpos identificando dos fuerzas a saber, el peso del objeto y el empuje que hace el líquido sobre el objeto, la igualdad de estas dos fuerzas mantienen a los objetos en equilibrio, cuando la fuerza de empuje es menor que el peso, el objeto se hunde. Más adelante veremos esto con detalle.

Jordanus en la Edad Media, desde una perspectiva diferente, sostiene que “... lo que puede levantar un peso a cierta altura, puede levantar un peso n veces más pesado a una altura n veces menor”.

Con esta afirmación Jordanus establece los primeros elementos de lo que más adelante se convertirá en una potente máquina para levantar pesos y el principio de las palancas sería la primera construcción de una ley matemática aplicada a la naturaleza.

Descartes y el principio de los desplazamientos virtuales



Descartes
(1596-1650)

La influencia de Rene Descartes (1596-1650) en la Edad Media fue determinante para las investigaciones que se siguieron en torno a las ciencias. Su pensamiento se identificaba con una concepción plenista de la naturaleza. Existe una materia sutil que lo llena todo, dicha materia es la razón para que no exista el vacío. Las características de esta materia sutil eran un tanto complicadas, se asumía como materia corpórea pero carente de peso. Por supuesto que su influencia llevó a que muchos investigadores en la Edad Media y posterior a ella, defendieran las ideas plenistas y

cuestionaran la existencia del vacío.

Respecto al funcionamiento de las máquinas, considera el principio de los desplazamientos virtuales como el principio regulador de éstas, contrario a las ideas de Galileo quien identificaba el principio de las velocidades virtuales. En una carta de Descartes a su amigo Costantino Huygens le escribe lo siguiente:

La invención de todos lo ingenios (que sirven para levantar un peso grande mediante una fuerza pequeña) está fundada exclusivamente en un principio único, a saber, que la fuerza que puede levantar un peso de 100 libras por ejemplo a una altura de 2 pies puede también levantar un peso de 200 a la altura de 1 pie o de 400 a la altura de 1/2 pie y así sucesivamente con tal de que sea aplicada a ellos.

[...] y ese principio no puede dejar de ser admitido, si se considera que el efecto debe ser siempre proporcionado a la acción que es necesaria para producirlo.

[...] “esa fuerza tiene siempre dos dimensiones, es el producto de un peso por una altura.

Actividad: explica de acuerdo con el principio qué requisitos debe cumplir una palanca para levantar un peso de una tonelada a una altura de dos metros?

Actividad: explique cómo aplica el principio de los desplazamientos virtuales para el caso de dos pesos de 1 y 4 libras que están en equilibrio (fig. 9) pero que cuando el peso de una libra descienda 1 cm. qué sucede con el otro?

Sugerencia: el bloque de 4 libras se puede pensar descompuesto en 4 bloques de 1 libra;

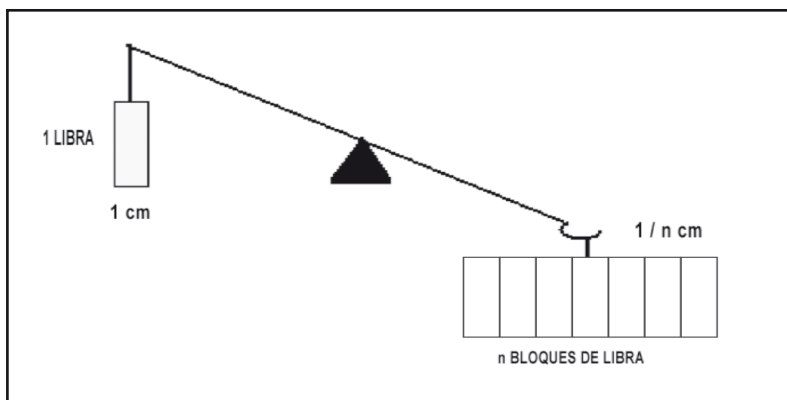


Fig. 9
Principio de los desplazamientos virtuales de Descartes

Pascal y el Equilibrio de los Líquidos

Pascal estudia el comportamiento de los líquidos teniendo en cuenta los trabajos de Stevin, Arquímedes y posiblemente Descartes para la estática. Hay dos aspectos que le interesa demostrar:

1. Si el aire es considerado según Baliani y Torricelli de tal manera que nos encontramos sumergidos en un gran “mar de aire” y además se encuentra en equilibrio con la columna de mercurio (ver próximo capítulo), entonces el aire se comporta como lo hacen los líquidos que están en equilibrio, por lo tanto un estudio riguroso de los líquidos permitiría justificar posteriormente por analogía la acción del peso y la presión del aire.

2. Si los líquidos se encuentran en equilibrio entonces se pueden convertir en máquinas como por ejemplo palancas (ya estudiadas por Arquímedes) lo cual permitiría identificar una ley similar a la encontrada por Stevin para las palancas o máquinas simples. El mismo lo afirma diciendo: “un recipiente contenido de agua se puede convertir en una poderosa máquina para multiplicar fuerzas al grado que queramos”.

Con estas intenciones Pascal realiza una serie de experimentos descritos en su tratado sobre el “Equilibrio de los Líquidos”, utiliza distintos líquidos a saber mercurio, agua, vino, aceite y aire, y utilizó instrumentos como jeringas, sifones, tubos y fuelles entre otros para demostrar que:

a) el principio de los desplazamientos virtuales de Descartes se puede aplicar para el caso de los líquidos y así obtener que el peso de la columna de un líquido es proporcional a su altura;

b) dos líquidos están en equilibrio cuando sus respectivos pesos están en proporción a sus alturas, sin importar la forma y el volumen de los recipientes

c) la presión ejercida por un líquido es la misma en todos los puntos en un recipiente; y

d) un cuerpo sumergido en un líquido es empujado por éste en todas las direcciones.

El principio de la máquina hidrostática

¿Cómo convertir entonces un líquido en equilibrio en una poderosa máquina? con la noción de equilibrio a partir de la igualdad de fuerzas y el conocimiento de los desplazamientos virtuales de Descartes, Pascal propone el siguiente experimento:

Si tenemos un recipiente lleno de agua –o cualquier líquido– con dos aberturas una más grande que la otra (ver figura) vemos que la altura es la misma en las dos columnas y que aunque los pesos son desiguales estos se equilibran. Para examinar la condición de equilibrio vierte líquido por una de las aberturas. Supongamos que el líquido es vertido por la abertura más pequeña. El peso del líquido vertido presiona haciendo que el nivel anterior en la abertura pequeña baje y el de la abertura grande se eleve. Este proceso se da hasta que los pesos se hacen proporcionales a las alturas de las columnas en cada abertura, por eso se necesitan las mismas alturas.

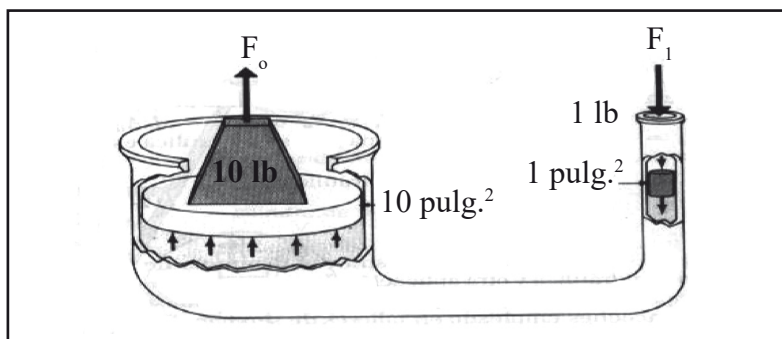


Fig. 10
Máquina hidrostática de Pascal.

El equilibrio en este experimento no depende de la cantidad de líquido, porque una columna delgada de agua puede equilibrar una columna más gruesa de agua, lo que sí se hace importante es la altura de las dos columnas, para el caso de un mismo líquido (en este caso agua) las alturas son iguales, pero si se tienen líquidos diferentes las alturas respectivas variarán dependiendo de sus respectivas densidades.

Actividad: una columna de agua de 10,5 m se equilibra con 76 cm mercurio a nivel del mar. Encuentra con qué altura de la columna de mercurio se equilibra la misma altura del agua en tu ciudad?

Pascal propone ahora el siguiente experimento para identificar como actúa el principio de los desplazamientos virtuales en el equilibrio de los líquidos

“ si un recipiente de cualquier forma, cerrado por todas partes, tiene dos aberturas, una de ellas cien veces más grande que la otra, presentando cada una de ellas un émbolo que ajuste perfectamente, un hombre empujando el émbolo chico, igualara la fuerza de 100 hombres que empujaran el grande (cada uno con la misma fuerza del chico) y podría más que noventa y nueve”.

Este experimento expresa tres relaciones importantes a saber:

Fuerzas proporcionales a desplazamientos

En este experimento la fuerza sobre el pistón pequeño causa un efecto sobre la fuerza en el pistón grande, logrando levantarlo; siendo las fuerzas o los pesos inversamente proporcionales a las distancias desplazadas. Por ejemplo, si estando todo el sistema en equilibrio, ahora le colocamos un peso de 1 kg para que el pistón pequeño descienda 1 cm entonces el pistón grueso subirá un peso de 100 kg a una altura de 1/10 cm, si el pistón pequeño desciende 2 cm entonces el pistón grueso subirá 2/100 cm y así sucesivamente.

$$F_1/F_2 = d_2/d_1 \quad (1)$$

Siendo F_1 y F_2 los pesos o fuerzas y d_1 y d_2 los desplazamientos de los pistones.

Desplazamientos proporcionales a áreas

Pascal revisa lo que sucede con los desplazamientos de los pistones si dejamos quietos los pesos o fuerzas actuantes y variamos el diámetro de la abertura. Encuentra lo siguiente, si una abertura es 100 veces más grande que la otra, entonces al hacer descender el pistón en la abertura más pequeña 1 cm., desplaza el agua una cierta cantidad, acción que se va propagando a lo largo del líquido hasta llegar al otro pistón. Como la cantidad de agua desplazada es la misma, si se considera el líquido incompresible, y ésta debe repartirse en la abertura mayor en un área mayor, hará que cada parte del pistón grande se desplace 1/100 cm. Por lo tanto, podemos afirmar que los desplazamientos de los pistones son proporcionales a las áreas de estos (o a las de las aberturas), que podemos expresar así:

$$A_1/A_2 = d_2/d_1 \quad (2)$$

Siendo A_1 y A_2 las áreas de las aberturas y d_1 y d_2 los desplazamientos de los pistones.

Fuerzas proporcionales a las áreas

Teniendo en cuenta las expresiones (1) y (2) podemos concluir entonces que en la máquina hidrostática los pesos (F) o fuerzas ejercidas sobre el líquido están en equilibrio, si estos son proporcionales a las áreas (A) del líquido sobre las cuales actúan:

$$F_1/F_2 = A_1/A_2$$

Actividad: si el valor de la fuerza F_1 es la cuarta parte de F_2 , cuál es el valor de A_2 si A_1 tiene un diámetro de 10 cm?

EL PRINCIPIO DE PASCAL

Presión externa a un líquido

Usualmente se suele confundir presión con fuerza. A veces se asume la presión como una acción que realizan los líquidos, pero si fuera así entonces sería una fuerza. Pascal considera que para que la expresión matemática que acabamos de obtener mantenga la proporcionalidad, debe haber algo que permanece constante ¡Esa es la presión! Si en un mismo recipiente la fuerza inicial se multiplica varias veces para levantar un peso enorme es por que se comunicó una presión constante en todo el recipiente. Al respecto dice: “la presión ejercida sobre un líquido es transmitida integralmente y en todas las direcciones con la misma magnitud”.

A diferencia de muchos de sus opositores que identificaban el equilibrio de los líquidos en función del peso, Pascal encuentra que la clave está en la presión.

Experimento

Si tenemos un tubo lleno de agua y sobre la parte superior colocamos un pistón que encaja perfectamente y luego presionamos hacia abajo con una fuerza de una libra, esta presión va a ser la misma en todas las partes del líquido. Si hacemos, por ejemplo, un orificio al tubo en alguna parte, el agua saldrá en chorro, con una fuerza que está en la misma proporción a la abertura del propio orificio como la fuerza inicial lo está a su respectiva abertura. Si la presión no se transmitiera por igual en todas las partes entonces el agua no saldría en chorro como en verdad ocurre (fig. 11), al haber continuidad en el líquido, la presión, debida a la fuerza que se ejerce sobre el pistón, se transmite por igual en todas sus partes. Al hacer un orificio la presión ejercida sobre este punto cederá y el agua saldrá con una presión igual a la ejercida por el pistón hacia abajo; verificándose una proporcionalidad entre las aberturas del tubo y el orificio y las fuerzas respectivas. De esta forma se encuentra un fundamento del equilibrio de los líquidos y se avanza en la constitución del concepto de presión.

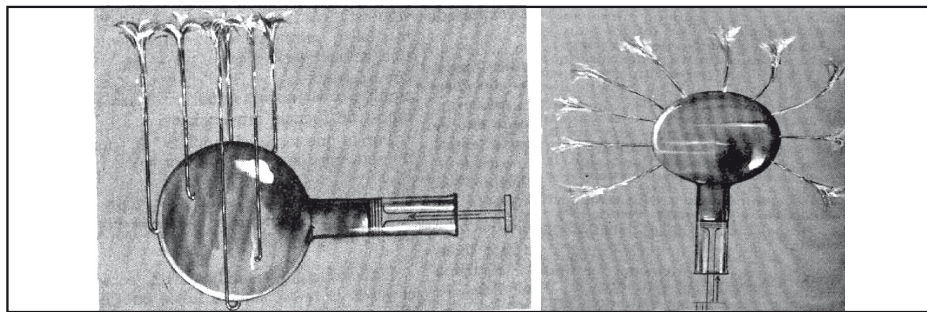


Fig. 11

La presión es igual en todas partes del recipiente.

Presión interna en un líquido

Los experimentos y demostraciones realizados hasta aquí hacen referencia a acciones de fuerza o peso externas al líquido, pero ¿qué define el equilibrio de un líquido cuando éste no está sometido a una presión externa? En lo que sigue, Pascal responde a esta pregunta y pone de manifiesto lo que significa asumir el concepto de presión como elemento de análisis.

Experimento

Introducir en el agua o en cualquier otro líquido en reposo, pequeñas láminas de cartón, colocándolos en distintas posiciones y a diferentes profundidades, se observa que las láminas conservan la posición adquirida, aunque las fuerzas que actúan sean diferentes, lo que demuestra que la presión que resulta en sus dos caras es la misma sin importar la profundidad ni la posición. Demuestra así “que cuando se trata del equilibrio de un líquido la presión tiene la misma magnitud en todos los puntos que se encuentren a la misma altura”.

En otras palabras, es la fuerza por unidad de área lo que tiene sentido en la problemática del equilibrio de un líquido. El peso del líquido no es proporcional al volumen que lo contiene sino a la altura que alcanza. Una misma cantidad de líquido en dos recipientes diferente alcanza alturas diferentes, pero la presión en dos puntos que se encuentren a la misma altura va ser igual. Se constituye, así el concepto de presión en el criterio para definir el equilibrio o desequilibrio de un líquido. **SI HAY EQUILIBRIO LAS PRESIONES SON IGUALES, PERO SI LAS PRESIONES SON DIFERENTES ENTONCES HAY MOVIMIENTO.**

Con el tiempo se empezó a identificar la presión en los líquidos en unidades llamadas pascales en honor a Pascal.

Equilibrio entre dos líquidos

Experimento

Tenemos un tubo en U, abierto en los dos extremos y que contiene mercurio (fig. 12) al comenzar a agregar agua sobre el tubo por una de las aberturas llega un momento en el que se observa que cuando el agua alcanza una altura 10,5 metros la altura del mercurio es de 76 cm. En esta condición de equilibrio se puede establecer que el agua necesita una altura 14 veces mayor que el mercurio para equilibrarse con la columna de 76 cm (76 por 14). Por el experimento de Torricelli sabemos que 76 cm de mercurio equivalen a 1 atmósfera de presión, por lo tanto 10,5 m de agua también equivalen a 1 atmósfera de presión. Como conclusión, si los pesos son proporcionales a las alturas, se debe tener que, un líquido más pesado va a estar a menor altura que un líquido más liviano cuando están en equilibrio.

Actividad: con una tabla de densidades averigua qué altura requiere una columna de alcohol para equilibrarse con 2 atmósferas de presión de agua.

Actividad: si consideramos que los gases se comportan como líquidos, explique ¿cómo podría diseñarse un experimento para averiguar la presión del aire a una altura de 300 m sobre el nivel del mar?

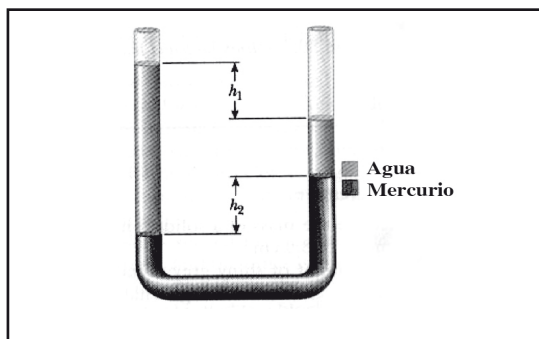


Fig. 12
Equilibrio entre dos líquidos

Actividad: ¿por qué en la figura 13 el nivel del líquido permanece igual a pesar de agregar más líquido por uno de los brazos del sifón? ¿qué pasa si el brazo corto se cierra?

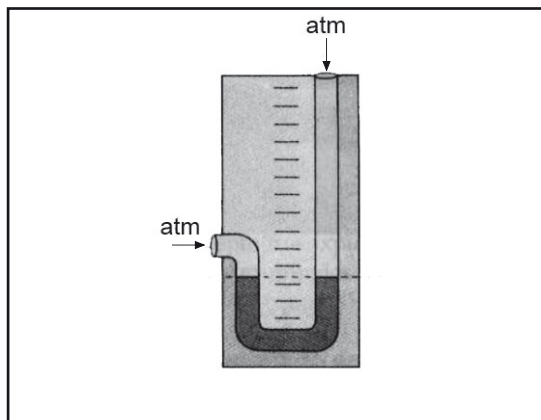


Fig. 13
Equilibrio de un líquido

Equilibrio en los vasos comunicantes

Experimento

Tenemos un sistema de vasos comunicantes como los que se observan en la figura (fig. 14) cada uno de ellos con diferente forma y con diferente abertura, unos más delgados y otros más gruesos, pero todos comunicados por su base. Se comienza a llenar el sistema agregando agua por una (cualquiera) de las aberturas. Se observa que todos los vasos se van llenando simultáneamente, ninguno se llena primero, el agua va alcanzando la misma altura en cada uno de ellos al mismo tiempo.

Actividad: explique según el principio de Pascal sobre la igualdad de presiones, el comportamiento de los vasos comunicantes.

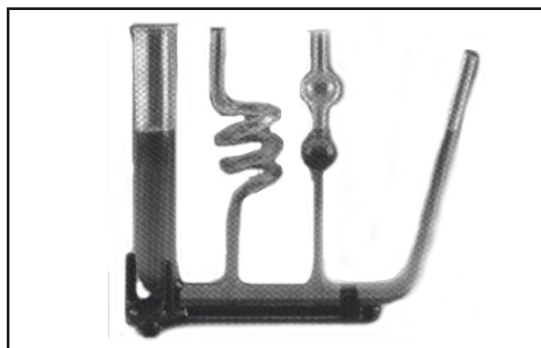


Fig. 14.
Vasos comunicantes.

Experimento

Realicemos el experimento anterior pero ahora con dos líquidos agua y mercurio, Al variar las condiciones externas, o sea la forma de los recipientes, se demuestra nuevamente que el agua necesita una altura 14 veces mayor que la del mercurio para que haya equilibrio. Lo que quiere decir que cumple con el principio de Pascal o sea que no depende de la forma ni del tamaño del recipiente siempre que la presión en un punto sea la misma y sus respectivas alturas estén en proporción a sus pesos.

Actividad: con la ayuda de la tabla de densidades averigua la altura alcanzada por otros líquidos diferentes, mercurio, alcohol y aceite si el agua alcanza una altura de 80 cm.

Actividad: utilizando el principio de Pascal y el comportamiento de los vasos comunicantes explica por qué es importante que el agua de las represas que distribuyen el acueducto a una ciudad deba encontrarse más alta que todas las casas de la ciudad. Averigua por qué es necesario en algunos edificios el uso de bombas de succión para elevar el agua.

Actividad: los obreros suelen utilizar una manguera llena de agua para constatar que las alturas en la construcción de un muro queden parejas y sin desnivel. Explica si este procedimiento es correcto o no.

La prensa hidráulica

La prensa hidráulica es una poderosa máquina capaz de multiplicar fuerza al grado que queramos. Consiste en dos émbolos de aberturas o áreas diferentes conectados entre si por un conducto (fig. 15) se utiliza en los sistemas de freno de los autos, los elevadores de carros en los servicentros, prensas deformadoras de láminas, los ascensores y un sinnúmero de aplicaciones caseras.

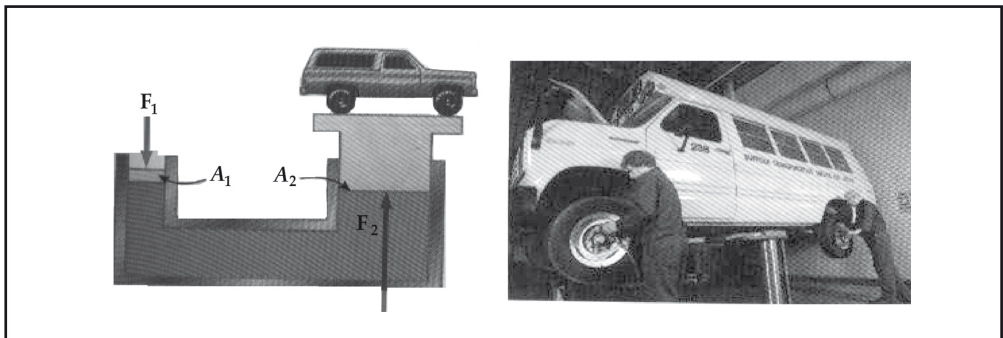


Fig. 15
Prensa hidráulica.

De acuerdo con el principio de Pascal los émbolos tienen por áreas “ A_1 ” para el pequeño y “ A_2 ” para el grande, si sobre el émbolo pequeño se aplica una fuerza “ F_1 ” entonces la fuerza resultante en el otro émbolo va a ser “ F_2 ” que resulta del producto $F_1 A_2 / A_1$ y de acuerdo con el principio de los desplazamientos virtuales $F_1 / F_2 = d_2 / d_1$ si el pistón pequeño se desplaza una distancia d_1 entonces el pistón grande se desplazará $F_1 d_1 / F_2$

Actividad: averigüe y explique qué técnicas se requieren para levantar un peso de 1 tonelada a una altura de 2 metros usando la prensa hidráulica.

FLOTACIÓN DE LOS CUERPOS

Un fenómeno importante conocido desde la antigüedad, estudiado por Arquímedes pero consolidado por Pascal es la flotación de los cuerpos. Pascal a la luz de sus desarrollos teóricos interpreta el fenómeno de flotación haciendo del concepto de presión el elemento explicativo fundamental. Establece que la presión en un líquido debido a su propio peso aumenta con la profundidad. Arquímedes ya había propuesto que para que existiera equilibrio deberían existir por lo menos dos fuerzas iguales y contrarias, la primera el peso del objeto, ¿cuál debe ser la segunda? Para el caso de los líquidos Arquímedes propuso que debe existir una fuerza de “empuje” hacia arriba que equilibrara el peso aparente del objeto. Un objeto que flota está entonces en equilibrio. Arquímedes lo expresa de la siguiente manera: “todo cuerpo sumergido en un líquido, recibe de este un empuje vertical y hacia arriba igual al peso del líquido que desaloja”.

Al colocar un objeto dentro de un líquido se observa que el objeto aparentemente pesa menos, por ejemplo, si en el aire pesa 10 kg, se observa que en el agua pesa 6 kg, qué pasó con los otros 4 kg? Para Arquímedes ese era el empuje que estaba haciendo el agua.

Para Pascal la explicación de la flotación se mejoraba utilizando el concepto de presión. Si introducimos un objeto en un líquido cualquiera éste va a estar presionado por todas sus partes, siendo mayor la presión en aquellos puntos que están a mayor profundidad. Si la diferencia de las presiones ejercidas por el líquido es mayor que su peso por unidad de área éste flotará, si es menor se hundirá y si es igual entonces ni se hundirá ni flotará. Al respecto dice Pascal: “Si un cuerpo de cobre o de cualquier otra materia parecido pesa más que un volumen igual de agua se hundirá porque la presión excede a aquella que le hace contrapeso”.

“Si un cuerpo de madera o de cualquier otro elemento más ligero que un volumen igual de agua se sumerge, pero este tiende a flotar es porque la presión del agua es mayor que la presión debida a su peso”. Y “Si un cuerpo como la cera que ni flota ni se hunde sino que permanece en el mismo sitio donde se le coloca es por que las presiones son iguales.”

Actividad: de acuerdo con la lectura anterior ¿cómo puedes explicar que un globo se pueda elevar en el aire?

Si tomamos un bloque de cobre y lo sumergimos en un recipiente con agua, vemos que éste tiende a hundirse. La razón es que la diferencia de presiones sobre sus partes superior e inferior es menor que la presión del bloque sobre el agua, esto es el peso del bloque por unidad de área (o el peso entendido como proporcional a la altura del cuerpo), por lo tanto se hunde. Si la diferencia de presiones sobre sus partes superior e inferior es mayor que la presión del bloque, entonces este tiende a subir y flotar y finalmente si las presiones son iguales el bloque ni sube ni baja sino que se queda quieto en el lugar donde se le colocó.

Experimento: el diablillo de Descartes

Llenamos un recipiente, que puede ser una botella de gaseosa plástica con agua hasta el tope como lo muestra la figura (fig. 16) colocamos en su interior una figura hecha en material ligero como el Ludion, también resultan ideales los frascos de muestra de perfumes, luego se introduce el diablillo (ludion o frasco de perfume) desocupado (lleno de aire) en la botella con la abertura hacia abajo, tapamos y sellamos herméticamente incluso cuando la botella está llena a rebosar, debe tenerse especial cuidado en no dejar burbujas de aire dentro de la botella. Al Presionar firmemente los laterales de la botella se observa que el diablillo baja, al soltarla sube y después de algunos intentos puede lograrse que quede en equilibrio en cualquier lugar del líquido.

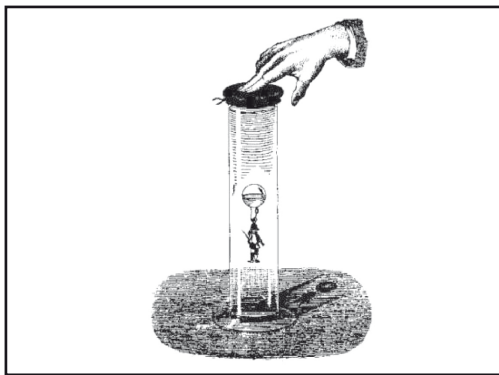


Fig. 16
El diablillo de Descartes.

En la visión de Pascal se sostiene que un cuerpo inmerso en el agua va a estar sometido a presión por todos sus lados. Por los lados laterales la presión en cada punto es diferente, pero como sólo depende de la profundidad entonces éstos van a estar sometidos a las mismas presiones. Al presionar la botella se puede observar como disminuye el volumen de aire contenido en el interior del perfume. Al dejar de presionar, el aire recupera su volumen original. Esto es consecuencia del principio de Pascal: Un aumento de presión en un punto cualquiera de un fluido encerrado se transmite a todos los puntos del mismo.

Antes de presionar la botella, el diablillo flota debido a que su peso queda contrarrestado por la fuerza de empuje ejercida por el agua. La disminución del volumen del aire en el interior del diablillo, lleva consigo una reducción de la fuerza de empuje ejercida por el agua.

Actividades adicionales

Para analizar la aplicación del principio de Pascal se pueden recontextualizar experimentos realizados con jeringas, tubos, sifones y fuelles entre otros. Un núcleo de actividades pueden ser lo siguiente:

Experimentos con jeringas

- a) Introducimos una jeringa con un émbolo bastante largo (1 m. aprox.) y hueco, metemos la abertura de la jeringa en un recipiente lleno de mercurio, y todo este conjunto en una tina con agua o aceite (fig. 17) Manteniendo el extremo superior del émbolo fuera del agua, tiramos lentamente de él hacia arriba. Efecto: al tirar del émbolo hacia arriba, el mercurio comienza a subir a través del tubo de la jeringa.

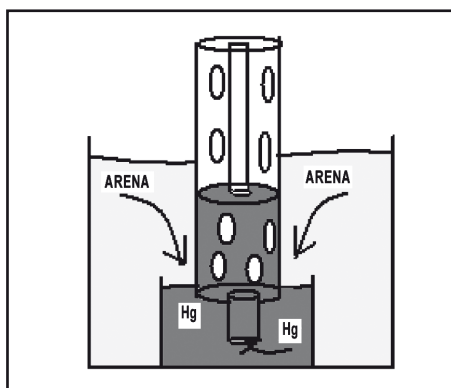


Fig. 17
Jeringa con orificios

- b) Tomamos el mismo dispositivo del experimento anterior; jeringa, mercurio y agua; solo que esta vez se le hace a la jeringa orificios por todas partes, por los cuales pueda penetrar el agua. Tiramos nuevamente del émbolo lentamente hacia arriba. Efecto: en forma contraria al experimento anterior, aquí observamos que el mercurio no asciende por el interior de la jeringa.

Actividad: explica los efectos de los experimentos de acuerdo con el principio de Pascal. Diseña otros experimentos con jeringas de diámetros diferentes, qué pasa con el mercurio si en la jeringa se encuentra inicialmente un vacío?

Experimentos con tubos

- a) Tomamos un tubo de cristal de una longitud superior a tres pies, abierto por uno de sus extremos y cerrado por el otro, lo llenamos de mercurio y lo colocamos boca abajo sumergido en un recipiente también lleno de mercurio, y todo el dispositivo en una tina con agua. Efecto: El mercurio baja hasta que la presión debida al peso de éste se hace igual a la suma de las presiones debidas al peso del aire y al del agua. Cuando esto sucede la columna de mercurio deja de descender (fig. 18).

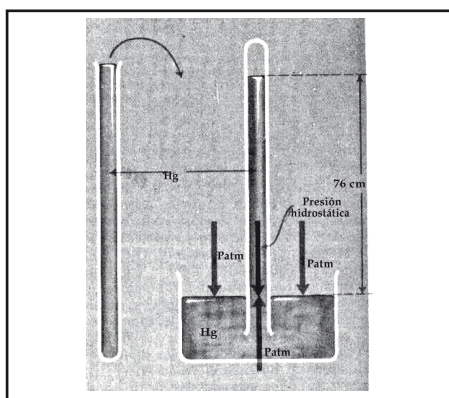


Fig. 18
Tubo con mercurio

- b). Tomamos un tubo largo (3 m. aprox.), cerrado en su extremo superior, curvado en su extremo inferior. Se llena de mercurio y se introduce en una tina de agua de modo que su extremo superior sobresalga fuera de ésta. Efecto: el mercurio quedará parcialmente suspendido en su interior. O sea cuando la altura a la que se encuentre pueda contrapesar al agua que hay fuera.

Actividad: explica qué sucede con el mercurio si se introduce totalmente en el agua hasta una profundidad de 10,5 metros.

Experimentos con sifones

a) Tomamos un sifón con un brazo más largo que otro. En la parte más alta del sifón hacemos un orificio e insertamos un tubo de 20 pies o más y llenamos el dispositivo completamente de mercurio e introducimos cada brazo en un recipiente con mercurio y todo en una tina llena de agua. De tal manera que 4 pies del tubo insertado quede fuera del agua (fig. 19).

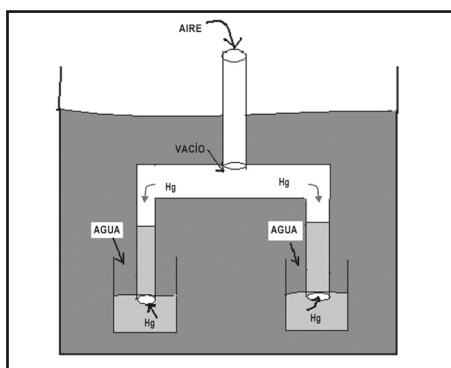


Fig. 19
Sifones

Efecto: al introducirse perpendicularmente el tubo con el sifón en los recipientes con mercurio, y todo a su vez en agua, se presenta que el mercurio comienza a fluir del brazo más corto hacia el brazo más largo, desocupando el recipiente en el que se encuentra inmerso.

Explicación: como el sifón está sometido a la presión atmosférica, debido al tubo que se le ha insertado, y como el agua está también afectada por ésta. se puede considerar el caso como si solo fuera causado por la acción del agua. En ambos brazos del sifón, la presión del mercurio en las aberturas es menor que en los demás puntos, haciendo que exista una tendencia a succionar el mercurio. Tal tendencia está definida por la diferencia de presiones entre el mercurio exterior a la abertura y el que está en contacto con ésta. La presión del mercurio en la abertura es debido al peso de éste contenido en el brazo, siendo mayor para el brazo más largo y menor para el más corto. La presión del mercurio exterior a la abertura es debida al peso de la columna de agua; y tal presión es mayor para el brazo más largo que para el más corto. Por lo tanto, el mercurio tenderá a ser succionado más por el brazo más corto; produciéndose así la transferencia del líquido hacia el recipiente del brazo más largo.

Actividad: un conductor se queda varado en la vía por falta de gasolina, se va caminando a comprar gasolina en un galón para luego traspasarla al tanque, explica de acuerdo con lo visto anteriormente cómo logra el conductor pasar gasolina del galón al tanque usando una manguera y succionando a través de ella.

- c) Tomamos el mismo dispositivo del experimento anterior, pero ahora le hacemos perforaciones al tubo, de manera que el agua pueda penetrar en su interior. Efecto: el mercurio contenido en el sifón ya no circulará de un brazo a otro, sino que caerá por sus respectivos brazos dentro de sus recipientes y el agua ocupará su lugar (fig. 20).

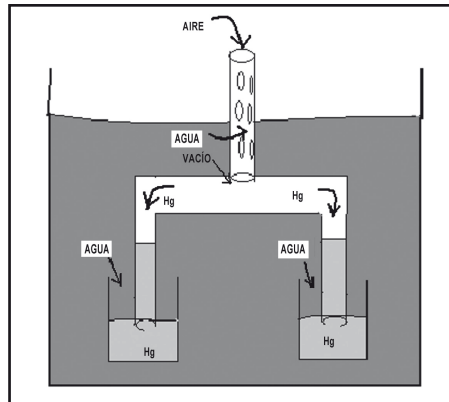


Fig. 20
Sifones con orificio

Actividad. Explica ¿por qué razón el mercurio no circula?

Experimentos con fuelles

- a) Tomamos un fuelle (fig. 21) con todas sus aberturas bien tapadas y lo introducimos en agua, luego tratamos de abrirlo. Efecto: el fuelle presenta resistencia a ser destapado.

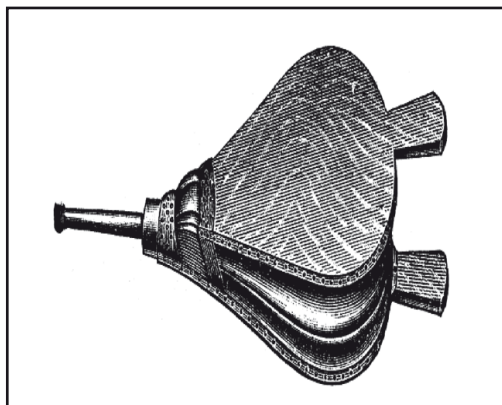


Fig. 21
El fuelle.

Explicación: al estar sumergido el fuelle va a sostener el peso de la columna de agua, a la profundidad que se encuentre. A más profundidad es mayor el esfuerzo por tratar de abrirlo, y menos cuando la profundidad es menor.

- b) Tomamos el fuelle y lo dejamos abierto; completamente sumergido en agua, de tal manera que ésta penetre al fuelle y luego lo cerramos. Tratamos nuevamente de abrirlo. Efecto: El fuelle no muestra ninguna dificultad a ser abierto o cerrado.

Actividad: explica ¿por qué razón el fuelle no presenta dificultad para ser abierto?

Actividad: explica qué sucede si tomamos un fuelle cuyo tubo sea de aproximadamente 20 pies y lo sumergimos en agua, de tal manera que la parte superior del tubo quede por fuera y luego tratamos de abrir el fuelle.

Hasta aquí hemos visto una pormenorizada descripción de los experimentos que hizo Pascal sobre el equilibrio de los líquidos. Estos experimentos dejan en claro los siguientes aspectos:

1. Los líquidos se equilibran cuando los pesos de sus columnas son proporcionales a sus respectivas alturas.
2. La presión ejercida por cualquier líquido en un punto siempre será transmitida en todas las direcciones y en todos los puntos en contacto.
3. Dos líquidos están en equilibrio cuando están sometidos a la misma presión; es decir cuando sus respectivos pesos por unidad de área son iguales.
4. La fuerza que necesita la columna de un líquido para levantar un peso cualquiera, está determinada por su altura.

LECTURA COMPLEMENTARIA
PASCAL Y LA ESTÁTICA DE LOS FLUIDOS
ALEXANDRE KOYRE

(Fragmento)

La hidrostática y el método de Pascal. Por admirable que fuera, el principio de Arquímedes no era sino una ley global. Simón Stevin, que había dado en Estática una demostración del equilibrio de un grave en un punto inclinado fundándola en la imposibilidad del movimiento perpetuo, fue el primer “moderno” capaz de superar a Arquímedes al concebir la noción de presión. Pero el mérito de haberla precisado pertenece a Pascal. En los dos tratados citados más arriba, publicados en 1663 pero redactados, al parecer, entre 1651 y 1654, Pascal anuncia claramente que, abstracción hecha del peso, sobre el envoltorio de una masa fluida en equilibrio la fuerza a considerar es en todas partes proporcional a la superficie de aplicación.

Pascal da una primera justificación de sus pasos que se aproxima a la Estática de los trabajos virtuales de Descartes. A tal respecto, meter en el interior de un fluido un pistón de débil superficie y con una cierta profundidad es lo mismo que meter un pistón “cien veces más largo a una profundidad cien veces más pequeña: en ambos casos la masa desplazada es la misma. Pascal invoca la continuidad y la fluidez, pero no ve que está postulando la incompresibilidad del fluido sobre el que razona, el agua, y la conservación del volumen en toda deformación virtual a partir del estado de equilibrio.

Sin duda fue un sentimiento de insuficiencia lo que le lanzó a añadir una prueba que sólo podrá ser entendida por los geómetras y acaso tolerada por “los demás”. Esta prueba no es, sin embargo, más satisfactoria que la primera. Considerando el conjunto de dos pistones de la máquina hidráulica en equilibrio y teniendo en cuenta el ligamen con el fluido contenido en los vasos comunicantes, Pascal muestra que el centro de gravedad de los pistones (cuyos pesos son proporcionales a sus superficies) no podría descender y, sin decirlo, se refiere al principio de Torricelli sobre los sistemas pesados. Pero en seguida vuelve a afirmar que es necesario “considerar como muy verdadero que un vaso lleno de agua, al que se han hecho aberturas y cuyas fuerza en estas aberturas son porcionales, están en equilibrio”. Pascal no ha superado explícitamente el estadio de balbuceos en la transposición del principio del *mínimo* entrevisto para los sistemas que pesan.

En cambio, tiene al menos el mérito de legar a la posteridad fórmulas sorprendentes: “Un vaso lleno de agua es una máquina de mecánica para multiplicar las fuerzas”. Pasando de la Hidrostática al peso del aire “que nadie pone hoy en duda”, especula sobre el cálculo de toda la masa del aire que hay en el mundo y lanza a los últimos discípulos de Aristóteles –que le relevaban a duras penas– el desafío de razonar a partir del horror al vacío todos los efectos que explica la presión del aire. Pascal tiene el secreto del estilo y la polémica. Por los pensamientos se sabe que rechazaba el mecanicismo cartesiano.

Aun concediendo a los conceptos cartesianos un carácter juicioso, Pascal prefería un método que consiste en imaginar rápidamente principios generales, la experiencia de los cuales (como el ascenso del agua en el cuerpo de la bomba y el tubo de Torricelli) sean consecuencias más que puntos de partida. Lo que antes hemos dicho sobre la “gran experiencia” confirma en este punto de vista una filosofía del método pascaliano *considerablemente* expresada por León Brunschvicg y Pierre Boutroux.

La ciencia moderna tenderá a dar la razón a Descartes, al menos al Descartes desconocido. La teoría física parte de la experiencia para volver a ella formulando previsiones. Pero en el intervalo es libre de considerar todos los inobservables y todos los elementos abstractos útiles para su análisis y, si esto es a veces penoso, no es menos eficaz ni menos incierto que dar paso al apriorismo de las informaciones generales.

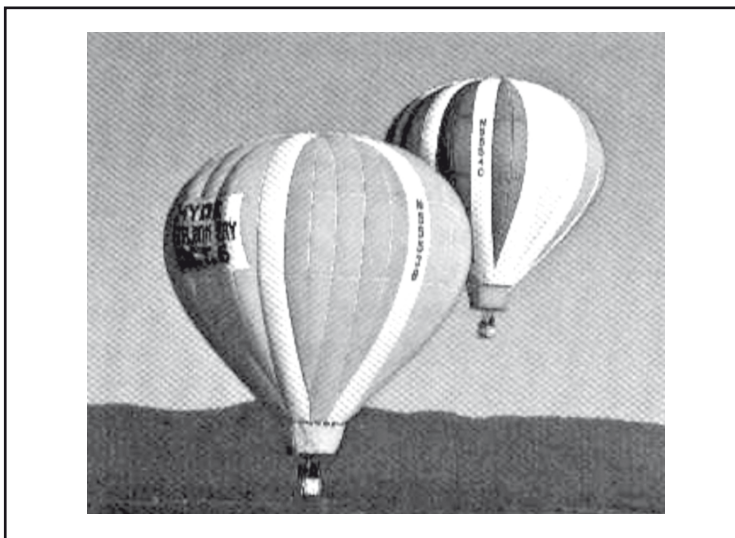
Preguntas de seguimiento y valoración

- 1- ¿Por qué fue importante la noción de equilibrio para los antiguos griegos?
- 2- ¿Cómo funciona el principio de los vasos comunicantes?
- 3- Explica el funcionamiento de los frenos de un carro.
- 4- Explica donde radica el poder de multiplicar la fuerza en una máquina hidrostática.
- 5- Qué sucede con un globo inflado que se sumerge 2 metros bajo el agua?
- 6- Con dos jeringas de distinto diámetro construye una prensa hidráulica.
- 7- Qué aportó el estudio del equilibrio de los líquidos al debate entre plenistas y vacuistas?
- 8- Explica cómo son aprovechados hoy en día los sifones y los fuelles en la industria y la medicina.
- 9- Explica las razones por las cuales un objeto más denso que el agua puede flotar en vez de hundirse, ejemplo, barcos.
- 10- Explica por qué los peces y submarinos pueden subir y bajar en el agua a ciertas profundidades sin dificultad.

CAPÍTULO 5

SOBRE EL COMPORTAMIENTO DEL AIRE

Muchos sabemos de la existencia del aire porque respiramos, pero poco podemos identificar la forma como actúa y menos en condiciones de reposo. Vemos como los globos inflados con gas se elevan en el aire, cómo los aviones logran atravesar las nubes, cómo las aves planean en el aire y cómo los pulmones se inflan cada vez que inhalamos aire. Sin embargo, identificar, el comportamiento del aire ha sido objeto de estudio desde la antigüedad, pero sólo hasta la Edad Media se comprendió que era activo y que además es la causa de muchos de los fenómenos que encontramos en la vida cotidiana.



Expansión de los gases

EXPLORACIÓN DE IDEAS

1. Explique por qué el agua que hay en un pitillo no se cae, cuando éste se encuentra tapado en uno de los extremos
2. ¿Puede una persona respirar si no hay fuerza de gravedad?
3. Explique por qué un vaso lleno de agua cubierto con un papel, al invertirlo rápidamente el agua no se cae
4. Explique por qué los bebederos de las aves no se desocupan rápidamente si el líquido está bocabajo
5. ¿Por qué se hace difícil separar dos superficies completamente lisas y pulidas?

EL ESTUDIO DEL AIRE EN LA ANTIGÜEDAD

Los experimentos mencionados anteriormente sobre el vacío, eran en sí mismos ampliamente claros y suficientes como para terminar con la doctrina del horror al vacío. Sin embargo, y a pesar de todo, no lograron persuadir a los defensores del tradicionalismo. No porque hubiera errores en las demostraciones sino porque existía una ciega sumisión al pensamiento antiguo. Esta actitud del tradicionalismo de no aceptar el vacío fue motivo para que Pascal se decidiera a hacer otra serie de experimentos nuevos. Los objetivos fundamentales de estos experimentos eran: “convencer a los incrédulos y destruir definitivamente el antiguo y tenaz prejuicio y, dejar sentado que la única y verdadera causa de los fenómenos atribuidos al horror al vacío, es el peso y la presión de la masa del aire exterior”.

El aire era uno de los cuatro elementos fundamentales de la naturaleza para Aristóteles, agua, fuego y tierra eran los restantes. Los aristotélicos sostenían que el aire era un elemento pasivo, no tenía peso y sólo se mantenía en su esfera alrededor de la tierra. Ni el aire ni el agua pesan en su lugar natural, esto quiere decir que el agua no puede pesar en el agua, tampoco podría suceder que el aire pesara en el aire. Si éste no pesa, tampoco puede intervenir en los fenómenos conocidos. Su única cualidad era llenar los espacios dejados por los cuerpos antes que permitir la formación de un vacío en ese lugar.

Sin embargo, contrario a esta postura estaba Anaxímenes (600 a c) quien se formó en la escuela de tales de Mileto, llegó a considerar que el aire era “el principio inagotable” del universo, al respecto dice: “ el universo es un ser vivo, sujeto a los accidentes del nacer y del morir y que, por tanto, ha de respirar, así pues el aire es el aliento vital y el alma que penetra y conserva la vida de los cuerpos”.

Este carácter animista al aire lo coloca como elemento central de la creación y por tanto es activo y vital.

La controversia con relación al aire se mantiene hasta la Edad Media, pero ello no evitó que algunos inventores de la antigüedad como Heron de Alejandría (siglo I a.c) diseñaran aparatos y mecanismos para observar comportamientos con el aire, él mismo inventó el eolípilo (quizás la primera máquina de vapor), el molino de viento.

EL AIRE EN LA EDAD MEDIA

Las dos corrientes (tradicionalistas y no tradicionalistas) estaban por caminos opuestos. Los que defendían las concepciones plenistas mantenían la idea de que el aire es inactivo porque la causa de los fenómenos estudiados es el horror de la naturaleza al vacío, y los defensores de las concepciones vacuistas sostenían que el vacío existe y es inactivo, pero que la verdadera causa de los fenómenos estudiados es la actividad del aire. Pascal se convirtió en un gran defensor de la corriente de los no tradicionalistas y en contra de las opiniones de Descartes llegó a sostener que el aire tiene peso, ejerce acción sobre el medio que le rodea y se comporta como un líquido, incluso la crítica alcanzó niveles ideológicos en torno a los cuales Pascal “veía en el cartesianismo un nuevo ropaje de la física aristotélica, una ideología de recambio –apriorista y dogmática– que había que combatir en nombre de la verdad y de la práctica experimental a que ella conduce”.

La afirmación de que el aire pesa no era nueva. Ya anteriormente se había desarrollado algunos trabajos que mencionaban el peso del aire, por ejemplo, con Nicolás Cusa, Beeckman, Balliani y hasta el mismo Galileo Galilei. Pero quien encaró esta cuestión más a fondo fue el físico italiano Evangelista Torricelli, para quien el aire además de rodear la tierra, también pesa y causa efectos sobre los cuerpos que rodea; pues demostró en un experimento público, conocido como el célebre experimento de Italia, la existencia del vacío y la acción externa del aire, experimento que ya vimos anteriormente (fig. 5).

Este experimento demostraba que la suspensión del mercurio se debía a una causa externa, a saber el peso del aire exterior y así lo sostiene Torricelli al decir que: [...] “no encuentro nada extraño que el mercurio ascienda hasta equilibrarse con el peso del aire que empuja desde el exterior”.

Torricelli señala, además que no podría ser el vacío defendido por los tradicionalistas o incluso la fuerza de vacío desarrollada por Galileo la que sostiene la columna de mercurio; porque al tener uno de los tubos más espacio interno que el otro, entonces debería ejercer más influencia sobre el mercurio. Cosa que no ocurre, ya que la columna se mantiene exactamente a la misma altura en los dos tubos. Así, pues, dice:

...la fuerza tendrá que haber sido mayor en el recipiente AE puesto que allí había más materia rarificada susceptible de ejercer alguna atracción, la cual en virtud de su mayor rarefacción debería también ser mucho más potente que la materia contenida en el reducidísimo espacio B (fig. 22).

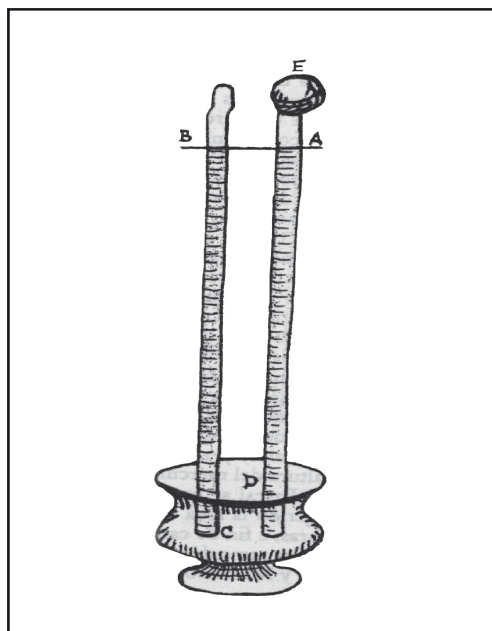


Fig. 22
Experimento de Torricelli

Con estas deducciones tan importantes, Torricelli estaba sentando un nuevo precedente en la historia de las ciencias para la humanidad. Proponer que el aire no es un elemento imponderable sino que tiene un peso y que dicho peso es la causa de todos los efectos hasta ahora determinados por el horror al vacío, era una verdadera revolución en contra de los viejos dominios de las ciencias.

El tratado del peso de la masa del aire: Blaise Pascal

La obra de Pascal refleja una transformación en el pensamiento científico. Sus tratados cambiaron la imagen que hasta el momento se tenía de la ciencia y dieron paso a una nueva forma de ver los fenómenos relacionados con la presión del aire y el equilibrio de los líquidos en los que muestra su ingenio creativo y la aguda sutileza de sus demostraciones. En uno de los apartes de su tratado sobre el peso de la masa del aire cuestiona el pensamiento tradicional diciendo:

que todos los discípulos de Aristóteles se armen de cuanto hay de valioso en las obras de su maestro y de sus comentaristas y expliquen, si es que pueden, todas estas cosas por medio del horror al vacío; si no, que reconozcan que los experimentos son los verdaderos maestros que hay que seguir; que el practicado en las montañas ha puesto fin a la creencia universal en el horror de la naturaleza al vacío, abriendo así camino a la idea –ya incuestionable– de que la naturaleza no experimenta horror alguno al vacío, que no hace nada por evitarlo, y que el peso de la masa del aire es la verdadera causa de todos los efectos que hasta ahora se venían atribuyendo a esta causa imaginaria.

Su objetivo era entonces demostrar la real existencia del vacío para poner fin a una vieja polémica y a la ciega sumisión del pensamiento de la antigüedad, pero además demostrar con todos los experimentos posibles la actividad del aire. Es así como a partir del examen de los límites de la acción del vacío y de la fuerza requerida para producirlo muestran que estos son debidos a causas externas. A continuación entra a demostrar que tal causa es el peso de la masa del aire; más precisamente que los efectos examinados pueden entenderse en términos del equilibrio o desequilibrio entre el peso de la columna del aire circundante y el del líquido considerado; es decir, Pascal considera el aire como un líquido más. Para ello desarrolla su tratado sobre el equilibrio de los Líquidos, en el cual explicita las condiciones de equilibrio desarrollando y precisando el concepto de presión, visto en el capítulo anterior.

Para hacer evidente la relación entre el aire y los líquidos, muestra que los efectos producidos en el aire también se producen en los líquidos. Primero desarrolla los experimentos utilizando líquidos y luego por analogía los interpreta para los que se suceden debido a la acción del aire. Así por ejemplo narra el siguiente:

Introduje una jeringa en un recipiente con mercurio y todo el sistema a su vez en una tina llena de agua, al comenzar a succionar el mercurio sube por la acción del peso del agua. Al hacerle orificios a la jeringa el efecto mostrado es que el agua penetra por todos los orificios y el mercurio no sube. Luego desarrollé el mismo experimento pero en vez de una tina llena de agua lo tuve sometido a la acción del aire, y encontré que los efectos mostrados son completamente análogos a los anteriores.

De esta manera Pascal asume que el aire es un líquido más y que cumple con el principio de equilibrio de los líquidos, luego entra a explicar los fenómenos atribuidos al horror al vacío como efectos del peso del aire.

El experimento del Puy de Dome

Que el aire es un líquido y por ende, su comportamiento obedece a la ley universal del equilibrio de los líquidos fue el aporte crucial señalado por Pascal en su tratado de equilibrio de los líquidos. Para demostrar tal afirmación encargó a un amigo suyo que vivía cerca de las montañas de Auvernia (Francia) para que hiciera un experimento en el pie y la cima del Puy de Domé. Experimento que fue relatado de la siguiente manera:

Realizamos el experimento primero al pie de la montaña con dos tubos llenos de mercurio en la forma acostumbrada con el experimento de Italia. Fijo uno de los dos tubos en el recipiente a modo de experimento ininterrumpido y lo dejé en aquel lugar... y así con el otro tubo y parte del mercurio me encaminé a repetir el experimento en lo alto del Puy de Domé, cuya cumbre está situada a unas 500 toesas por encima del convento de los Mínimos. Allí se constató que el mercurio sólo se elevaba hasta una altura de 23 pulgadas, 2 líneas. Por lo tanto entre los dos tubos, el del pie de la montaña y el de la cima había una diferencia de 3 pulgadas y una línea... (fig. 23).

La explicación de este asombroso hecho, de la variación del mercurio con la altura, es la siguiente. El aire por su peso ejerce presión sobre el mercurio que está en el recipiente, haciéndolo subir a través del tubo hasta un nivel de 75 cm., aproximadamente en la parte baja de la montaña. Pero en la parte alta la cantidad del aire es menor, ya que está más enrarecido, y por lo tanto su peso, y de hecho su presión es menor. Esto es lo que hace que el mercurio no suba hasta el mismo nivel sino que ascienda a menor altura. Pascal llegó incluso a proponer que “si llegamos a una altura límite donde prácticamente no hay aire el mercurio no asciende por el tubo”.

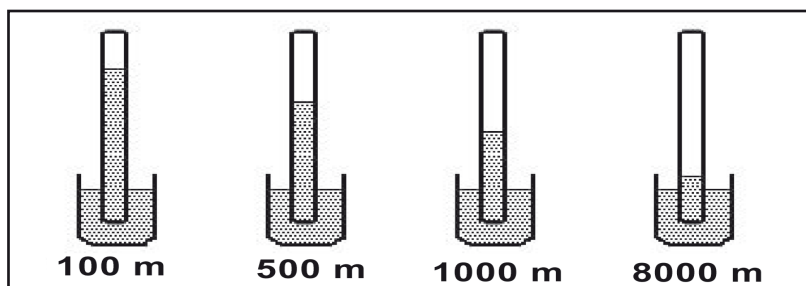


Fig. 23
Experimento del Puy Domé

Este experimento de trascendental importancia dejó sin piso a los que sostenían que el aire no pesaba ni podía actuar sobre los cuerpos o sobre el medio en general. Y además se convirtió en base fundamental para las posteriores demostraciones sobre la acción del peso y la masa del aire, para explicar muchos fenómenos que no podían ser explicados con la Teoría del Horror al Vacío.

El barómetro o baroscopio

Seguramente y sin saberlo, Torricelli inventó el primer baroscopio (fig. 24) de que se tiene noticia. La perfección del experimento al utilizarlo en diferentes alturas por Pascal permitió con el tiempo saber que era posible identificar las condiciones climáticas con este sencillo instrumento, llegando a convertirse en lo que hoy se denomina un barómetro de mercurio.

Torricelli mismo decía que una atmósfera era la presión debida a todo el peso de la gran masa de aire circundante actuando sobre la columna de mercurio, equivalente por lo tanto a 76 cm de una columna de mercurio o 10,5 metros de una columna de agua a nivel del mar (hoy en día llamado 1 torr).

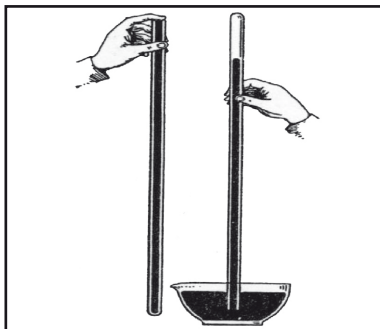


Fig. 24

El barómetro de mercurio

El experimento de Auzout

Se introduce un tubo CF con un recipiente H dentro de otro mayor AB con un tapón en G (fig. 25) y luego se procede a llenar de mercurio todo el conjunto a través del extremo F mientras se tapona el otro extremo A con el dedo, luego se procede rápidamente a sellar herméticamente F, al sumergir en un recipiente D también lleno de mercurio, se observa que:

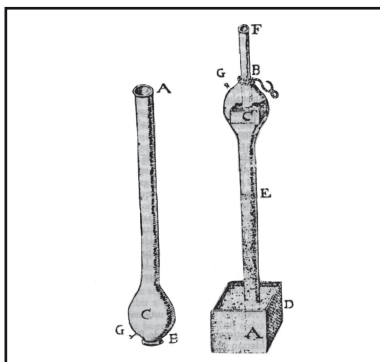


Fig. 25

Experimento del vacío de Auzout

a) Al retirar el dedo que taponaba a A, el mercurio cae por ambos tubos; en el tubo CF cae totalmente, mientras que en el tubo AB cae hasta una altura de 27 pulgadas, según Auzout.

b) Cuando se destapa el tubo AB por el tapón que tiene en G se observa que el mercurio del tubo AB cae totalmente, pero el mercurio que se encuentra en H sube violentamente por el tubo CF hasta alcanzar una altura de 27 pulgadas.

Este experimento demuestra que el aire que entra por el tapón G es la única causa que ejerce presión sobre el mercurio contenido en H obligándolo a subir por el tubo CF que se encontraba vacío por la caída inicial del mercurio al retirar el dedo de A hasta equilibrarse en una altura de 27 pulgadas o 76 cm de mercurio a nivel del mar. De acuerdo con el principio de Pascal podemos decir que la presión del aire que entra es mayor que la presión que hay dentro del tubo, prácticamente vacío, por lo tanto la diferencia de presiones obliga al mercurio a ascender por el tubo.

Actividad: Explique por qué razón el mercurio cae totalmente por el tubo AB.

Experimento del vacío en el vacío de Pascal

Pascal concibe un doble tubo como el que se muestra en la figura (fig. 26) curvado en su parte inferior B, sellado por el extremo superior A, tapado con un dedo en M y abierto por el extremo inferior N por donde se introduce mercurio hasta llenarlo, luego se tapa con un dedo en N y se invierte todo el conjunto sumergiendo parte de él en un recipiente.

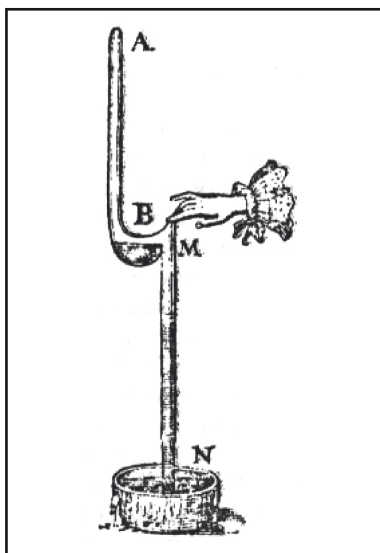


Fig. 26

Experimento del vacío en el vacío de Pascal

Actividad. Explique lo que sucede con el mercurio en los dos tubos una vez se retire el dedo del extremo inferior N

Actividad: explique lo que sucede con el mercurio en los dos tubos una vez se quite el dedo en M.

El experimento de Roberval

Los experimentos para demostrar la acción del aire fueron contundentes en los casos anteriores pero se hacía considerando la acción total de la masa de aire circundante. Roberval se ingenió un experimento para mostrar la acción del aire encerrado en un recipiente donde una vejiga prácticamente se hincha en el vacío torriceliano. Se introduce un globo medio desinflado en el barómetro de Torricelli, al invertir el tubo se sabe que el mercurio desciende por el tubo hasta una altura de 27" (fig. 27) pero el globo que queda en el espacio vacío comienza a inflarse lentamente, tanto como el recipiente se lo permita.

Actividad: explique las razones por las cuales el globo se infla en el vacío.

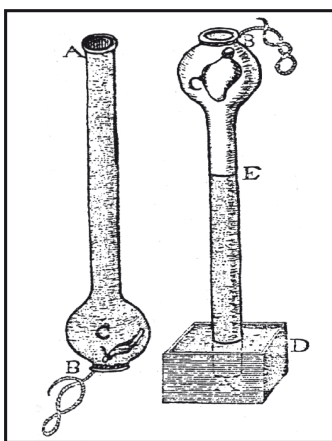


Fig. 27

Experimento de la vejiga de Roberval

Experimento de Charleton

En el siglo XVII un experimento influyente en la recuperación del atomismo griego fue el de Walter Charleton (1620-1707) quien defendió las ideas de Torricelli al demostrar de otra forma que el espacio que está situado encima de la columna de mercurio no contiene aire. Cuando el barómetro de Torricelli se inclina respecto a la perpendicular por debajo de los 76 cm (fig. 28) el nivel de mercurio asciende por el tubo hasta llenar todo el tubo, la pregunta de Charleton seguramente era a donde podía ir el aire que supuestamente existía en ese espacio ya que la parte superior estaba herméticamente cerrada y no se veían burbujas pasando a través del mercurio.

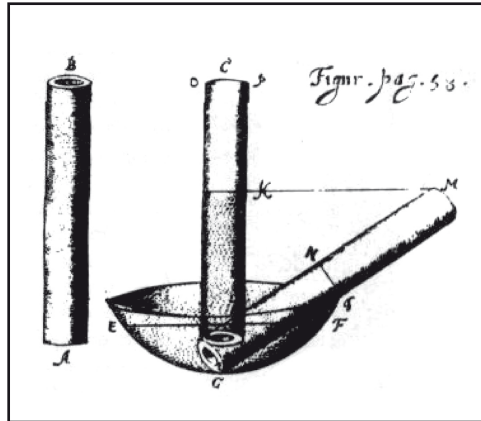


Fig. 28
Experimento de Charleton con el barómetro

Pascal repitió este experimento y lo explicó desde el principio de la diferencia de presiones. Sea cual sea el grosor del tubo, el mercurio siempre se elevará a la misma altura ya que el equilibrio de los líquidos depende de su altura y no de su volumen. Entonces el aire presiona sobre el mercurio para hacerlo subir. Cuando éste llega a la altura de antes, es cuando los dos líquidos se equilibran entre sí, porque la presión de la columna de mercurio a esa altura es igual a la presión del peso de la masa del aire exterior

Actividad: Explica lo que sucede al barómetro al levantar nuevamente el tubo y ponerlo en posición vertical.

Experimento de los discos de mármol

La máquina neumática o máquina de extracción de aire inventada por Robert Hooke para su amigo Robert Boyle y que se puso en funcionamiento en 1662 le permitió a este último realizar varios experimentos para analizar el comportamiento de algunos fenómenos relacionados con el aire (en el capítulo siguiente veremos en detalle el funcionamiento de esta máquina) entre ellos “el bien conocido y muy discutido fenómeno de la cohesión espontánea de discos de mármol pulimentados”. Tenemos dos discos de mármol idénticos A y B de superficies pulidas y completamente lisas puestas en contacto una con la otra, como lo muestra la figura (fig. 29).

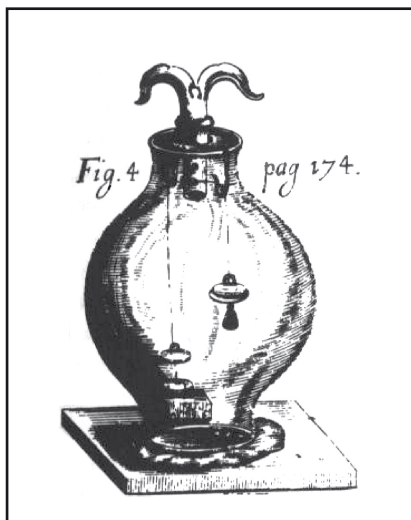


Fig. 29
Experimento con los discos de mármol

El disco A que se encuentra en la parte superior esta unido por una cuerda a un tercer disco C a través de una polea, cuando el aire permanece dentro de la campana se observa que los discos A y B permanecen unidos y es difícil separarlos, al extraer aire de la campana se observa que los discos A y B se separan y el disco C comienza a descender.

Actividad: explica ¿cuál es la razón por la cual las superficies A y B se pueden separar?

Actividades adicionales

Se puede realizar la recontextualización de experiencias para considerar el comportamiento del aire en otro tipo de experimentos con jeringas, tubos, sifones, pitillos...

Experimentos con jeringas

Se pueden hacer experimentos con jeringas de distintos diámetros sumergidas en distintos líquidos como mercurio, agua, aceite... con el émbolo perfectamente ajustado, de forma que su abertura se sumerja una pulgada y el resto de la jeringa se mantenga en posición vertical. Tiramos el émbolo lentamente hacia arriba. Describa comportamientos observados, compare unos líquidos con otros...

Pregunta: la fuerza para tirar el émbolo hacia arriba ¿cambia con el diámetro de la jeringa o es la misma? argumente su respuesta.

Experimentos con tubos

Se llena de vino un tubo de cristal de 16 metros de longitud, abierto por uno de sus extremos y cerrado por el otro (fig. 30). Se coloca boca abajo y sumergido en un recipiente lleno de agua. El vino comienza a descender por el tubo (mezclándose con el agua) hasta cierta altura (10,5 m) en la que no descenderá más, y formará un espacio vacío en el interior del tubo.

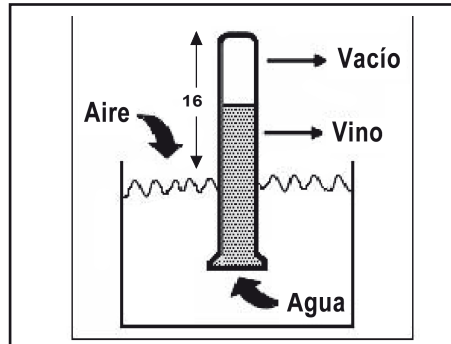


Fig. 30
Tubos con vino

Actividad: explique la razón por la cual el vino desciende hasta el punto donde el peso de su columna se equilibra con el peso de la columna de agua que presiona hacia arriba.

Dentro de los llamados experimentos mentales de Pascal, pensó el siguiente: tomamos un tubo de cristal de 20 pies de longitud (fig. 31). Lo aplicamos contra el muslo de una persona y en tal estado se sumerge en una tina llena de agua de forma que el extremo superior quede fuera del agua. Efecto: la carne del muslo se hincha en el sitio donde se encuentra aplicado el tubo.

Actividad. Explica la razón por la cual se produce este fenómeno.

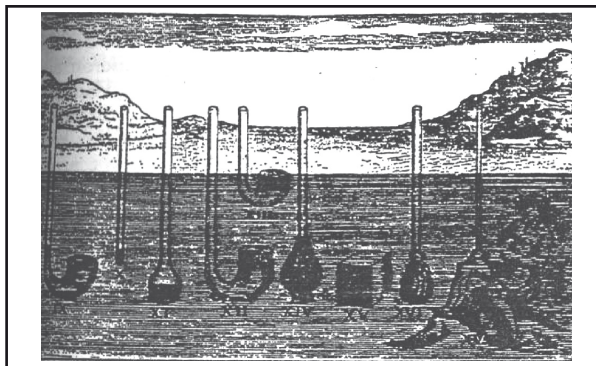


Fig. 31
Experimentos mentales de Pascal

Experimentos con pitillos

Tomar un tubo abierto tanto por arriba como por abajo (o sea un pitillo) y sumergir su parte inferior dentro de un líquido. Por el otro lado sorber. Es lógico que el líquido comience a subir a través del tubo hasta llegar a la boca de la persona.

Actividad: discuta con los compañeros la siguiente explicación; el agua está sometida a la presión del aire por todas partes excepto por aquella donde está la abertura inferior del pitillo, ya que los músculos respiratorios hacen que se hinche el pecho y aumente la capacidad interior del cuerpo, por lo tanto se produce más espacio libre que antes y de esta manera la resistencia que ofrece el interior del cuerpo a que entre el agua es menor que la fuerza del aire exterior que presiona por las demás partes del agua para hacerla penetrar. Las diferentes presiones sobre el líquido son las que hacen que éste tienda a subir por el sitio donde hay menos presión

Experimentos con sifones

Llenamos de mercurio un sifón que posee un brazo más largo que otro, y de 1 m. de longitud aprox. el más corto. Introducimos sus brazos en recipientes con mercurio en forma completamente vertical (fig. 32), cuando el sifón se encuentra en posición perpendicular, el mercurio cae por ambos brazos hasta una altura de 76 cm. Si ahora tomamos el mismo dispositivo, pero inclinamos el sifón por debajo de la altura de 76 cm, el mercurio comienza a ascender nuevamente y a pasar de un brazo a otro; y es del brazo más corto al brazo más largo vaciando el recipiente donde está inmerso.

Actividad: explique el funcionamiento del sifón

Actividad: explique cómo es el comportamiento del sifón si en lugar de mercurio hacemos el experimento con agua.

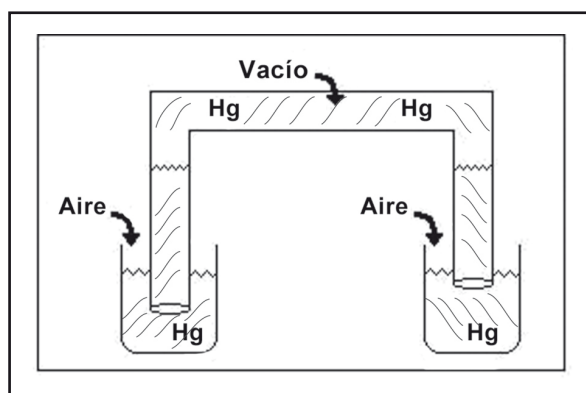


Fig. 32
Sifones inclinados

LECTURA COMPLEMENTARIA
PASCAL Y LA ESTÁTICA DE LOS FLUIDOS
ALEXANDRE KOYRE

(Fragmento 2)

El peso del aire y el horror al vacío: A Pascal y sus célebres trabajos debe la historia unir, en un símbolo admirable, el peso del aire con la destrucción del mito del horror al vacío. Y, sin embargo, ese peso había sido afirmado por numerosos precursores, como Nicolás de Cusa, independiente de la cuestión del vacío. Cardano sería el primero, según parece, en interrogar a la experiencia al respecto, en el cuadro de teorías, por lo demás frágiles, sobre la resistencia de los fluidos: así, estimaba que el aire es cincuenta veces menos pesado que el agua. Un médico del Périgord, Jean Rey, tuvo el mérito de plantear ese problema en 1630 por vía química, atribuyendo al aire el aumento de peso que se observa al calcinar estaño. Con Isaac Beeckman aparece, sin relación precisa, la doctrina de que el aire pesa y la de la existencia del vacío. Baliani confiaba a Galileo la misma opinión. El ‘propio Galileo admitía que la resistencia al vacío podía ser limitada; sus experimentos sobre el peso del aire le dieron como resultado una densidad mitad de la real. En cuanto al P. Merssene, aplicando sin restricción a la caída de los cuerpos en el aire y en el agua las leyes de la Dinámica escolástica, hallaba para el aire una densidad 1900 veces menor que la del agua aproximadamente.

En otoño de 1646, P. Petit repitió en Ruán, ante los dos Pascal, padre e hijo, el experimento de Torricelli. Ha dejado al respecto una narración que es un modelo de protocolo experimental y no deja en el tintero ningún detalle de la realización. El propio Pascal repite públicamente el experimento con numerosas variantes y lanza verdaderos desafíos a sus contradictores. En sus *Expériences nouvelles touchant le vuide* (1647), Pascal no se atrevía aún a proclamar el absurdo del horror al vacío y se limitaba, a ejemplo de Galileo, a afirmar que “la fuerza de ese horror es limitada y parecida a aquella con que tiende a caer el agua situada a cierta altura, que es de unos treinta y un pies”, pero desde este momento ve lo que se le ha escapado a Galileo; la experiencia se hace siempre encima de recipientes en libre contacto con la atmósfera.

Tiene ya la idea de que es la presión del aire atmosférico, consecuencia de su peso, lo único que sostiene el mercurio en el tubo de Torricelli. Ello no obstante, el propio Pascal menciona la objeción que puede hacerse, objeción en la que hay una clarísima alusión a Descartes: el peso del aire no es incompatible con la existencia de una “materia imperceptible, inaudita y desconocida para todos los sentidos y que llena el espacio vacío en apariencia”, la cual se forma en lo alto del tubo con el que se experimenta.

La gran experiencia: En este contexto es donde hay que situarse para comprender la experiencia de Puy de Dome, cuya documentación publicó Pascal en octubre de 1648. El primero de estos documentos es una carta de Pascal a su cuñado Florin Périer, consejero en la Cour des Aides de Clermont, pidiéndole que realice una experiencia “decisiva”, aprovechando su proximidad a la alta montaña de Auvernia. Se trata de “hacer la experiencia ordinaria del vacío”,

es decir, la experiencia de Torricelli, “varias veces un mismo día, con el mismo tubo, con el mismo mercurio y unas veces al pie de una montaña de quinientas o seiscientas toseas de altura y otras en su cima”. Porque, añade Pascal, “es perfectamente seguro que hay mucho más aire que pesa en el pie de la montaña, de manera que no debería decirse que la naturaleza tenga más repugnancia al vacío en el pie de una montaña que en su cima”. Esta frase caracteriza la originalidad de Pascal. Originalidad que, efectivamente, no reside en la experiencia misma, sino en la fe en su éxito y en su interpretación.

Hoy se sabe mejor que Pascal no es, en esta época, el único en pensar que puede ser útil “experimentar si el mercurio sube tan alto cuando está en la parte alta de una montaña como cuando está en la parte baja”. La expresión es de Descartes, y precisamente dirigida a Pascal, en una carta a Mersenne del 13 de diciembre de 1647 en la que el gran adversario del vacío anota las observaciones que realiza por su parte en relación con las variaciones –del orden de una pulgada– de la altura de mercurio en un mismo lugar, según las condiciones atmosféricas. Pero la correspondencia de Mersenne muestra que el caso de Descartes no es aislado. En este momento de la Historia, todo el mundo cree en el peso del aire y en su influencia sobre la altura del mercurio y está a la orden del día el problema de saber si se puede evidenciarlo por la variación en función de la altitud del lugar de observación. Descartes se muestra favorable mientras que Mersenne, indeciso en lo que se refiere a la noción de vacío, y Roberval, que es un partidario decidido, dudan de su éxito y, en consecuencia, de su interés. En efecto, todo depende del orden de importancia que los diversos antagonistas atribuyen al peso del aire y a su espesor en torno a la Tierra, por que según lo que se admita a este respecto puede dudarse que la altitud de una montaña baste para definir una variación de la altura del mercurio de una magnitud lo suficientemente elevada como para que se distinga de las otras variaciones constatadas.

Es curioso leer en el relato que hace Florin Périer de la “gran experiencia” realizada bajo su dirección el 19 de septiembre de 1648 que este día “fue muy inconstante” y que, sin embargo, las alturas del mercurio medidas varias veces tanto en la falda como en la cima del Puy de Dôme, así como en una estación intermedia, fueron siempre exactamente las mismas. Si bien las observaciones realizadas en la cima y en la estación intermedia probablemente fueron de corta duración, el observador que quedaba en la parte baja de la montaña tuvo todo el día para constatar que la altura de mercurio no había sufrido ningún cambio en su lugar “aunque el tiempo hubiera sido muy inconstante: a veces sereno, otras lluvioso, o lleno de nieblas, o ventoso”. ¿Quién lo va a creer?, incluso teniendo en cuenta que las medidas de Périer están dadas con la precisión de un cuarto de línea, es decir, con poco más de un semimilímetro. Hay en ello la precisión suficiente como para que sea muy sospechosa la afirmación de la constancia de la altura del mercurio en la falda de la montaña durante toda una jornada de condiciones atmosféricas variables.

El relato de Périer, del que Pascal declara “que ha aclarado todas sus dificultades”, elimina demasiado bien por la negativa, y por razones didácticas, lo que nosotros podríamos denominar fenómenos secundarios. En realidad, y es significativo que Pascal no quiera confesarlo, lo que proporciona el éxito a la “gran experiencia” es que el orden de importancia de la diferencia de

alturas del mercurio entre la falda y la cima del Puy de Dome (más de tres pulgadas) supera tan ampliamente las variaciones localizadas hasta entonces en función de las condiciones atmosféricas, que es necesario reconocer que la diferencia de altitud tiene una importancia mayor, y reformar la evaluación del peso del aire, variable con la altitud. Sobre los porcentajes descubiertos en el Puy de Dome, el P. de La Marre podía evidenciar una diferencia de 4 milímetros y medio entre el pie y la parte alta de las torres de Notre –Dame de Clermont y el propio Pascal podía encontrar un resultado del mismo orden en la torre de Saint– Jacques de París, sin temor esta vez a los fenómenos secundarios, al ser las observaciones muy próximas en el espacio y en el tiempo.

Vemos así en qué sentido se ha revelado eficaz esta “gran experiencia” de la que Pascal dice que “un anhelo universal la había hecho famosa antes de que se realizará” Permite, efectivamente, prever el éxito de otras experiencias más seguras en cuanto a poner en evidencia el factor principal de sustentación de la altura barométrica. Vemos también, sin embargo, las reservas que conviene hacer en cuanto a su carácter decisivo.

La verdadera experiencia decisiva es aquella de la que habla Pascal como de pasada al comienzo de su carta a Périer; es la experiencia del vacío en el vacío, que consiste en colocar, mediante un dispositivo apropiado, un tubo de Torricelli en el interior de un vacío barométrico y en constatar que el mercurio “desciende por completo”, al no estar “ni presionado ni contrabalanceado por aire alguno”. Su paternidad pertenece sin discusión a Roberval, y si no puede dudarse de que Pascal la haya realizado por su cuenta, como él afirma, sí *que se puede dudar de la fecha del 15 de noviembre de 1647, fecha que señala en su carta a Périer en la publicación de octubre de 1648. La positiva lección de la crítica de los textos es que en el invierno de 1647 a 1648 Pascal encontró en qué fundar la afirmación de que “la naturaleza no tiene repugnancia alguna al vacío ... , que todos los efectos que se han atribuido a esta repugnancia provienen del peso y la presión del aire”, pero tuvo que situar en otros aspectos su aportación original, al no poder invocar para sí la experiencia decisiva.*

Sigue siendo mérito de Pascal el haber prescrito y realizado a la vez una experiencia espectacular en el ambiente de los debates complejos entre adversarios y partidarios del vacío, aun cuando conscientemente se negara a dar la versión exacta en aras de un nuevo dogmatismo.

El barómetro y la máquina neumática. La comprensibilidad del aire: *Lo que no aparecía en el Récit de la gran experiencia, aparece con abundancia de detalles en los trabajos póstumos sobre l'Équilibre des liqueurs y la Pesanteur de la masse de l'air, publicado en 1663. En ellos Pascal se revela como un notable físico por la variedad de sus dispositivos experimentales, la agudeza de sus análisis y el empleo de las medidas en el conocimiento de las aproximaciones y la valoración de la jerarquía de los términos. Así pues, uno no se sorprende de encontrar, como apéndice a estos tratados, Los fragmentos, cuya redacción puede ser situada en 1651 y en los que Pascal asume esos fenómenos secundarios cuidadosamente descartados en el Recit. Y los asume tan bien que llega hasta describir cuatro dispositivos susceptibles de mostrar la variación de las condiciones atmosféricas, en particular; un sifón cuyo rendimiento disminuye con la presión atmosférica.*

Pero la aplicación del tubo de Torricelli de forma sifoide para la predicción de la lluvia y el buen tiempo no es obra de Pascal; se debe a Otto de Guericke, cuyo espectacular instrumento (¡un flotador ligado con un hilo a una figurilla que permite concretar, las variaciones de la presión atmosférica por las inclinaciones de un brazo) se describe en la obra *Experimenta nova Magdeburgica de vacuo spatio* (1662), terminado en 1663.

No obstante, el nombre de barómetro es una denominación tardía que se impuso solamente después del *Essai sur la nature de l'air*, publicado por Mariotte en 1676.

Experimentador notable, Otto de Guericke probó el peso del aire y su elasticidad independientemente de Torricelli. Pero su talento práctico lo orientó por caminos distintos de los de Pascal. Desde 1632 se dedicó a la búsqueda de un instrumento capaz de extraer el agua de un recipiente completamente lleno con el fin de producir en él el vacío. El fracaso de sus intentos lo movió a proceder con un recipiente lleno sólo de aire, y así llegó a la bomba neumática y al célebre experimento de los hemisferios de Magdeburgo, presentado a la Dieta de Ratisbona en 1654. Robert Boyle (1627-1691), que aportó algunas mejoras al mecanismo de la bomba, sustituyendo la palanca que gobernaba el pistón por una cremallera movida en los dos sentidos por una rueda dentada y que realizó de modo aún más satisfactorio los experimentos de Guericke –principalmente el del timbre encerrado en el recipiente vacío, de modo que no se oye su sonido– gracias a la forma de campana espaciosa dada al recipiente, reconoció formalmente en Guericke al inventor (*New experiments physico-mechanical*, 1660). A Guericke hay que atribuir también la idea de utilizar en el interior del recipiente un manómetro destinado a poner de manifiesto la rarefacción del aire y a medir, por tanto, en cierto modo, el vacío.

Las sucesivas mejoras aportadas a la máquina por Huygens, Denis Papin y algunos otros físicos conocidos se refieren a detalles de técnica operatoria –grifos de doble o triple perforación, válvulas, etc.– destinados a reducir las pérdidas o los espacios perjudiciales. Mas puede decirse que no alteran el principio fundamental, y que a mediados del siglo XVII, con Pascal y Guericke, el vacío conquistó derecho de ciudadanía en la Ciencia. Sería, empero, erróneo creer que en esa época la experiencia barométrica y su correcta interpretación no suscitan ya contradicción. Contradicción, por lo demás, bienhechora, pues a ella se deben los experimentos de Boyle sobre la elasticidad y la compresibilidad del aire (1661). Pero Boyle no reconoció el interés de sus resultados cuantitativos, y dejó a Towneley la prioridad de concepción y enunciado de la llamada a veces, todavía, injustamente, ley de Mariotte: la de la proporcionalidad inversa del volumen y la presión a temperatura constante. Esta ley, cuya verificación experimental, repetida varias veces, dio origen a una serie de perfeccionamientos en las bombas de compresión y en los manómetros, tropezó también con numerosos contradictores. Jacques Bernoulli afirma concretamente (1683) que, por debajo de un cierto volumen, cuando todas las moléculas de aire se tocan, no es posible ya ninguna compresión. Pero mientras que Mariotte, que reconoció la importancia de la ley y volvió a verificarla (1679), creía en la existencia de otro límite –imposibilidad de rarificar el gas por debajo de la 4000a parte de la concentración normal–, Amontons fue capaz de probar, en el año 1702, que no hay razón para admitir tal hipótesis y que la ley está pura y simplemente ligada a una temperatura constante.

Actividades de seguimiento y valoración

1. ¿Qué quiere decir Anaxímenes con la frase “el aire es inagotable”?
2. Si para los griegos el aire no pesa en su lugar natural, ¿cómo saber que el aire pesa?
3. ¿A qué se refieren cuando dicen que los aviones son presurizados?
4. ¿Cuál es la diferencia entre presión del aire y peso del aire?
5. ¿Dónde cuesta menos dificultad para respirar; a nivel del mar o en la cima de una montaña? explique su respuesta
6. Un globo de Helio de los que reparten en los parques de diversiones, ¿por qué tienden a elevarse? Podrá explotar si sube demasiado? Justifique la respuesta
7. El líquido contenido al interior de un pitillo no se cae cuando éste se encuentra tapado con el dedo por uno de sus extremos. Qué sucede si el diámetro del pitillo lo aumentamos 10 veces, ¿puede sostenerse el líquido?
8. ¿Qué le puede suceder a un globo inflado si se coloca al interior del congelador de una nevera?
9. ¿Por qué razón a las personas que viajan en carro se les tapa los oídos cuando van hacia las montañas? y ¿por qué recomiendan abrir la boca para destaparlos?
10. Explique la importancia del sifón ubicado debajo del lavadero de platos
11. ¿Qué explicación puedes dar para justificar que el aire se comporta como los líquidos?

CAPÍTULO 6

SOBRE LA ELASTICIDAD DEL AIRE

Se suele utilizar el aire en muchas de nuestras actividades cotidianas, las ollas a presión, los compresores de aire para pintar paredes, el aire acondicionado de los carros incluso para refrescarnos con un abanico. Pero ¿cómo establecer una ley que dé cuenta del comportamiento del aire? Este fue un trabajo que culminó con la llamada Ley de Boyle.

EXPLORACIÓN DE IDEAS

1. Explique las razones por las cuales cree que el aire no escapa de la Tierra
2. ¿Será posible que una olla a presión pequeña sea más fácil de destapar que una grande cuando se encuentran hirviendo?
3. Explique como se genera el viento a través de un ventilador

PROBLEMÁTICA SOBRE EL COMPORTAMIENTO DEL AIRE

Los experimentos sobre el vacío en la Edad Media fueron tan relevantes como la problemática misma que los promovió. Las corrientes de pensamiento estaban divididas entre los plenistas y los vacuistas. El aire seguía siendo parte de la polémica, porque si bien se reconocía su existencia, los defensores del tradicionalismo aristotélico no justificaban de ninguna manera que éste pudiera actuar y menos en condiciones de reposo. La nueva impronta que le proporcionó Galileo al papel del experimento generó una dinámica en toda Europa por parte de quienes se dedicaron a diseñar experimentos y máquinas para realizarlos, algunos para defender las tesis plenistas y otros para atacarlas.

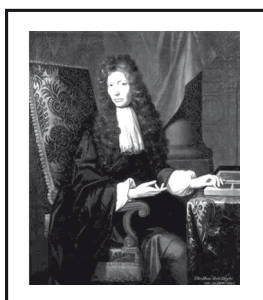
El comportamiento del aire resultó ser de interés para investigar en las nuevas máquinas que se estaban construyendo. Algunos investigadores como Boyle las aprovecharon para fabricar hechos y validar el conocimiento.

Boyle y los problemas del vacío

El interés por los experimentos en torno al vacío realizados por Torricelli, Guericke y Pascal (estudiado en capítulos anterior) motivaron a Rober Boyle (1627-1691) en Inglaterra a reproducir él mismo varios de ellos. El barómetro de Torricelli fue muy reconocido en toda Europa y fue objeto de discusión constante por parte tanto de los seguidores del horror al vacío como de los seguidores de su existencia e inactividad. El experimento de Pascal en el Puy de Dome parecía ser contundente a favor de la existencia e inactividad del vacío y de la acción del peso de la masa del aire, pero fueron los experimentos de Boyle los que finalmente permitieron la construcción de una ley matemática sobre el comportamiento del aire.

Es importante describir el funcionamiento de esta máquina porque de su diseño y construcción se desprenden los problemas que tendría que encarar Boyle y que le llevarían posteriormente a establecer la ley matemática.

Experimentos con la máquina de vacío



Robert Boyle
(1627 - 1691)

La afirmación de Pascal de que la acción del peso de la masa del aire disminuye a medida que se asciende por una montaña con el experimento de Torricelli, a tal punto que si se llega a la cima del monte más alto de la Tierra, a los límites donde ya no hay aire, entonces la columna de mercurio caería totalmente, llevó a Boyle a considerar lo que podría suceder si él mismo produjera las condiciones de vacío en una máquina y no tener que subir “al fin del mundo” para observarlo. Los diseños de las máquinas experimentales producidas por Guericke en Holanda, llegaron hasta sus oídos y junto con su acompañante Hooke decidieron diseñar una máquina neumática con una campana de vacío con la capacidad suficiente para reproducir muchos experimentos en su interior (fig. 33).

La importancia de esta máquina se propagó por Europa y se convirtió rápidamente en la forma de validar el conocimiento científico. Con Boyle se inicia otra forma de hacer ciencia y es la de controlar los experimentos y poner en evidencia el comportamiento de la naturaleza.

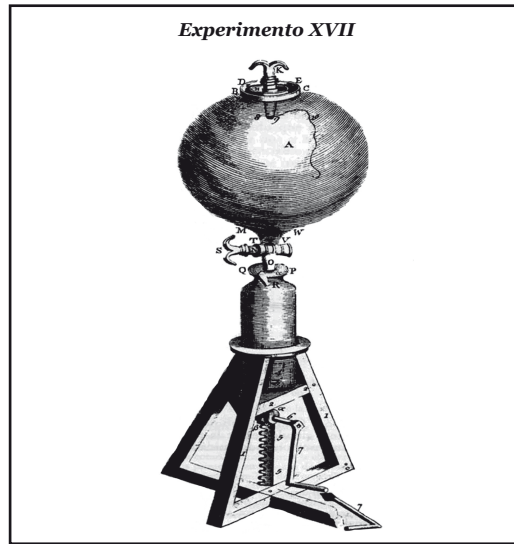


Fig. 33
La primera máquina neumática de Hooke y Boyle

El diagrama que se muestra en la figura consta de una campana de vidrio (con una tapa superior hermética) y controlada por una válvula que regula la entrada y salida del aire, conectada a ella está un pistón en forma de cremallera que sube y baja movido por una manivela. Al bajar el pistón se extrae aire de la campana, se cierra la válvula y luego se retira el tapón que esta en el pistón para que el aire extraído se mezcle con el aire circundante. Se sube nuevamente el pistón, se vuelve a colocar el tapón se abre de nuevo la válvula, luego se repite nuevamente el procedimiento y así sucesivamente.

Boyle creía que de esta manera era posible extraer todo el aire de la campana y por lo tanto observar y registrar efectos ¡lo que encontró es sorprendente!

Experimento 1

Su preocupación inicial era reproducir el experimento de Torricelli al interior de esta máquina y verificar la hipótesis de que “es el peso de la columna de aire exterior la causa de que la columna de mercurio no caiga del tubo”. Para ello introdujo el baroscopio de Torricelli con sumo cuidado en la máquina, aislándolo y verificando que el aire encerrado en la campana no pudiera entrar y salir por algún lado, incluso orificios o poros en los sellamientos (fig. 34).

El razonamiento de Boyle en torno a la postulación de Torricelli, es totalmente coherente: si el equilibrio del mercurio en el barómetro es a causa del peso de toda la columna de aire que subyace al sistema, entonces, si se coloca la campana sobre el barómetro, lo cual reduce la cantidad de aire atmosférico que actúa a una pequeña porción, el mercurio del tubo debería caer.

Lo que observó es que la columna de mercurio se mantenía en la misma posición que antes de ser aislada. ¿Por qué?

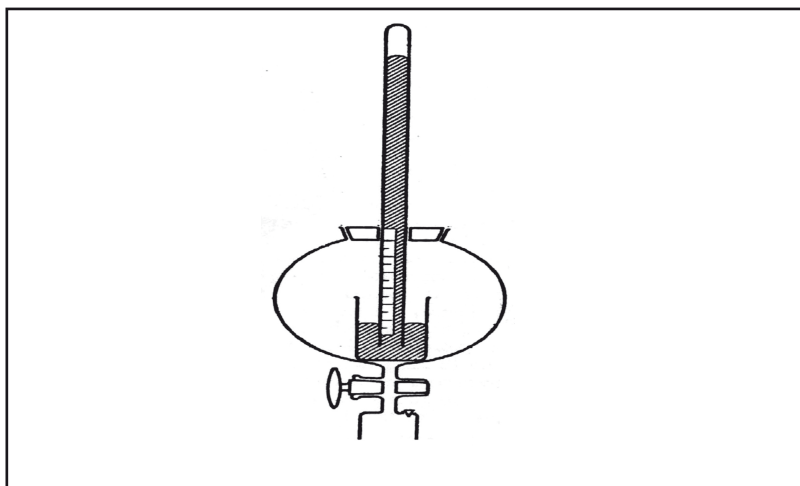


Fig. 34
Experimento de Torricelli en la bomba neumática de Boyle

Es desde aquí que él empieza a pensar que debe haber alguna característica del aire distinta a su peso que impide que el mercurio caiga.

Al respecto dice Boyle:

Tras dicho sellado no apareció cambio alguno en la altura del cilindro de mercurio, tal como si el recipiente de vidrio interpuesto no interrumpiese la presión inmediata de la atmósfera ambiente sobre el aire encerrado, por lo que este parece operar sobre el mercurio más en virtud de su resorte que por su peso, dado que no se puede pensar que éste alcance más allá de dos o tres onzas (unos 57 u 85 g), lo que resulta despreciable en comparación con ese cilindro de mercurio al que impediría descender.

Actividad: discutan con los compañeros si acaso con esta afirmación se esta cuestionando la explicación dada por Torricelli y Pascal al barómetro.

Experimento 2

La preocupación siguiente era verificar la hipótesis de Pascal con relación al Puy de Dome, a saber; a medida que se asciende por la montaña la columna de mercurio va descendiendo porque es menor la cantidad de aire que logra el equilibrio, entonces “en condiciones de vacío, esto es en ausencia total de aire, la columna de mercurio debe caer totalmente del tubo” por que no habría aire para equilibrar la columna de mercurio.

Al respecto dice Boyle:

Si la verdadera y única causa por la cual la columna de mercurio no cae es que se equilibra con el peso del aire exterior, entonces si el experimento se puede realizar en nuestra máquina se debe inferir que el mercurio descenderá por debajo de los 27 dedos en proporción a la extracción de aire practicada en la campana.

Y luego afirma que:

Si la verdadera y única razón por la cual el mercurio no cae más abajo fuese que a esa altitud el cilindro de mercurio del tubo se halla en equilibrio con el cilindro de aire exterior que se supone va del mercurio adyacente a la parte superior de la atmósfera, entonces si no hay aire el mercurio del tubo habría de caer hasta el mismo nivel que el del recipiente, dado que en tal caso no habría ninguna presión sobre el mercurio subyacente capaz de resistir el peso del situado encima.

De un Problema básico a una ley fundamental

No sólo no logró lo que quería, sino que tubo que arreglar varias máquinas que se dañaron al intentar producir el vacío completamente. ¿Por qué? El problema para Boyle ahora era técnico, por qué no sale todo el aire de la campana? ¿por qué se rompen los pistones? Será acaso que la máquina usada es muy grande y por lo tanto la cantidad de aire que queda adentro es muy grande y ¿por eso no sale del todo? ¿qué pasa si se utiliza una máquina más pequeña para extraer el aire? así lo hizo. Con el objeto de ilustrar esta anomalía aún más, Boyle hace la misma experiencia pero en otras máquinas de menor tamaño que la anterior, para ver si con un menor volumen y con menor número de extracciones se sacaba todo el aire que estaba dentro de la campana, ¡el asombro fue grande!

El mismo dice que: “Encontrábamos tanta dificultad en hacer que ésta estuviese totalmente vacía como en la mayor”.

Pareciese que las partículas de aire que aún quedan dentro de las respectivas campanas se agarraran de las paredes de las campanas y entre ellas mismas para no poder salir y permitir un vacío total. Pero lo que sí se sabía es que aún esta pequeña cantidad de aire era capaz de ejercer una presión sobre el mercurio de la vasija para sostener la pequeña cantidad de mercurio que quedaba en el tubo.

La máquina de vacío de Boyle funcionaba mecánicamente (hoy en día funcionan con corriente eléctrica) a través de la manivela para mover el pistón, esta particularidad le permitió identificar una dificultad que posteriormente lo llevaría a la ley que lleva su nombre. Si se extrae aire de la campana con el pistón se puede entonces contar el número de vueltas que es necesario dar a la manivela para lograr extraer una cierta cantidad. Boyle encontró que en las primeras extracciones de aire el movimiento de la manivela era rápido y fácil, pero a medida que el aire al interior de la campana disminuía era necesario hacer más esfuerzo darle una vuelta a la manivela, hasta llegar al punto de tener que hacer un gran esfuerzo para lograr extraer las últimas cantidades de aire, finalmente se rompían las manivelas antes que moverlas un poco para extraer la última cantidad de aire. Al extraer aire de la campana llega un momento donde éste no se deja sacar más. ¿Por qué?

¿Será que la naturaleza le tiene horror al vacío? como dijo Aristóteles. Boyle describe este fenómeno así:

[...] tras las dos o tres primeras extracciones de aire, el mercurio descendente no caía en cada ocasión lo mismo que anteriormente, pues habiendo marcado en el tubo sus diversos niveles, hallamos que con la primera succión descendía una pulgada y $\frac{3}{8}$ (3.5 cm) y con la segunda, una pulgada y $\frac{3}{8}$, mientras que cuando el recipiente se halla casi vaciado, difícilmente se le podía hacer descender con una succión más allá del grueso de un grano de cebada.

¿Cómo es posible que una pequeña cantidad de aire ejerza tanta resistencia a dejarse sacar? si el aire estuviera constituido por partículas sueltas no sería difícil extraerlo, entonces debe ser otra la razón.

Este experimento muestra dos aspectos; el primero es la imposibilidad física de extraer totalmente el aire de la campana y el segundo que la pequeña cantidad de aire que se resiste a salir ejerce presión sobre el mercurio restante. El primero le lleva a considerar que una pequeña cantidad de aire encerrado puede ofrecer una fuerza de resistencia tan grande que responden a una relación inversa, menos aire encerrado más resistencia. El segundo lo lleva a considerar que no es el peso del aire sino la presión la causa que explica el barómetro de Torricelli.

Actividad: discutan en grupos la afirmación “Pareciese que las partículas de aire que aún quedan dentro de las respectivas campanas se agarraran de las paredes de las campanas y entre ellas mismas para no poder salir y permitir un vacío total” y expliquen qué significado tiene dentro de la teoría de partículas.

Experimento 3

Boyle seguramente consideró que si se dejaba entrar el aire nuevamente a la campana, al abrir la válvula, la columna de mercurio regresaría a su posición inicial. Observó dos cosas: una, el aire entraba violentamente a la campana y, dos el nivel de mercurio no llegaba a su posición inicial. Por qué?

Boyle lo describe así:

[...] otra circunstancia de nuestro experimento fue la siguiente, que (una vez que el mercurio hubiera caído hasta abajo) si en la abertura de la válvula se permitiese bruscamente una excesiva entrada al aire exterior, este se precipitaría al interior con tal violencia y presionado con tanta fuerza sobre la superficie del mercurio subyacente, que habría de impulsarlo hacia el tubo con rudeza bastante para amenazar con romper el vidrio.

Cómo explicar la acción violenta del aire? Las teorías sobre el comportamiento del aire no existían, lo único que se podía considerar era la validez de las ideas de Baliani sobre la existencia de un mar de aire que nos rodea y las ideas de Torricelli en torno a que el peso del aire equilibra la columna de mercurio. Sin embargo el estudio sobre el comportamiento de los resortes estaba más elaborado, ya Hooke había propuesto una ley para los resortes. Boyle consideró una buena analogía asociar el comportamiento violento del aire a la tendencia de un resorte a recuperar su posición inicial cuando es estirado y lo contrario la resistencia del resorte a ser estirado con la resistencia del aire a dejarse sacar completamente de la campana. Sugiere que tal vez el aire no son partículas discretas sueltas sino unidas entre si, formando un resorte.

Por qué la columna de mercurio no llega a la posición inicial si es lo que debería suceder? Boyle no logra desprenderse de las ideas plenistas de que hay algo que lo llena todo, y si bien no entra en la discusión con sus contemporáneos, si llega a creer que nunca será posible un vacío perfecto, ya que siempre habrá algo al interior de la campana, vapores de aire, éter o algo corpóreo. En ese sentido Boyle cree que al entrar el aire violentamente se filtran burbujas de aire con el mercurio, u otra materia corpórea desconocida que hace que el mercurio no llegue al mismo nivel del estado inicial.

Actividad: averigua que papel desempeñan las analogías en el conocimiento científico y en el conocimiento escolar.

La hipótesis de la elasticidad del aire

Al comparar el aire con un resorte, Boyle está modelizando o comparando algo desconocido (el comportamiento del aire) con algo que ya se conoce: el comportamiento de los resortes; es por esto que cuando se habla de la elasticidad del aire se hace la analogía con la elasticidad del resorte. Parte de dos premisas fundamentales a saber:

- A) el equilibrio no se debe a causas internas en el tubo, sino causas externas, puesto que al disminuir la cantidad de aire (causa externa) la altura del mercurio desciende, y
- B) que el equilibrio no está en función del peso del aire, sino de su fuerza de resorte o elasticidad.

Los estudios con resortes ya identificaban tres elementos conectados entre sí; uno, la fuerza del resorte, esto es la resistencia a dejarse estirar o comprimir, dos, la constante de elasticidad del resorte, determinada por la densidad del material de que está hecho y tres, la expansión lineal del resorte producto del estiramiento.

$$F = -Kx$$

El signo menos da cuenta de la dirección de la fuerza, negativo si es fuerza recuperadora.

La analogía con el resorte le permite a Boyle establecer que a medida que se rarifica el aire mediante la extracción disminuye su densidad, esto es su resorte se hará más débil y soportará una columna menor de mercurio; y a medida que se aumenta su densidad se hará más fuerte y por lo tanto soportará una columna mayor de mercurio. Un resorte puede realizar determinada fuerza dependiendo de su constante o de su grado de elasticidad, así mismo, el aire puede realizar determinada fuerza, en este caso sostener una columna de mercurio, dependiendo de su elasticidad.

¿Qué es elasticidad? ¿de qué depende esta fuerza de resorte del aire comprimido? Es claro que la acción que el aire realiza más que por su peso depende de la elasticidad del aire y que la elasticidad depende de la variación de la cantidad del aire dentro de un mismo espacio, en otras palabras de su grado de rarefacción.

De lo que se había hecho hasta acá se puede inferir una relación entre dos cosas, la primera era el estado de rarefacción del aire, es decir, cuando el aire estaba expandido en el interior de la campana por la extracción que se realizaba, ya que al sacar más y más aire, el que aún quedaba dentro debía expandirse a todo el espacio de la campana, luego, entre más expandido mayor su estado de rarefacción; y la segunda su elasticidad, es decir, el estado del aire con el cual podía sostener diversas columnas de líquidos mediante la presión que ejercían sobre aquellos. La densidad representa el estado de rarefacción y la fuerza de resorte representa su elasticidad.

El descenso de la columna mediante la extracción se debe a que la fuerza de resorte del aire disminuye. La relación entre densidad y resorte es directamente proporcional: a mayor densidad mayor fuerza de resorte (o constante de elasticidad) y a menor densidad menor fuerza de resorte:

$$d \propto k$$

Después de hallar una relación cualitativa entre las dos variables, era necesario establecer una relación cuantitativa a partir de estos fenómenos, pero el experimento XVII (fig. 34) no es útil para tal tarea, debido a que, como anteriormente se dijo, no se pudo medir con exactitud la altura de cilindro mercurial cuando descendió por debajo de la parte superior de la campana y además no se conocía con exactitud la cantidad de aire que actuaba sobre el mercurio del baroscopio. A partir de esto, Boyle idea una experiencia con el objeto de encontrar la proporción cuantitativa de las dos variables, experiencia que al mismo tiempo nos ayudará a responder dos preguntas que se dejaron atrás: ¿qué es elasticidad? ¿De qué depende esta fuerza de resorte del aire comprimido?

Experimento 4

Se tiene un tubo de vidrio doblado en dos ramas formando una J, cerrado en el extremo corto y abierto en el largo. Se inyecta mercurio por el extremo abierto hasta que quede nivelado en ambas ramas del tubo como lo muestra la figura (fig. 35).

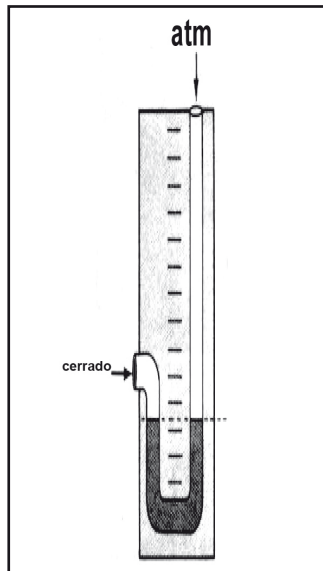


Fig. 35
Experimento de Boyle sobre la elasticidad del aire

Altura de columna de mercurio	Altura de la columna de aire	Presión atmosférica	Presión de la columna de aire
00"	12"	29 ¹ / ₈	29 ² / ₁₆
29 ¹¹ / ₁₆ "	6"	29 ¹ / ₈	58 ² / ₈
88 ⁷ / ₁₆ "	3"	29 ¹ / ₈	116 ⁴ / ₈

El extremo cerrado del tubo contiene una columna de aire que quedo atrapado después de la inyección del mercurio.

Luego, se agrega una nueva cantidad de mercurio equivalente a 1 atmósfera (76 cm. aprox) y se observa que la columna de aire encerrado se reduce a la mitad, nuevamente se agrega mercurio y se observa la columna de aire encerrado se reduce a la mitad de la mitad anterior, o sea un cuarto. La tabla muestra los datos que encontró Boyle, medidos en pulgadas (").

La relación matemática que se expresa en la tabla muestra lo siguiente: entre mayor es la altura de la columna de mercurio, menor es la altura de la columna de aire. La presión que soporta el aire encerrado es equivalente (por equilibrio) a la presión ejercida por el peso de la columna de mercurio más la presión del aire exterior (presión atmosférica), así pues, en la situación inicial cuando la columna de mercurio en ambos ramas del tubo se encuentran al mismo nivel quiere decir que el aire encerrado ejerce una presión igual a la presión atmosférica, cuando la columna de aire se reduce a la mitad, entonces ejerce una presión igual al doble de la presión atmosférica y, cuando la columna de aire se reduce a la cuarta parte de la altura inicial, entonces ejerce una presión que es cuatro veces la presión atmosférica. La presión resulta ser inversamente proporcional al volumen del aire encerrado.

$$P = 1/V$$

Sin embargo le queda a Boyle un problema por resolver, la constante de elasticidad (k): para el caso de los resortes la constante de elasticidad del resorte depende del material y no de su longitud, si tenemos un mismo resorte y lo cortamos por la mitad, la constante de elasticidad de los 2 nuevos resortes siguen siendo la misma que la del resorte original, y por lo tanto las fuerzas recuperadoras son las mismas para todos.

Para el caso del aire encerrado, Boyle sabe que la cantidad de aire siempre va a ser la misma, pero su fuerza de resistencia cambia con el volumen, por lo tanto no se comporta como los resortes. Encuentra que al variar el volumen, la densidad del aire cambia y por lo tanto su constante de elasticidad cambia, la fuerza de resistencia depende de la densidad de tal forma que para cada nueva densidad es como si tuviera el aire una nueva constante de elasticidad.

$$F_1 = k_1/d_1; F_2 = k_2/d_2 \dots\dots$$

Cada vez que disminuye el volumen se tiene un nuevo resorte del aire (no es el mismo del anterior), la fuerza de resistencia aumenta a medida que aumenta la constante de elasticidad porque disminuye la densidad del aire.

Pero entonces por qué se le llama constante de elasticidad si realmente varía?

Lo que es constante es precisamente la forma como varía la elasticidad, si la fuerza de resistencia aumenta al doble, fue por que la elasticidad aumentó al doble y así sucesivamente. El factor de proporcionalidad es el que es constante.

Observemos finalmente que la relación matemática que Boyle construye inicialmente es entre la fuerza de resistencia del aire y su densidad, pero que puede asumirse para el caso del aire y de los gases en general que la fuerza de resistencia se expresa a través de la presión ejercida y la densidad del aire se expresa en términos del volumen ocupado.

$$P_1/p_2 = V_2/v_1$$

Actividades adicionales

Con una máquina neumática se pueden recontextualizar otros de los experimentos e ideas propuestas por los científicos en el siglo XVII, por ejemplo:

a) con globos inflados y desinflados comparar el comportamiento del aire con otros gases como helio u oxígeno al interior de la máquina y fuera de ella

b) con distintos líquidos como agua, mercurio, aceite, alcohol... se pueden realizar experiencias como esta; un vaso se llena con agua y se introduce en la campana de vacío, luego se empieza a extraer el aire. Se observa que el agua comienza el proceso de ebullición sin calentarse. ¿Cómo explicar este hecho? También se observan pequeñas gotas de agua que se cristalizan... ¿qué otros hechos puedes “construir” con la máquina? ¿qué pasa con el aceite al vacío?

c) otro tipo de preguntas que se pueden orientar en torno al funcionamiento de la máquina son: ¿cómo es la forma por la que se aspira el aire con una aspiradora comercial o un compresor?

LECTURA COMPLEMENTARIA

CÓMO SE CONSTRUYE UN HECHO EXPERIMENTAL

S. SHAPIN

Así como la metáfora mecánica ocupaba una posición central en las nuevas tendencias de la filosofía natural, los medios mecánicos adquirieron una importancia nueva en la construcción del conocimiento. En ningún sitio es más patente este énfasis en los experimentos diseñados artificialmente que en los programas de investigación asociados con la Royal Society de Londres (que fue fundada en 1660) y, especialmente, con Robert Boyle, su miembro más influyente. La máquina neumática que había inventado para Boyle su asistente Robert Hooke, a finales de la década de 1650, se convirtió rápidamente en el emblema de la práctica de la filosofía natural. Es la máquina de construcción de hechos más importante de la Revolución científica ¿Cómo funcionaba la máquina neumática? ¿Cómo producía conocimiento científico factual? ¿y de qué manera se ofrecía el conocimiento resultante como remedio de los males intelectuales existentes y como ejemplo del procedimiento que había que seguir para producir el conocimiento científico? Las páginas siguientes ofrecen una descripción breve de un conjunto específico y muy influyente de prácticas para la construcción del conocimiento, mientras que en las secciones posteriores se previene contra el supuesto de que dichas prácticas fueran universalmente aprobadas, incluso por los filósofos mecanicistas modernos.

La máquina neumática tuvo un carácter emblemático en dos sentidos: primero, el aparato y las prácticas a que su uso da lugar se convirtieron en modelos de la forma correcta de proceder en la filosofía natural experimental. La Royal Society llevó a cabo una propaganda masiva de su programa experimental en toda Europa y la experimentación con la máquina neumática fue reiteradamente propuesta como paradigma de la filosofía experimental. El uso de instrumentos en filosofía natural, que se reconocía como algo nuevo en el siglo XVII, atraía un extenso apoyo y se imitaba ampliamente, pero también despertaba oposición. Muchas historias de los orígenes de la experimentación en la ciencia natural se retrotraen a la máquina neumática de Boyle.

En segundo lugar, las manipulaciones llevadas a cabo con instrumentos, como la máquina neumática, pueden producir un conocimiento general relevante para la filosofía natural sólo en la medida en que se considere que los efectos que se producen artificialmente en dichos instrumentos, y los que son producidos por ellos, reflejan el modo en que se comportan las cosas en la naturaleza. En el capítulo 1 se discutió el rechazo general que la distinción aristotélica entre “naturaleza” y “arte” suscitaba en los modernos. A menos que se acepte que hay una semejanza básica entre los productos de la naturaleza y los del artificio humano, las manipulaciones experimentales con máquinas no pueden representar el comportamiento de los objetos naturales, y la diseminación de la metáfora que compara la naturaleza con un reloj, así como la credibilidad concedida a las observaciones telescópicas de los cielos, manifiesta esa aceptación. La experimentación con este tipo de instrumentos creó enormes posibilidades de controlar y de presentar los fenómenos experimentales. En principio, es posible producir los fenómenos experimentales a voluntad, en cualquier momento y en presencia de observadores cualesquiera, sin necesidad de esperar a que dichos fenómenos ocurran naturalmente; incluso se pueden producir efectos que no son accesibles en absoluto a la experiencia humana normal. En el caso de la máquina neumática, gran parte del

interés que tenían para el filósofo natural los fenómenos que producía artificialmente procedía de la aceptación de la idea de que el vacío producido podía representar el que se observaría si fuera posible viajar a la parte superior de la atmósfera. Con la máquina se puede conseguir que los efectos del aire, que en condiciones normales son invisibles e imperceptibles, sean accesibles y manifiestos. Sin embargo, estas ventajas prácticas de la experimentación artificial dependen completamente de que se acepte el principio que afirma que los productos del artificio humano pueden representar, y efectivamente representan, el orden de la naturaleza. Sin este acuerdo básico, no puede existir una inferencia segura que permita pasar de lo que el aparato experimental manifiesta al orden natural de las cosas.

La máquina neumática estaba diseñada para producir un vacío operacional en su gran campana de vidrio. Subiendo y bajando repetidamente el émbolo (o “pistón”) de la máquina y ajustando la válvula y la llave de paso que conecta la campana con el aparato de bombeo, que está hecho de latón, se pueden extraer cantidades de aire de la campana. El esfuerzo necesario para bajar el émbolo es cada vez mayor, hasta que termina por superar todo esfuerzo humano. Llegado este momento, Boyle juzgaba que se había extraído casi todo el aire atmosférico que estaba inicialmente presente en la campana. Esta misma operación contaba ya como un experimento y constituye el primero en la serie de cuarenta y tres que Boyle publicó en los Nuevos experimentos físico-mecánicos relativos al resorte del aire (1660). Este vacío operacional es el que representa la tarea imposible de viajar a la parte superior de la atmósfera. Boyle ofrece una explicación mecánica de la experiencia táctil de mover el émbolo.

Sin embargo, el proceso de extracción del aire de la campana de la máquina neumática es, por sí mismo, menos significativo como experimento que como medio de conseguir un espacio en el que se pueden realizar experimentos. La campana tenía una cubierta de latón en su parte superior, que al retirarse dejaba al descubierto un orificio lo suficientemente grande como para que se pudieran insertar instrumentos en ella; el resto de la serie de experimentos de Boyle consistía en la observación de objetos y aparatos situados en la campana. Consideremos el experimento decimoséptimo de esta serie, que Boyle caracterizó como “el principal fruto que esperaba de nuestra máquina”. Este experimento consiste simplemente en situar el aparato torricelliano en la campana y luego extraer el aire gradualmente. Boyle anunció una expectativa respecto de este experimento que pone de manifiesto, a la vez, su carácter emblemático y su papel como elemento confirmador de una concepción de la naturaleza que se puede considerar mecánica a grandes rasgos. Esperaba que el nivel de mercurio en el barómetro iría descendiendo a medida que se eliminaba el aire de la campana. y cuando se hubiera extraído totalmente, o casi totalmente, el aire de la campana, el mercurio contenido en el largo tubo descendería completamente, o casi completamente, hasta juntarse con el que contiene el recipiente que está situado debajo del tubo. Si el cuñado de Pascal hubiera transportado su barómetro no simplemente a la cima del Puy-de-Dôme, sino hasta la misma cima del océano de aire que rodea la Tierra, esto es lo que habría observado. Y en realidad, aunque no variaba la altura del mercurio cuando se colocaba el barómetro en la campana y ésta se sellaba, Boyle observó que el nivel de mercurio descendía con cada “extracción” de la máquina hasta que, por último, cuando resultaba imposible extraer más aire de la campana, dicho nivel quedaba un poco por encima del nivel de mercurio que había en el recipiente (1). Si giraba la llave de paso con el fin de permitir que penetrara un poco de aire en la campana, el nivel del mercurio subía ligeramente.

Además, el descenso progresivo del nivel de mercurio situado dentro de la campana no se podía explicar como un simple efecto del peso del aire, si bien, tal y como Pascal y otros habían establecido, el aire tenía peso. Mientras que el mercurio que contiene el recipiente que está situado debajo del tubo de Pascal está expuesto al aire, no ocurre lo mismo con el que está en el recipiente colocado en el interior de la campana de la máquina de Boyle. No se puede decir que el peso de una columna de aire atmosférico actúa sobre el mercurio del recipiente, ya que el vidrio de la campana se interpone entre el mercurio y la columna de aire atmosférico. El peso del aire que está encerrado en la campana no puede ser muy grande, ciertamente no lo suficiente como para soportar una columna de mercurio de setenta y seis centímetros. Por consiguiente, parece que para explicar los fenómenos experimentales desde un punto de vista mecanicista se requiere otra noción. Boyle llamó a esta nueva noción la presión o el resorte del aire. A partir de estos y otros fenómenos puestos de manifiesto con la ayuda de la máquina, Boyle infirió que los corpúsculos del aire tienen probablemente un carácter elástico —se parecen a resortes— que les permite resistir las fuerzas que actúan sobre ellos y expandirse cuando dichas fuerzas disminuyen. Cuanto mayor es la fuerza que se ejerce sobre una cantidad de aire encerrado en un recipiente, mayor es la fuerza con que responde el aire. Cuando se elimina una cantidad de aire de la campana, se reduce la fuerza expansiva del aire restante. El mercurio del barómetro que está encerrado en la campana desciende porque, como indicaba Boyle, la presión es entonces insuficiente para resistir el peso del mercurio (2).

Preguntas de seguimiento y valoración

1. ¿Por qué no funciona el experimento de Torricelli en la máquina neumática?
2. ¿Qué diferencia encuentra entre el peso del aire y la presión atmosférica?
3. ¿Qué restricciones se deben tener en cuenta para que la relación inversa entre la presión y el volumen funcione correctamente?
4. Explique físicamente cómo funciona una aspiradora en la casa
5. ¿Qué papel desempeñó el experimento en Boyle?
6. Explique el concepto de presión en líquidos y en gases desde el modelo de elasticidad de Boyle
7. ¿Qué papel jugó Inglaterra en el desarrollo y divulgación del conocimiento científico?
8. ¿En qué consiste la rarefacción del aire?
9. ¿Qué equivalencia existe entre la presión medida en atmósferas, pascuales y torr?

(1) Los filósofos discutieron -violentamente a veces- si era posible eliminar toda la materia en la campana o si la máquina conseguía únicamente extraer casi todo el aire atmosférico. El mismo Boyle prefería la segunda posibilidad, porque no deseaba verse mezclado en viejos debates “metafísicos” acerca de la existencia de un vacío total. Según su interpretación, el hecho de que fuera imposible conseguir que el mercurio descendiera totalmente significaba que algo de aire residual permanecía en la campana que había sido “vacuada”.

(2) Nótese que se puede considerar que la presión y el peso son nociones independientes pero causalmente relacionadas. Boyle no distingue entre ambas con la suficiente claridad. Posteriormente, se emprendió una investigación experimental, que desembocó en la conocida “ley” de Boyle (que afirma la proporcionalidad inversa entre la presión y el volumen del aire). Con el fin de cuantificar la presión.

BIBLIOGRAFÍA

- ADÚRIZ-BRAVO, A. (2005). Una introducción a la naturaleza de la ciencia. La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.
- ALVARENGA, B. y MÁXIMO, A. “Física General”. Tercera edición revisada. Editorial Harla, México. 1983.
- ÁLVAREZ LIRES, M. (1998). L’histoire des sciences et des techniques dans la formation du professorat. Ponencia presentada en la Conference on the History of Science and Technology in Education and Training in Europe, Estrasburgo, Francia.
- AYALA M^a M. et al. Enseñanza de las ciencias desde una perspectiva cultural. Revista Física y Cultura. Universidad Pedagógica Nacional, 1988.
- AYALA, M. M. et al. “De la mecánica newtoniana a la actividad de organizar los fenómenos mecánicos” pre-impresos, Universidad Pedagógica Nacional, Santafé de Bogotá, 1998.
- BARBERÁ, O. y Valdés, P. El Trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias: una revisión. Revista enseñanza de las ciencias, 1996, 14 (3), 365-379.
- BERSTEIN, B. “La construcción social del discurso pedagógico” editorial Griot, cap. 4 “Sobre el discurso pedagógico” citado en Rev. Momento, Universidad Nacional de Colombia. 1997.
- BOURDIEU, P. (2003). El oficio del científico. Ciencia de la ciencia y reflexividad. Barcelona: Anagrama.
- DRIVER, R. “Un enfoque constructivista para el desarrollo de currículos en ciencias. Rev. Enseñanza de las ciencias, vol. 6 No. 2, Barcelona, España. 1998.
- EINSTEIN, A - INFELD, L. “The Evolutions of Phisics” editorial Biblioteca Científica Salvat. 1983.

- EISBERG, R. “Física Fundamental” editorial Mc Graw Hill. México 1984.
- ESTANY, A. (1993). Introducción a la filosofía de la ciencia. Barcelona: Crítica.
- FEYNMAN, R.. “Lectures of Phisics” Vol. II.
- FURIO, C. et al. “Deficiencias epistemológicas en la enseñanza habitual de los conceptos de campo y potencial eléctrico” Rev. Enseñanza de las ciencias, vol. 15 No. 2, Barcelona, España. 1997.
- GARCÍA, E. Recontextualización de saberes, un caso en electricidad estática. Revista innovación y ciencia. Bogotá, 2003.
- GIL, Pérez, D. y Valdés Castro, P. La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo. Revista enseñanza de las ciencias, 1996, 14 (2), 155-163.
- GIL PÉREZ, et al.. “El fracaso en la resolución de problemas de física: una investigación orientada por nuevos supuestos” rev. Enseñanza de la ciencias, vol. 6 No. 2, Barcelona, España. 1998.
- GRANES, J. “La educación como recontextualización” revista Momento No. 14-15, Departamento de Física, Universidad Nacional de Colombia. Diciembre, 1997.
- GRANES, J. y CAICEDO, L. M . “Del contexto de la producción al contexto de la enseñanza. Análisis de una experiencia pedagógica” Revista Colombiana de Educación No. 34, Universidad Pedagógica Nacional, Santafé de Bogotá. 1997.
- HODSON, D. Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. Enseñanza de las ciencias, 1994, 12 (3), 299-313.
- JERRY, W. “Física” segunda edición. Editorial Prentice Hall Hispanoamérica S. A. México. 1994.
- KUHN, T.. “La estructura de las revoluciones científicas” Ediciones del Fondo de Cultura Económica, Breviarios.
- MATTHEWS, Michael. Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: La aproximación actual. Revista: Enseñanza de las Ciencias, No. 12 (2), 1994. España.
- MOCKUS, A.. “Anfibios culturales y divorcio entre ley, moral y cultura” análisis político No. 21. Citado en Granes J “La educación como recontextualización” Departamento de Física Universidad Nacional de Colombia No. 14-15, diciembre de 1997.
- MOREIRA, M. A. et al. “Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo” Rev enseñanza de la ciencias, vol. 16, Barcelona, España. 1998.
- PASCAL, B. “Pneumática” Introducción de Carlos Solís.

- RODRÍGUEZ, Moneo María y Carretero Mario. Adquisición de conocimiento y cambio conceptual. Implicaciones para la enseñanza de la ciencia. Libro Construir y Enseñar las Ciencias Experimentales. Edición Argentina, 1996.
- ROMERO, A. y RODRÍGUEZ, L. D. “La construcción de la historicidad de las ciencias y la transformación de las prácticas pedagógicas” pre-impresos, No. 11. Universidad Pedagógica Nacional, Santafé de Bogotá, 1998.
- SÁNCHEZ CABALLERO Idelfonso. El laboratorio y el alumno. Planteamientos en educación Vol. 2 No. 2.
- SEGURA, D. El papel del experimento en la clase de ciencias. Revista Naturaleza, Universidad Nacional, 1988.
- SOTO LOMBANA, Carlos Arturo. Consideraciones sobre la relación historia y enseñanza de las ciencias. Grupo de Educación en ciencias experimentales. Universidad de Antioquia.
- TOBÓN, Ramiro. Historia General de las Ciencias. Seminario de Historia de las Ciencias. Universidad del Valle-ICFES. Bogotá: Editorial Guadalupe, 1990.

REFERENCIAS DE ILUSTRACIONES

- Fig. 1, fig. 5, fig. 7, fig. 22, fig. 26, fig. 27, fig. 31, fig. 33, fig. 34. Tomados del libro física química y filosofía mecánica de R. Boyle. Ed. Alianza, Madrid. 1985
- Fig. 25. Tomado del libro tratado de Neumática. Blase Pascal. Editorial Alianza, madrid. 1984.
- Fig. 2, fig. 6. Tomado del libro de texto. Lecciones de física de Acosta.
- Fig. 3. Tomada del libro diálogos acerca de dos nuevas ciencias. Editorial Lozada. Buenos Aires, Argentina. 2003.
- Fig. 4. Tomado de la enciclopedia temática Ciesa. Barcelona, España. 1997.
- Fig. 8, fig. 9, fig. 17, fig. 19, fig. 20, fig. 23, fig. 30, fig. 32. Tomados de la tesis “la neumática de Pascal” Edwin Germán García. Universidad Pedagógica Nacional. 1992.
- Fig. 10, fig. 11, fig. 12, fig. 13, fig. 14, fig. 15, fig. 18. Tomados del libro de texto física con aplicaciones de J. D. Willson. Editorial Mc Graw Hil. México. 1989.
- Fig. 16, fig. 21, fig. 35. Tomado de Internet, Google.
- Fig. 28, fig. 29. Tomado del libro la revolución científica de Steven Shapin. Editorial Paidós. Barcelona. 2000.

EDWIN GERMÁN GARCÍA ARTEAGA

Profesor licenciado en Física de la Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia; obtuvo el título de Magíster en docencia de la física, en la misma universidad. Actualmente termina sus estudios de doctorado en didáctica de las ciencias experimentales en la Universidad Autónoma de Barcelona, España. Profesor nombrado en el Instituto de Educación y pedagogía de la Universidad del Valle, donde ha sido coordinador del Área de Ciencias Naturales y Tecnología y director de los programas académicos de licenciatura en Ciencias Naturales; actualmente se desempeña fundamentalmente en el área de Historia, Filosofía y Enseñanza de las ciencias, en la cual ha producido varios artículos publicados en revistas nacionales e internacionales. Su dedicación a esta línea de trabajo le ha permitido avanzar en la investigación y orientación de tesis de maestría en el campo de la óptica, la electricidad y la mecánica de fluidos.



Programa Editorial

Ciudad Universitaria, Meléndez
Cali, Colombia

Teléfonos: (+57) 2 321 2227
321 2100 ext. 7687

<http://programaeditorial.univalle.edu.co>
programa.editorial@correounivalle.edu.co