

1 01048

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FILOSÓFICAS



**“EXPERIMENTO, HIPÓTESIS Y CERTEZA MORAL:
BASES EPISTEMOLÓGICAS DE LA EXPERIMENTACIÓN
PNEUMÁTICA DE ROBERT BOYLE”**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN FILOSOFÍA DE LA
CIENCIA**

PRESENTA:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

LUCIO MARTÍN BRIBIESCA ACEVEDO

MÉXICO, D.F.

2002



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

3.1 Crítica Boyleana a la Noción "Vulgar" de Naturaleza.....	89
3.2 Atomismo y Corpuscularismo Boyleano.....	98
3.3 Corpuscularismo y Explicación Mecánica en Boyle.....	107
3.4 El Voluntarismo Teológico en la Explicación Boyleana de la Naturaleza.....	115
 CAPÍTULO 4. Experiencia, Experimento y Prueba Experimental en Boyle.	
4.0 Introducción.....	119
4.1 Características de la Experimentación Boyleana.....	120
4.1.1 La experimentación boyleana como alternativa metodológica en la filosofía natural.....	121
4.1.2 El procedimiento metodológico en la experimentación boyleana.....	127
4.1.3 Laboratorio, instrumentos y experimentos en la práctica boyleana.....	136
 CAPÍTULO 5. Hipótesis, Conjeturas y Certeza Moral: Aspectos Epistémicos de la Experimentación de Boyle.	
5.0 Introducción.....	144
5.1 Hipótesis y Hechos en la Experimentación Boyleana.....	145
5.1.1 Unidad de teoría y práctica en la experimentación boyleana.....	150
5.2 Experimentación Boyleana y Conocimiento.....	155
5.2.1 Experiencia, razón y hechos en la filosofía boyleana.....	157
5.2.2 Falibilismo, certeza moral y probabilismo en Boyle.....	159
5.2.2.1 Testimonio y certeza moral en Boyle.....	163
5.2.2.2 Probabilismo y razonabilidad en Boyle.....	170
 CAPÍTULO 6: Experimento XVII, Vacío Boyleano y las Bases Epistemológicas de la Experimentación Pneumática de Boyle.	
6.0 Introducción.....	173
6.1 Vacuismo versus Plenismo y las Bases Experimentales del Vacío.....	174
6.2 Bomba Boyleana y Creación del Vacío: El Experimento XVII (1660).....	180



CAPÍTULO 7. Tres Desafíos a la Experimentación Boyleana: las Críticas de Thomas Hobbes, Franciscus Linus y Henry More.

<i>7.0 Introducción</i>	192
<i>7.1 La Crítica Plenista de Thomas Hobbes al Vacío Boyleano</i>	194
<i>7.2 Franciscus Linus versus Vacío Boyleano: la "Ley de Boyle" como Respuesta</i>	212
<i>7.3 La Crítica Metafísica de Henry More a Boyle</i>	225
<i>7.4 Dificultades Técnicas y Ajustes Metodológicos en la Experimentación Pneumática de Boyle</i>	235
Conclusiones.....	238
Bibliografía.....	255

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Índice de Figuras

<i>Figuras</i>	<i>Entre páginas</i>
1. La "máquina de Herón" o <i>eolipila</i>	62-63
2. Una versión simple de clepsidra.....	62-63
3. Ventosas: aplicación terapéutica del vacío.....	62-63
4. Dos versiones operativas del Experimento de Torricelli.....	65-66
5. Ilustraciones de los experimentos neumáticos de Pascal.....	67-68
6. Experimento de Magdeburg de von Guericke.....	69-70
7. Experimento de Galileo sobre la <i>resistenza del vacuo</i>	73-74
8. Experimento del <i>vacío en el vacío</i> de Pascal.....	81-82
9. Dificultades operativas de las bombas de von Guericke.....	183-184
10. Primera versión de la bomba boyleana de vacío.....	186-187
11. Segunda versión de la bomba boyleana de vacío.....	197-198
12. Tercera versión de la bomba boyleana de vacío.....	197-198
13. Experimento de Linus para "mostrar" el <i>funiculus</i>	213-214
14. Experimento de Boyle: respuesta a la crítica de Linus.....	218-219
15. Tabla boyleana de condensación del aire.....	218-219
16. Tabla boyleana de rarefacción del aire.....	221-222

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Agradecimientos

Agradezco a cada uno de los revisores de este trabajo su disposición y su interés para leerlo: al *Dr. Godfrey Guillaumin Juárez*, su atinada dirección para que el trabajo resultara académicamente decoroso, además del apoyo bibliográfico para leer a Robert Boyle "en su tinta" con recursos del proyecto CONACYT: J35254-H; al *Dr. Carlos López Beltrán*, su penetrante lectura crítica; al *Dr. Larry Laudan*, su interés y ánimo por un trabajo cuyo tema actualmente concentra su atención: la certeza moral; al *M.C. Salvador Jara Guerrero*, su animada y profunda lectura boyleana del escrito; y a la *Dra. Carmen Silva*, su buena disposición para leer el escrito de un desconocido. También un agradecimiento a mis compañeros de generación en el posgrado, especialmente a: *Beatriz Loría Lagarde*, *María Elena Ramos Aceves* y *José de Lira Bautista*, por compartir las intensas jornadas de estudio y trabajo durante los semestres del posgrado. Un agradecimiento muy especial a quienes hicieron posible y acogedora la supervivencia en la Ciudad de México: *José Luis Garduño* y *Elsa Origel*, amigos de siempre y de toda la vida. Finalmente, a *Georgia* y *Max*, el sacrificio y el soporte familiar en Guanajuato.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Introducción General

El propósito de este trabajo es ofrecer un análisis de las bases epistemológicas que definen a la experimentación neumática del filósofo natural irlandés Robert Boyle (1627-1691), las cuales se encuentran determinadas por una compleja relación epistémica establecida entre el experimento, la hipótesis y la certeza moral en el seno de esa práctica experimental. Para este propósito, presento un análisis y una explicación de cómo la experimentación neumática en general se convierte en un importante modelo de práctica experimental en la investigación filosófico-natural de mediados del siglo diecisiete. Dicho análisis tiene como fin explicar cómo -particularmente- la experimentación neumática boyleana genera, enfrenta e intenta resolver una serie de problemas ontológicos, epistemológicos y técnico-operativos (observaciones experimentales, funcionamiento de los dispositivos experimentales, validez del procedimiento, etc.) propios de los estudios experimentales sobre los fenómenos del aire (y del vacío), que se encuentran vinculados de modo directo con las bases conceptuales y prácticas de la filosofía natural experimental de Boyle, concretamente con su hipótesis mecánico-corpúscular y con su práctica experimental con la bomba de vacío.

Mi análisis se dirige, en primer lugar, a caracterizar el papel que juega la experimentación neumática boyleana -entre la diversidad de prácticas experimentales de su época- en la fundamentación y prueba empírica de su hipótesis mecánico-corpúscular. Esto es, en encontrar los medios experimentales adecuados para presentar la evidencia suficiente, relevante y apropiada de los hechos naturales a fin de mostrar la viabilidad explicativa de las hipótesis

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

("conjeturas probables", las llama Boyle) acerca de la estructura, propiedades y operación de los fenómenos neumáticos. Y en segundo lugar, conduce a explicar cómo la experimentación neumática boyleana representa uno de los esfuerzos filosóficos más consistentes para el desarrollo de las bases materiales, técnicas y metodológicas más características de algunos de los procedimientos experimentales, incluso actuales.

En este estudio se analiza el carácter controversial que genera la experimentación neumática de Boyle como procedimiento de investigación, así como sus propios alcances y límites epistemológicos; todo ello, a través del análisis de aquellos problemas epistémicos derivados de cuestiones neumáticas centrales como: la explicación de la naturaleza y propiedades del aire, el reconocimiento del peso y elasticidad del aire como causas físicas para explicar los fenómenos neumáticos, y la posibilidad de creación de un vacío operativo producido con la bomba boyleana. Son estas cuestiones las que desafían y ponen a prueba las pretendidas virtudes de la experimentación neumática como práctica de investigación filosófico-natural para obtener un conocimiento garantizadamente cierto de los fenómenos neumáticos, para mostrar la efectividad técnico-operativa de sus dispositivos experimentales en la generación y aportación de evidencia confiable y aceptable para el respaldo de sus hipótesis y explicaciones acerca de la estructura mecánico-corpúscular de los fenómenos neumáticos, y para elaborar propuestas aceptables de solución práctica a las controversias ontológicas, epistemológicas y tecnológicas suscitadas por los experimentos neumáticos.

Debido a eso, este trabajo pretende mostrar el modo en que experimentalmente se puede conseguir un tipo de conocimiento probable situado

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

entre la certeza absoluta y la simple creencia común acerca de las explicaciones filosófico-naturales sobre el aire y el vacío; ello precisa de un análisis de las relaciones que se dan entre el *experimento* (como diseño práctico de prueba y generación de evidencia), las *hipótesis* (como conjeturas o estructuras temporales de explicación cierta), y la *certeza moral* (como una concurrencia de probabilidades fundada en la evidencia y el testimonio y que aporta grados de certeza a la hipótesis) como las bases epistemológicas de la experimentación neumática de Boyle.

Para el desarrollo de este análisis, presento las razones por las cuales la experimentación neumática llegó a ser una práctica experimental importante entre varios experimentalistas de mediados del siglo diecisiete, entre los que se cuentan a Evangelista Torricelli, Otto von Guericke, Blaise Pascal, Galileo Galilei y Robert Boyle, entre otros. Una de esas principales razones por las que la experimentación neumática se convirtió en un destacado modelo de investigación natural, se refiere a las características físicas propias de su objeto de estudio, a saber: *el peso y la fuerza elástica del aire*. Ello obligó a que, en lo particular, la experimentación neumática buscara sustentar sus explicaciones filosófico-naturales sobre sus demostraciones experimentales de fenómenos del aire y el vacío, con el concurso –además– de una visión que describiera inteligiblemente los fenómenos naturales que encontró en la concepción mecánica de la naturaleza y su metáfora del mundo como una “gran máquina”. De esta manera, las explicaciones mecánicas de la naturaleza le proporcionaron a la práctica experimental boyleana un sustento conceptual que pretendidamente le permitió hacer inteligibles la estructura y el

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

funcionamiento causal de los fenómenos naturales. Sin embargo, esta explicación mecánica tuvo sus límites cuando intenta describir mecánicamente ciertos fenómenos naturales, como los biológicos, hecho que permite pensar que aún era factible aceptar una cierta teleología en las explicaciones de un cierto dominio de fenómenos naturales.

La experimentación boyleana, además de asumir explicaciones mecanicistas de la naturaleza se estructura también en torno a la concurrencia de otras áreas de estudio natural que contribuyeron -de distinto modo- a consolidar la viabilidad técnica y epistémica de esta práctica experimental de Boyle. Entre ellas destacan: los estudios iatroquímicos (con su comprensión de los fenómenos por medio de operaciones químico-mecánicas), la "experimentación" baconiana (con sus ideas sobre el papel de las historias naturales y los experimentos en los estudios naturales) y la construcción de dispositivos experimentales (con vistas a ser técnicamente operativos en la obtención de evidencia por medio de los experimentos).

Haciendo una revisión histórica (que ocupa los primeros capítulos del trabajo) de algunos antecedentes filosóficos de la pneumática y de los experimentos pneumáticos más significativos (sobre todo, de Galileo, Torricelli y Pascal), sostengo que la experimentación pneumática llega a ser una práctica experimental consistente debido a que se auxilió de las explicaciones mecánicas para fundamentar y diseñar sus explicaciones en un lenguaje propio; consideró al aire un fluido al igual que el agua, tratándolo como un objeto de estudio especial de la filosofía natural; el carácter físico propio de sus estudios requirió del desarrollo de dispositivos experimentales técnica y operativamente complicados para el

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

manejo experto de ciertos fenómenos neumáticos (como el vacío); el sobresaliente perfeccionamiento material y operativo de artefactos experimentales claves como el sifón, el barómetro, la bomba de agua y la bomba de aire o de vacío; y, además, inicia la incorporación de sus propias mediciones y cálculos matemáticos para tratar de entender el comportamiento regular y variable de los fenómenos neumáticos.

Considero que la experimentación neumática boyleana se funda y se respalda en tres aspectos teóricos centrales que son el soporte conceptual de su filosofía natural y de toda su práctica experimental: primero, la *crítica de Boyle a la noción aristotélica de naturaleza* (noción "vulgar" de naturaleza, como él la llama) debido a los desatinados usos de la palabra "naturaleza" que hacen ciertas explicaciones filosófico-naturales que conciben a la naturaleza ya sea como una entidad metafísica ininteligible, o como una entidad con rasgos volitivos parecidos a los humanos; segundo, ello le condujo a la adopción de su *hipótesis mecánico-corpúscular* para desarrollar sus explicaciones naturales que, al entender a la naturaleza como una gran máquina (como un reloj) cuyo movimiento obedece a las operaciones mecánicas de supuestos corpúsculos materiales, permite explicar a los movimientos corpusculares como efectivos agentes físicos de los fenómenos naturales como efectos del movimiento mecánico de esas partículas en los cuerpos; y tercero, el papel que juega su *voluntarismo teológico* en las explicaciones naturales, al asumir que el mundo ha sido creado y sometido totalmente al poder y a la voluntad de Dios, cuya intervención mantiene -a través de leyes establecidas por él- la eficacia de todo agente físico particular en la

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

naturaleza, y que permite la investigación de la estructura de esa naturaleza creada por Dios con el fin de develar el funcionamiento de sus leyes universales y el plan del creador divino.

Estos puntos centrales de su filosofía natural le dan la oportunidad a Boyle de desarrollar su práctica experimental con la finalidad de que sea un procedimiento práctico y útil que haga accesible y pruebe la estructura causal de los hechos físicos, pero sin presentarse como un método infalible de investigación natural, ni tampoco como instaurador de un sistema definitivo de conocimientos.

De acuerdo con esto, los rasgos epistemológicos de la experimentación boyleana en general reflejan el carácter falible de las hipótesis y los experimentos en tanto forman parte de un procedimiento que pretende ofrecer clara evidencia de la estructura y las propiedades mecánico-causales de los cuerpos, mas no una certeza absoluta sobre ello. Como práctica de investigación, la experimentación boyleana exige sustentarse en un trabajo experto disciplinado y como una manera de orientar e instruir a la experiencia humana, puesto que todo el conocimiento de un hecho adquirido por el testimonio de nuestros sentidos o por el testimonio de otros debe ser probado y someterse siempre a una evaluación colectiva de los expertos, en este caso. Por esta razón, Boyle concibe a la experimentación como un procedimiento dirigido a educar y entrenar al experimentador a fin de que sea habilitado para confeccionar adecuadamente sus hipótesis y contrastarlas con la ayuda de su pericia experimental, como en el caso de la investigación neumática.

En esta misma dirección, la experimentación boyleana es una práctica filosófico-natural que descansa en la necesidad de establecer una relación epistémica entre los hechos naturales y las hipótesis que los explican, relación que

se refiere a los modos de establecer la verdad o certeza física de las explicaciones naturales, donde esta certeza física sólo puede concebirse en términos graduales con la cual una explicación natural fortalece su certeza, es decir, es un tipo de certeza moral que se encuentra situado entre el conocimiento absolutamente verdadero y la mera opinión. Destaca el hecho de que esta certeza moral esté fundada y enmarcada en un lenguaje experimental que toma -para sus demostraciones- varios conceptos y procedimientos del lenguaje del derecho común inglés.

Para Boyle en la filosofía natural existen tres tipos de demostraciones: metafísica, física y moral, de las cuales considera que la *demostración moral* es la más adecuada para la experimentación porque se construye mediante pruebas sólidas y por una concurrencia de probabilidades. De acuerdo con esto, puede comprenderse cómo este tipo de demostración permite que la certeza moral en Boyle se conciba como una acción responsable y prudente, contraria a la especulación metafísica; así, concluimos que una hipótesis respaldada por la evidencia experimental, aumenta su grado de certeza si es producto de una concurrencia de probabilidades y de una prudente acción epistémica del experimentador.

En este contexto, la experimentación neumática de Boyle no estuvo exenta de las *tensiones y dificultades epistémicas* que presentaban las prácticas experimentales neumáticas del siglo diecisiete, las cuales estaban estrechamente vinculadas: uno, al carácter epistemológico de sus demostraciones experimentales en su afán por obtener evidencia sólida y convincente para lograr establecer un conocimiento garantizadamente cierto sobre los fenómenos naturales; dos, a la

efectividad operativa de sus dispositivos experimentales (especialmente, la bomba de vacío) para la aportación de tal evidencia; y tres, a las propuestas de solución de las controversias ontológicas y epistémicas suscitadas por sus explicaciones de la naturaleza y propiedades del aire y sobre la posible existencia y producción efectiva del vacío en la bomba de vacío. A causa de esto, de todas las prácticas experimentales de la época, la experimentación neumática de Boyle desarrolla una buena parte de las bases técnico-materiales y metodológicas para la experimentación de mediados del siglo diecisiete.

De esta manera, la experimentación boyleana se fundamenta en la relación entre sus mencionadas bases epistemológicas que son *el experimento, las hipótesis y la certeza moral*. Para entender esta relación efectiva entre ellas, un estudio de las principales tesis esgrimidas en el debate entre plenistas y vacuistas nos muestra cuáles son las consecuencias de asumir una u otra posición en torno al vacío, donde destaca el modo en que las tesis boyleanas se articulan y se exigen explorar las posibilidades experimentales del vacío con vistas a dirimir las implicaciones ontológicas y epistemológicas del vacío torricelliano y del vacío boyleano. Para realizar esto, la experimentación neumática de Boyle se presenta como un adecuado procedimiento de prueba porque aprovecha las posibilidades prácticas y técnicas que le brindaron tanto el experimento de Torricelli como su diseño e invención de la bomba de vacío para optimizar su trabajo experimental. Esto permitió que Boyle analizara la manera en cómo sería posible la creación de un vacío operativo mediante el uso y manejo experimental de la bomba boyleana, a fin de explicar con ello fenómenos sin la intervención del aire atmosférico como factor físico.

El ejemplo más característico que logra hacer posibles las pruebas experimentales para determinar la naturaleza de un fenómeno físico como el vacío y que, además es el experimento más representativo de la investigación neumática de Boyle, lo tenemos en el Experimento XVII de 1660 conocido también como el *experimento del vacío en el vacío*. Un examen de este experimento ayuda a comprender el esfuerzo de Boyle para presentar cómo la explicación de un fenómeno neumático es conducente a través del respaldo de su hipótesis corpuscular junto con el desarrollo de una técnica experimental que ningún otro experimento ofrecía –hasta entonces– para probar empíricamente y encarar satisfactoriamente las dificultades surgidas en el seno de las controversias experimentales junto a sus desafíos ontológicos, epistémicos y técnicos que ponían en entredicho su eficacia experimental en tanto procedimiento demostrativo.

Para una aproximación más detallada sobre este asunto, un análisis de las controversias que Boyle sostiene, especialmente con filósofos como Thomas Hobbes, Franciscus Linus y Henry More, presenta algunas de las principales críticas donde son cuestionados distintos aspectos relevantes de su experimentación neumática, sobre todo los relacionados con: la eficacia del procedimiento experimental y de su instrumentación con la bomba de vacío para mostrar y explicar los hechos neumáticos, la afirmación de la existencia de un *horror vacui* en la naturaleza, y la existencia de una materia sutil o un principio semejante que explicaría los fenómenos neumáticos. Estos tres aspectos, por lo menos, forman parte de la argumentación de aquellos filósofos en torno a las discusiones centrales.

La crítica de Thomas Hobbes considera a la experimentación boyleana sólo como una colección de hechos particulares que no puede ofrecer verdaderas (generales) explicaciones físicas de los fenómenos naturales, con todo y sus dispositivos experimentales (como la bomba de vacío); además, Hobbes sostiene la concepción cartesiana del espacio como un *plenum* y la utiliza como un argumento principal contra Boyle para negar la existencia fáctica del vacío y su posible creación experimental. La respuesta de Boyle a ello se resume en que ambos utilizan lenguajes distintos en su comprensión y explicación de un fenómeno, es decir, Hobbes sólo concibe al procedimiento deductivo de demostración natural como el auténtico y únicamente válido, mientras que Boyle asume que la experimentación también es un procedimiento relevante para explicar un hecho natural. Por ello, Boyle sostiene que es muy difícil que Hobbes pueda entender el lenguaje experimental boyleano. Dando una muestra del carácter no definitivo que tiene su experimentación, Boyle mismo acepta el señalamiento crítico de Hobbes respecto a que la bomba de vacío tiene filtraciones, y acepta también que es necesario mejorarla material y operativamente para no dejar lugar dudas de su decisivo papel experimental.

Por otra parte, un análisis de la crítica (ontológica en carácter) de Franciscus Linus y su propuesta de una "hipótesis funicular", que afirma la existencia y actuación de una substancia o "funículo" (una especie de hilo o filamento) en el espacio torricelliano, encargada de mantener la columna de mercurio en su posición, pues su "función natural" es impedir que haya o se forme algún vacío, obliga a que Boyle demuestre experimentalmente que la efectiva causa física de los fenómenos neumáticos es la presión atmosférica y que,

además, en los fenómenos de condensación y rarefacción del aire (aumento o disminución de la presión) existe una relación proporcional directa entre el peso y la fuerza elástica del aire, relación que se establece como la famosa "ley de Boyle".

En otro sentido, la crítica metafísica de Henry More se funda en su rechazo al materialismo hobbesiano, su reticencia hacia las explicaciones mecánicas, y su creencia en un "principio hilárquico" (*principium hylarchicum*) de la naturaleza que explicaría los fenómenos neumáticos bajo la afirmación de la existencia de una materia sutil, cuyas partículas no poseen gravitación, existiendo únicamente algunas "partículas atmosféricas" que sólo tienen un cierto movimiento descendente, relevante en la pesantez y elasticidad del aire. Importante es destacar que More no rechaza a la experimentación como procedimiento para estudiar los hechos naturales, ni tampoco que el aire posea peso y elasticidad, solamente se niega a admitir que la capacidad, fortaleza o resistencia suficiente de esas propiedades del aire explique los fenómenos neumáticos. Frente a esto, la respuesta de Boyle es afirmar que tanto su explicación mecánica como su demostración experimental del fenómeno del vacío, muestran que el peso y la elasticidad del aire son causas físicas suficientes para explicar los fenómenos neumáticos.

Podemos advertir que son estas críticas y sus diversos desafíos los que obligan a revisar y fortalecer el carácter metodológico e instrumental de la experimentación neumática boyleana en una labor de constante perfeccionamiento y ajuste tanto teórico, técnico y metodológico, y revelándola -en los términos planteados por Van Leeuwen- como portadora de un "escepticismo constructivo", en el cual si la estructura real de la naturaleza es incognoscible

puede, sin embargo, ofrecer alguna evidencia suya a través de la indagación, el juicio y el testimonio filosófico (y experimental) de los hechos naturales.



La estructura general de este trabajo se limita exclusivamente a un estudio de las bases epistemológicas de la experimentación neumática de Boyle, tomando como referencia la relación entre su hipótesis corpuscular, su diseño, uso y operación de la bomba de vacío en su instrumentación experimental, su afirmación de la certeza moral como la clase de certeza más adecuada al carácter epistémico de la experimentación, y sus respuestas a las dificultades y retos teóricos y prácticos que presentan las críticas de Hobbes, Linus y More. Para tal efecto, se toma como un ejemplo concreto de esta relación a su experimento del vacío en el vacío (Experimento XVII de 1660). Esta estructura nos permite integrar, desde mi punto de vista, los elementos básicos que dan cuenta de la fundamentación epistemológica de la experimentación neumática boyleana, concebida en la relación efectiva entre las hipótesis, la experimentación instrumentalizada y la certeza moral de la práctica experimental, los cuales son, por otra parte, importantes ejes de su desarrollo.

En el Capítulo 1 argumento que la experimentación neumática de Boyle precisa tanto de la explicación mecánica (con su imagen de la naturaleza como una gran máquina y su discusión de la teleología natural) como de algunos aportes experimentales provenientes de la iatroquímica, del baconismo y de las técnicas de

construcción de instrumentos para uso experimental, con la finalidad de darle un sustento conceptual y empírico a sus estudios experimentales sobre la naturaleza y propiedades físicas del aire y del vacío, con lo cual hacer suficientemente inteligible la estructura y el funcionamiento causal de esos fenómenos (y otros) a fin de constituirse en un procedimiento de investigación natural epistemológicamente aceptable, lo cual plantea algunas cuestiones epistémicas que la experimentación neumática tiene que sortear en busca de esa inteligibilidad explicativa de los hechos naturales y aceptabilidad epistémica de sus procedimientos e instrumentos.

En el Capítulo 2 afirmo que la práctica experimental de Boyle en neumática llega a ser un tipo importante de investigación filosófico-natural debido al papel que jugaron los estudios neumáticos de Galileo, Torricelli y Pascal a mediados del siglo diecisiete, especialmente porque la experimentación boyleana se auxilió de las explicaciones mecánicas para diseñar su propio lenguaje filosófico-natural, integró y requirió del uso y desarrollo de dispositivos experimentales técnica y operativamente más complicados que el sifón, el barómetro y la bomba de agua para el tratamiento de los fenómenos del aire y del vacío, consideró al aire como un fluido igual que el agua, revisó y perfeccionó sus propios instrumentos y aparatos experimentales, e incorporó sus propias mediciones, tabulaciones y cálculos para dar cuenta de las regularidades y variaciones de los fenómenos neumáticos. Con todo, la experimentación de Boyle enfrenta ciertas dificultades epistémicas relativas a sus posibilidades reales de lograr un conocimiento confiablemente cierto de los hechos naturales con la operatividad efectiva de la bomba de vacío como instrumento experimentalmente seguro, que pudiese

generar y aportar suficiente evidencia aceptable a las hipótesis mecánico-causales que explican los hechos naturales, además de constituir propuestas de solución práctica para las controversias experimentales sobre la naturaleza y propiedades físicas del aire y acerca de la existencia real del vacío y su posible producción experimental.

En el Capítulo 3 explico que la experimentación neumática boyleana necesita de la revisión que Boyle hace de la noción de "naturaleza" para dar inteligibilidad a los fenómenos naturales, puesto que los usos y abusos de este término por parte de muchos de los filósofos naturales, han originado interpretaciones confusas y oscuras sobre los hechos de la naturaleza. Para Boyle la única manera de eliminar la ambigüedad de estas interpretaciones "vulgares" de la naturaleza es concebirla como un mecanismo universal de modificación substancial y entenderla -a la vez- como una entidad dinámica donde su visión corpuscularista le permite complementar la descripción de los fenómenos naturales como semejante a las operaciones de una máquina donde no hay principios vitales, sólo movimiento mecánico bajo dos principios: la materia y el movimiento. Esta posibilidad que ofrece a Boyle su corpuscularismo mecánico de hacer inteligible el funcionamiento de los fenómenos físicos, sólo se logra con la ayuda de nociones e ideas claras sobre la naturaleza para elaborar buenas hipótesis y adecuadas explicaciones que puedan ser sometidas a una contrastación empírica mediante experimentos que utilicen apropiados instrumentos auxiliares para demostrar la certeza física de sus conjeturas.

Según Boyle, la hipótesis corpuscular permite definir a cada fenómeno conforme a sus propiedades físicas debido a los diferentes movimientos,

combinaciones y arreglos corpusculares de su estructura natural. Además, esta hipótesis boyleana le permite explicar que el movimiento y la materia combinados en los cuerpos son posibles gracias a la sabiduría y voluntad de Dios como causa primera de la naturaleza, cuya intervención creadora, regulativa y conservadora del mundo logra -mediante sus leyes- mantener la eficacia de todo agente físico particular. Es importante resaltar que este voluntarismo teológico de Boyle que respalda a su concepción de la naturaleza juega un destacado papel en la comprensión del sentido que tiene de su investigación natural, pues él entiende que con la inteligibilidad de la estructura de esta naturaleza creada y mantenida por Dios puede revelarse su poder divino, sólo hace falta investigarla para develar el plan y las leyes universales de su funcionamiento.

Encontrar un procedimiento de investigación suficientemente confiable para conocer con la mayor certeza posible la estructura causal de la naturaleza es una de las tareas filosóficas de más importancia para Boyle. Por ello, en el Capítulo 4 explico las razones que orillaron a Boyle a desarrollar ese procedimiento como una práctica experimental que proporcionase respaldo empírico a sus hipótesis físicas, lo cual pretendidamente logró con la invención, uso y operación de instrumentos y aparatos técnicos, de entre los que destaca sobremanera la bomba de vacío utilizada en sus estudios neumáticos. Esto hizo posible que la experimentación boyleana definiera sus características específicas con base en la relación entre las hipótesis y su certeza y la intermediación instrumental utilizada para sus demostraciones experimentales. De aquí que en su afán por determinar de modo claro cómo ocurren, se producen y explican los fenómenos naturales, esta experimentación de Boyle necesite de las observaciones, experimentos y

demostraciones colectivas de tal modo que su experimentación exige la información y explicación públicas ante la opinión colectiva experta de una comunidad de experimentadores. Este procedimiento para entender y explicar la naturaleza será visto por Boyle como un medio útil que puede incrementar la evidencia experimental de sus estudios naturales vía aparatos auxiliares como la bomba de vacío. Sin embargo, este procedimiento es falible, debido a que su estrategia metodológica sólo permite lograr una certeza física en términos de una certeza moral donde hay grados más altos o más bajos de certeza, pero nunca una certeza completamente absoluta. De hecho, la actitud antisistémica de Boyle radica en esta consideración, no puede haber un sistema completo de conocimientos naturales porque no existen certezas absolutas que lo permitan.

Una caracterización epistémica más detallada de la estrategia experimental de Boyle la continúo en el Capítulo 5 analizando aquellos aspectos fundados en la unidad metodológica de teoría y práctica en la experimentación, y que están relacionados con la pericia que el investigador debe poseer para diseñar conjeturas que le den acceso a un conocimiento de la naturaleza por medio de la puesta en juego de su experiencia educada con vistas a la comprensión racional y experimental de los hechos.

Conforme a la concepción de Boyle, una de las características y fines de la experimentación es educar e instruir técnicamente al experimentador para que sea capaz no sólo de realizar sus tareas prácticas de modo experto, sino de idear, plantear y demostrar las hipótesis requeridas en sus estudios naturales. Su noción de *experiencia* se funda en el conocimiento de un hecho adquirido ya sea por nuestros sentidos u otras facultades, o por los testimonios y pruebas de otras

personas. Así, según Boyle, dos son las fuentes de conocimiento de un hecho: la experiencia y la razón, en donde ese hecho es un asunto que debe probarse preferiblemente por testimonio múltiple. Los rasgos jurídicos del lenguaje experimental de Boyle que implican el testimonio y la prueba, revelan que la experimentación es un procedimiento sujeto a valoración donde la credibilidad de un experimentador está sujeta a demostración para lograr autoridad.

De acuerdo con este procedimiento experimental, no hay experiencia ni evidencia totalmente infalible, toda ella está sujeta a valoración, juicio y testimonio en el espacio epistémico y operativo que representa el laboratorio experimental. Pero esto no indica que el uso de un procedimiento experimental automáticamente nos lleve a obtener resultados seguros, pues la complejidad epistémica que supone la experimentación presenta algunas dificultades relacionadas con las circunstancias de operación de los aparatos experimentales como fallas técnicas, accidentes y casualidades. Los instrumentos mecánicos en la experimentación son importantes para determinar cómo establecer la certeza de las explicaciones físicas de un fenómeno, así como el carácter probable y provisional de una hipótesis que permite organizar los resultados experimentales y afirmar su papel predicativo. Por esto, la demostración experimental se basa en lo que para Boyle son las "buenas hipótesis" que proporcionan inteligibilidad y consistencia explicativa de los fenómenos estudiados.

El carácter probable y falible del conocimiento de un fenómeno obliga a que el experimentador despliegue un tipo de acción responsable fundada en su prudencia y haciendo razonables sus creencias, hipótesis y demostraciones, para así establecer su certeza moral como una concurrencia de probabilidades. De este

modo, la experimentación boyleana es, en último término, una obra en construcción y en permanente revisión.

En el Capítulo 6 analizo el Experimento XVII o “del vacío en el vacío” como uno de los ejemplos de experimentación neumática donde Boyle pretende mostrar la interrelación que existe entre su hipótesis mecánico-corpúscular y un procedimiento experimental, instrumentalizado por la bomba de vacío, del cual deriva cierta evidencia empírica que corrobora su hipótesis acerca de las propiedades del aire y de la producción mecánica del vacío. Este llamado “vacío boyleano” es una respuesta experimental indirecta al debate entre plenistas y vacuistas, planteado por el experimento torricelliano en torno a la polémica naturaleza del espacio vacío ubicado encima de la columna de mercurio dentro del tubo barométrico. Este experimento, como veremos, pone en juego las implicaciones ontológicas y epistémicas de la posibilidad efectiva de crear mecánicamente un vacío con la bomba boyleana.

Para Boyle el asunto fundamental es demostrar experimentalmente que las conjeturas probables o hipótesis sobre las propiedades mecánico-corpúsculares del aire y del vacío, son viables para dar una explicación aproximada de cómo ocurren los movimientos de los corpúsculos atmosféricos, y además aprovechar las posibilidades prácticas que ofrece la bomba de vacío para aportar evidencia suficiente que incremente la certeza de las hipótesis sostenidas. El camino neumático que siguió la experimentación boyleana estuvo marcado por el mejoramiento material y técnico de los dispositivos neumáticos clásicos como el sifón, el barómetro y la bomba de agua. La contribución de Boyle al desarrollo de los dispositivos neumáticos estriba en su revisión material, técnica y operativa de

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

los sifones pascalianos, del barómetro troricelliano y de las bombas de agua y vacío de Von Guericke, sobre todo, su capacidad de maniobra y operación.

El experimento XVII es la respuesta a uno de los mayores desafíos a que fue enfrentada la práctica experimental neumática de Boyle y su instrumentación con la bomba de vacío, a saber: la viabilidad epistémica y técnica de un instrumento experimental (como la bomba boyleana) para generar cierta evidencia que lograra afirmar con mayor certeza una hipótesis como la del vacío. Cabe señalar que el problema del vacío para Boyle no es afirmar o negar su existencia (esto lo considera una cuestión metafísica, pues él mismo admite que no es posible establecerlo de modo definitivo), sino más bien la utilidad que puede prestar el uso de la bomba para demostrar empíricamente aquello que era considerado sólo como meramente posible.

Finalmente, en el Capítulo 7 analizo las razones que adujeron tres de los principales interlocutores críticos de Boyle respecto a diferentes aspectos de su práctica experimental y, por supuesto, las respuestas que Boyle les ofreció. Me refiero concretamente a Thomas Hobbes, Franciscus Linus y Henry More. Considerar a la experimentación boyleana como una mera colección de hechos particulares desde los que no puede derivarse una verdadera explicación natural de la estructura causal de los fenómenos físicos, y sostener que la bomba de vacío no era totalmente confiable como un instrumento que permitiera ofrecer evidencia creíble y suficiente en la explicación de los fenómenos neumáticos, fueron las razones básicas que Hobbes utilizó para descalificar al procedimiento boyleano y a su instrumentación como epistemológicamente adecuado en la aportación de pruebas suficientes para afirmar garantizadamente la existencia fáctica del peso y

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

fuerza elástica del aire, además de la creación del vacío. La respuesta de Boyle es que Hobbes, al no manejar el lenguaje experimental y al no realizar experimentos, adolece de una comprensión esencial de lo que es la experimentación como procedimiento de investigación en los estudios naturales.

En cambio, en el caso de Linus, éste no cuestiona a la experimentación, ni rechaza el peso y la fuerza elástica del aire, más bien no acepta la explicación mecánico-corpúscular de Boyle sobre el vacío. Linus afirma el horror de la naturaleza al vacío, así como el carácter pleno del espacio, concluyendo la imposibilidad de que exista un vacío en el espacio torricelliano del barómetro. Para su argumento diseña una "hipótesis funicular" que consiste en asumir la existencia de una especie de sustancia en forma de hilo o filamento (funículo) que corre a lo largo de la columna de mercurio sosteniéndola, y que impide que el vacío se produzca en la naturaleza. Linus sostiene que la falla experimental de Boyle no está en la bomba de vacío, sino en su respaldo teórico (la hipótesis mecánico-corpúscular). Nuevamente, la respuesta de Boyle es demostrar experimentalmente que la fuerza elástica del aire es suficientemente fuerte (pues Linus sostenía que esta fuerza neumática era muy débil frente a su "funículo" naturalmente poderoso) para explicar por qué la columna de mercurio se mantiene en su nivel en el experimento torricelliano. De esta respuesta resulta la llamada "ley de Boyle" donde se establece que existe una relación proporcional directa entre el peso del aire y su fuerza elástica, teniendo que: a mayor densidad, mayor elasticidad.

La conclusión de ello es que la hipótesis mecánico-corpúscular del aire se muestra en una serie de experimentos usando un instrumento y registrando estadísticamente -en unas tablas- el comportamiento variable y constante de la

columna de mercurio, cuyo resultado asienta que la presión y la elasticidad del aire son causas mecánicas efectivas de los fenómenos pneumáticos.

Por último, la crítica de Henry More, igual que la de Linus, no está dirigida a descartar a la experimentación como procedimiento apropiado en el estudio de la naturaleza, más bien se dirige a rechazar al materialismo hobbesiano, a desconfiar de las explicaciones mecánicas y a afirmar su creencia en la existencia de una materia sutil en la naturaleza que impide la existencia del vacío, él la llama "principio hilárquico". La respuesta de Boyle es que la explicación mecánica del vacío parte del supuesto de entender los fenómenos naturales como resultados de afecciones mecánicas de la materia y sujetos a las leyes de la naturaleza con la intervención directa de Dios, sin tener que recurrir a ninguna entidad metafísica como el "principio hilárquico", cuya existencia sólo es supuesta en el marco del argumento metafísico de More.

Finalmente, las conclusiones de este trabajo se dirigen a afirmar que la experimentación pneumática de Boyle está definida básicamente por dos características estructurales como proceso de investigación: una es la compleja relación que existe -como en todo procedimiento experimental- entre una hipótesis sobre un hecho y una cierta clase de evidencia experimental producida en el desarrollo de un procedimiento o técnica experimental que usa dispositivos instrumentales para reproducir, probar y demostrar con suficiencia empírica las razones y evidencias sobre un determinado fenómeno; y otra es la confiabilidad del procedimiento experimental en la elaboración de una hipótesis, en el diseño de un experimento, en el funcionamiento operativo eficiente de un dispositivo experimental, en la pericia y competitividad del experimentador, y en la obtención

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

de autoridad experimental sobre cualquier otro procedimiento de investigación. Observando esto, puedo decir que estas características experimentales no difieren en lo esencial de lo que actualmente se plantea en y para una práctica experimental.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 1. Explicación Mecánica y Aportes para el Estudio Experimental en la Filosofía Natural de la Primera Mitad del Siglo Diecisiete.

1.0 Introducción.

Entre las diversas prácticas que la filosofía natural experimental desarrolló en la primera mitad del siglo diecisiete, la *experimentación neumática* llegó a convertirse en un destacado modelo de investigación natural debido a las características y exigencias propias de su objeto de estudio, a saber: *el aire (y el vacío) y sus propiedades*. En este capítulo analizamos una de las razones por la cual sostenemos que la experimentación neumática se convirtió en un modelo de práctica experimental para algunas de las diversas explicaciones naturales que ofrecía la comunidad filosófica de ese tiempo, a tal grado que fue ese tipo de experimentación la que interesó y dominó gran parte de la obra filosófico-natural de Robert Boyle.

Sostenemos que eso fue posible gracias a una efectiva integración entre el mecanicismo y los aportes de la iatroquímica, el baconismo y la invención mecánica de artefactos para diseñar explicaciones naturales más confiables. Por esta razón, el desarrollo de la filosofía experimental en general y, en particular, de la experimentación neumática, no puede ser comprendido sin el importante papel que jugó la concepción mecánica de la naturaleza (y su metáfora de la "gran máquina") en sus explicaciones filosóficas y sus reportes experimentales sobre los fenómenos naturales. En vista de esto, en la primera parte de este capítulo,

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

exponemos cómo una explicación mecánica de la naturaleza permite darle a la práctica experimental un sustento conceptual para hacer inteligibles la estructura y el funcionamiento causales de los fenómenos naturales y, de este modo, lograr constituirse en un procedimiento epistemológicamente aceptable. Además, veremos que una explicación mecánica tiene sus límites cuando intenta describir algunos fenómenos naturales, como los biológicos, mostrando que todavía puede pensarse en la aceptación de una cierta teleología en la naturaleza.

En la segunda parte, presentamos los aportes relevantes de otras áreas de investigación que contribuyeron de distinto modo, junto con las explicaciones mecanicistas de la naturaleza, a reforzar la viabilidad técnica y epistémica de la experimentación, particularmente la de Boyle, y en especial, sus estudios neumáticos. Dichas aportaciones las ofrecieron, a saber: los *estudios iatroquímicos*, que hicieron algunas extensiones y aplicaciones del enfoque mecánico para mejorar las observaciones y técnicas de estudio de los procesos naturales entendiéndolos en términos de operaciones y propiedades químico-mecánicas; la *metodología baconiana*, considerada por algunos filósofos naturales modelo instrumental de indagación natural que tenía al experimento como un importante auxiliar en la demostración de los estudios naturales; y la *construcción de artefactos para uso experimental*, que permitiese la comprobación empírica de las explicaciones mecánicas de la naturaleza mediante la aportación de evidencia suficiente para el sustento de sus hipótesis. Ejemplo de esta unidad entre mecanicismo, iatroquímica, experimentación y práctica instrumental será la filosofía natural experimental de Boyle, especialmente su experimentación neumática.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.1 Explicación Mecánica de la Naturaleza.

En la filosofía natural de la primera mitad del siglo diecisiete, las explicaciones mecánicas sobre los fenómenos naturales se presentan como descripciones del curso de la naturaleza que desafían a las tradicionales explicaciones aristotélico-escolásticas. Una de las diferencias entre ambas estriba en que éstas son herederas de la *filosofía renacentista de la naturaleza* que veía a la naturaleza como un ámbito misterioso que el intelecto humano jamás podría conocer plenamente, y la concebía como un agente teleológico y animado que cumple sus fines mediante un plan propio, lo que resultaba en explicaciones naturales por medio de sus causas finales y formales; mientras que la *nueva filosofía natural* desarrolla una concepción de la naturaleza que pretende eliminar sus características volitivas y finalistas afirmando su propio carácter material, eficiente y relativamente autónomo (Shapin, 1996: 29-30 y 162-163).

Una delimitación de esta naturaleza supone una diferenciación entre el dominio de los fenómenos animados e inanimados, que permitirá reconocer el carácter objetivo del mundo natural, podríamos decir, su carácter propiamente físico. Esto condujo a efectuar uno de los ataques más directos contra la concepción aristotélico-escolástica de la naturaleza, porque ahora la naturaleza, concebida en términos materiales e inanimados, funcionaría autónomamente a causa de una intrínseca necesidad física a la que se encontraba sujeta toda entidad natural, es decir, la naturaleza poseía un funcionamiento propio independientemente de la agencia humana, esto es, funcionaba como una máquina, era un *autómaton*.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Justamente una máquina se entendía como un sistema activo –podríamos decir- formado por ciertos *mecanismos*, esto es, por un conjunto de actividades propias internas causadas por ciertas entidades supuestas como sus agentes materiales (partículas, corpúsculos o átomos), cuyo movimiento regular produce todos los cambios cuantitativos y cualitativos observados en los fenómenos naturales, en sus condiciones y en sus propiedades. Así, para la filosofía natural mecánica, existía un mecanismo que se ajustaba más a la imagen, diseño y elaboración de sus explicaciones: el *mecanismo relojístico*, especialmente el *reloj mecánico*, convertido en la metáfora mecanicista por antonomasia. A tal grado reinó esta imagen mecanicista, que incluso el funcionamiento de una gran mayoría de fenómenos orgánicos intentó ser descrito en términos exclusivamente mecánicos (Westfall, 1998: 104 / Shapin, 1996: 160-161).

Para esta filosofía natural, los fenómenos del movimiento constituían uno de sus principales ejes para sus explicaciones mecánicas. Estas explicaciones sostenían que la naturaleza, no concebida en términos animistas, tenía la causa primordial de su movimiento en Dios como su creador, y afirmaban que ese movimiento natural era indestructible y eterno; de este modo, cuando un cuerpo actuaba sobre otro por simple impacto, el movimiento se conservaba.

Las explicaciones mecánicas de la naturaleza, la consideran como el ámbito donde sus principios constitutivos universales son la materia y el movimiento. Esto indicaba que habían sido recuperadas antiguas doctrinas materialistas que comprendían la constitución de la materia en términos de partículas, corpúsculos o átomos; de hecho, la aceptación de uno o de otro como los componentes

elementales de la materia derivó en la existencia de las diferentes concepciones mecánicas de la naturaleza características de este período.

Serán precisamente los supuestos de esta filosofía mecánica, los que propocionen uno de los fundamentos más sólidos para el desarrollo de las explicaciones de la *filosofía experimental* integrada significativamente, en esa época, por múltiples y distintas áreas de investigación que definían su campo de estudio y práctica sobre la naturaleza, entre las que destacan: las explicaciones mecánicas de la naturaleza, los enfoques iatroquímicos (alquímicos y médicos) de los fenómenos naturales, la metodología inductiva baconiana, y la construcción de artefactos experimentales para la investigación natural. Estas áreas de estudio integraron una parte importante en la constitución y desarrollo de la filosofía natural experimental de Robert Boyle, tal y como se expondrá en las siguientes secciones de este capítulo y en los capítulos subsiguientes de este trabajo.

1.1.1 La Naturaleza como una Gran Máquina.

Hemos señalado que una de las características fundamentales de las explicaciones mecánicas se encontraba fundada en aquella imagen que describía a la naturaleza como “una enorme máquina y que buscaba explicar los mecanismos ocultos detrás de los fenómenos” (Westfall, 1998: 1). Esta imagen de la *gran máquina* jugará un papel protagónico y ejercerá una penetrante influencia en una gran cantidad de los estudios naturales de mediados del siglo diecisiete, convertida en la metáfora mecanicista *par excellence*.

Esta imagen del mundo natural como una enorme maquinaria proveyó la concepción que abrió el camino para que la estructura y el funcionamiento interno

de los fenómenos naturales fuesen entendidos a través de mecanismos accesibles y cognoscibles por medio de la intervención lógico-matemática de la razón y de la acción práctico-experimental del ser humano. De manera semejante al trabajo de un relojero que diseña, activa y mejora la estructura de sus máquinas, así el filósofo natural tenía que diseñar, ajustar y mejorar los procedimientos e instrumentos con los cuales conocer el funcionamiento interno del gran mecanismo de la naturaleza.

Esto permitirá que una explicación mecánica busque la inteligibilidad de los fenómenos en su misma naturaleza material a partir de sus efectos perceptibles. Para tal fin, la explicación mecánica tendrá como objetivos primordiales: expulsar del seno de la filosofía natural todo aquello que -de acuerdo a sus propios estándares- sea confuso y obscuro en el estudio de un fenómeno, describir la estructura comprensible que se encuentra detrás de cada fenómeno fundada en una cierta relación entre sus causas y sus efectos, y eventualmente desarrollarla como una descripción matemática de los hechos físicos, resultante de "deducir desde los fenómenos"¹, y hacia los fenómenos, ciertas "leyes" naturales, lo cual será una destacada característica, sobre todo, de la filosofía natural de la segunda mitad del siglo diecisiete.

La filosofía natural mecánica del siglo diecisiete se fundaba en la creencia de que un sinnúmero de fenómenos físicos son conocidos por sus efectos visibles,

¹ La expresión "deducir" o "deducción desde los fenómenos" usadas por varios filósofos naturales de esta época (Bacon, Galileo, Boyle, Newton, entre otros) en sus explicaciones naturales, ha sido motivo de controversias debido a su multiplicidad de sentidos y por no contar con un significado único ni tampoco con un solo patrón de deducción o inferencia en los estudios de la naturaleza. En este trabajo esa expresión se usará en el sentido de deducir o inferir desde los efectos conocidos, mediante, el experimento, el conocimiento de las causas de un fenómeno.

y que de ellos deriva el conocimiento de sus causas efectivas, tal como lo enuncia Westfall: "la realidad de la naturaleza no es idéntica a las apariencias que nuestros sentidos describen" (Westfall, 1998: 141). Efectivamente, el enfoque mecánico de la filosofía natural apelaba a dos importantes aspectos para la inteligibilidad de un hecho natural: uno, concebir la constitución de las cosas como efectos de cualidades naturales; y dos, asumir la existencia de causas en las cosas y su conocimiento efectivo. Creemos que esto puede explicar, en parte, por qué el conocimiento de las causas desde los efectos se daba por supuesto mayoritariamente entre los mecanicistas, y por qué también ello no excluía el que las causas conocidas mediante el análisis permitiesen derivar el conocimiento de los efectos naturales. Como expondremos en el capítulo siguiente, en Boyle estos aspectos del mecanicismo se explicarán con base en una revisión de su noción de naturaleza, su corpuscularismo y su voluntarismo teológico.

Así, pues, entender la naturaleza mecánicamente es pensarla como aquella máquina que permite elaborar explicaciones referidas a las propiedades y movimientos materiales de las cosas, y que conciben a los fenómenos físicos como productos de una materialidad en movimiento e independiente de la agencia humana; en resumidas cuentas tenemos que: "El mundo es una máquina, compuesta de cuerpos inertes, movida por necesidad física, indiferente a la existencia de seres pensantes...La filosofía mecánica insistía que todos los fenómenos de la naturaleza son producidos por partículas de materia en movimiento" (Westfall, 1998: 33).

Con este enfoque mecanicista-materialista, el camino trazado para la filosofía natural era claro: la pretensión no era formular teorías cuyos fundamentos

y principios estuviesen desconectados del análisis de la experiencia empírica efectiva, sino más bien desarrollar explicaciones donde las condiciones y propiedades observadas en los fenómenos fuesen entendidas en términos de mecanismos (no observados). Estas explicaciones se apoyaban en inferencias realizadas desde semejantes propiedades para explicar los fenómenos producidos por partículas materiales poseedoras de una cierta forma, de un cierto orden y de un determinado movimiento. Con base en esto fueron ideados mecanismos invisibles mediante los cuales la materia se mostraba claramente diferenciada gracias a las formas, tamaños y movimientos de las partículas materiales organizadas en las distintas substancias. Esta heterogénea y múltiple expresión de la naturaleza material significaba que la formación de cada una de las cosas naturales y sus cualidades visibles era llevada al cabo por los movimientos de acomodo y reacomodo entre unas partículas y otras. De esta manera, ofrecer la explicación mecánica de un fenómeno consistía en “especificar la forma, tamaño, arreglo y movimiento de los constituyentes materiales de las cosas consideradas” (Shapin, 1996: 46).

Esta especificación de cada fenómeno físico, descrito por la particular amalgama de las propiedades naturales que definían a cada cuerpo o fenómeno de acuerdo a las funciones y estructuras de sus partículas constitutivas, se explicará más abajo con más detalle. Entendido de esta manera un fenómeno natural, Shapin afirma que las explicaciones mecánicas tienen un “*carácter estructural*” refiriéndose con ello a la compleja organización material de todo fenómeno natural (Shapin, 1996: 56).

Sin embargo, hemos de establecer que hablar de lo natural, de lo material o de lo corpóreo *no necesariamente* implicaba una referencia obligada para asumir algún tipo de mecanicismo en su explicación; esto quiere decir que existían ciertos fenómenos problemáticos (o no adecuados) para ser descritos y explicados en términos mecánicos, ejemplo de ello: los fenómenos biológicos. Los fenómenos biológicos (como la respiración, la alimentación, la excreción, el crecimiento, etc.) no podían ser completamente reducidos a una explicación mecánica porque existía aún la creencia entre algunos filósofos naturales (Boyle, Hooke, Newton) de que existían ciertas “fuerzas activas” o “poderes inmateriales” (no eran considerados poderes ocultos) que eran formas propias de las cosas y poseedoras de una cierta teleología. Esta teleología era producto de la imbricación de ideas naturalistas e ideas teológicas acerca de la naturaleza, y que facultó a una gran cantidad de filósofos naturales para explicar la estructura causal de ciertos fenómenos de la naturaleza como un reflejo de la voluntad divina, definiendo mediante un finalismo a esas explicaciones como “explicaciones que identificaban el propósito de los efectos naturales como su causa” (Shapin, 1996: 155).

Por otro lado, las explicaciones mecánicas lo eran de fenómenos y procesos entendidos desde una óptica que pretendía buscar más allá (y aún contra) del mero sentido común donde la evidencia ordinaria de los fenómenos se ampliase a un dominio de percepciones con una experiencia disciplinada e instruida sobre las cosas. Una interesante idea vinculada al mecanicismo era que los objetos estaban constituidos por dos tipos de cualidades: las *cualidades primarias*, aquellas que son inherentes y realmente pertenecientes al objeto físico como tal (tamaño, forma, movimiento), y las *cualidades secundarias* (derivadas de las primarias) que son

sólo “términos” o “nombres” dados a las percepciones de los procesos físicos del mundo externo por el sujeto percipiente (color, estados físicos como el frío o el calor); de aquí que las cualidades primarias fueran consideradas objetivas e independientes del sujeto que percibe, y que las cualidades secundarias dependiesen de la percepción consciente del sujeto (Dijksterhuis, 1969: 431). Esto significa, por tanto, que las explicaciones mecánicas eran resultado de la observación de los fenómenos y del discernimiento de sus cualidades objetivas y subjetivas, pues los hechos al mostrarse en sus efectos, pueden de éstos inferirse o deducirse (matemática o experimentalmente) sus causas, en el sentido de nuestra nota 1. Un ejemplo de esto es: cuando estudiamos un cuerpo frío, decimos que está frío porque tenemos una experiencia directa a través de nuestro sentido del tacto, es decir, el estado frío del cuerpo es el efecto que explicamos por el movimiento (lento o ausente) de las partículas (que tienen una forma y un tamaño) que lo componen: el frío del cuerpo es el efecto (cualidad secundaria) y su causa es el movimiento, tamaño y forma de sus partículas constitutivas (cualidades primarias).

Ahora bien, uno de los problemas en que se vio involucrada la explicación mecánica a mediados del siglo diecisiete, fue la *tensión epistémica* entre dos modos significativos para demostrar y establecer el conocimiento de las causas de las cosas. Un buen ejemplo del primero es *la certeza causal cartesiana*, que deriva deductivamente sus conclusiones desde los primeros principios, entrañando además una similitud o correspondencia entre las causas y los efectos producidos por ellas, y donde sólo explicaciones mecanicistas más particulares están sujetas a la certeza moral; en palabras de Descartes: “creo que habré hecho suficiente si las

causas que he enlistado son tales que los efectos que ellas puedan producir son similares a éstos que vemos en el mundo, sin estar informado si hay otros modos en que son producidos” (en Shapin, 1996: 102). Un destacado ejemplo del segundo es *el conocimiento probable de las causas naturales* sostenido por Boyle, quien habla de las hipótesis causales “tan dudosamente, y usando muy frecuentemente, *quizás, parece, es posible*, y otras expresiones semejantes, para argüir una desconfianza de la verdad de las opiniones a que me inclino” (en Shapin, 1996:103).

La idea general era, a fin de cuentas, ofrecer una vía demostrativa que explicara cómo los efectos se seguían necesariamente de un conocimiento (bien fundado) de las causas. Debido a ello, para algunos enfoques mecanicistas, “el problema de pasar de los efectos a las causas es bastante más difícil de resolver de una manera epistemológicamente satisfactoria...el problema de pasar de los efectos a las causas es el problema central de la epistemología” (Martínez, 1997: 65-66). Esto significa, así lo consideramos, que la meta para el establecimiento de una vía demostrativa satisfactoria en las explicaciones naturales, siempre involucrará una constante tensión epistemológica entre encontrar un *conocimiento absolutamente cierto* (con base en la deducción matemática como lo exigían Descartes, Hobbes o Newton) o sólo un *conocimiento probable* de las causas naturales (que es el caso de Boyle y Hooke), donde el grado de certeza de una hipótesis o explicación dependía en buena medida de un incremento en la evidencia que ofrecía.

No obstante esta tensión, se sostenía firmemente la creencia mecanicista en que la inteligibilidad de un efecto auténtico en la naturaleza era explicable en términos de causas materiales. Sin embargo, en opinión de Sergio Martínez, “la prueba de causas a partir de los efectos...requiere un complejo entramado de razonamientos en los que la construcción de invenciones mecánicas forma parte de la prueba” (Martínez, 1997: 71). De acuerdo con esto, tenemos que la inferencia de los efectos a las causas en la explicación mecanicista precisará del ofrecimiento de pruebas derivadas no sólo del razonamiento inferencial estricto, sino también del uso de dispositivos experimentales que tiendan a mostrar la estructura y función de los mecanismos (fenómenos) naturales. A mediados del siglo diecisiete, las demostraciones utilizadas por los filósofos naturales en sus explicaciones se caracterizaban tanto por emplear estrictamente un modelo de inferencia deductiva, como por usar esta estricta deducción con el objetivo de inferir un conocimiento cierto de las causas por la vía empírica. Esto, como veremos, constituirá una crucial cuestión metodológica para la filosofía experimental de la época la cual será abordada detalladamente en los próximos capítulos.

Ahora el problema metodológico es “cómo inferir conocimiento de causas a partir del tipo de conocimiento que obtenemos a través de los experimentos, esto es, conocimiento de efectos” (Martínez, 1997:74).

Este problema metodológico algunos lo articularán en términos de que toda la evidencia aportada por los resultados de las pruebas experimentales (que la mayoría de las veces estaban sujetas a discusión y provocaban controversia), incrementa o disminuye la confirmación de una hipótesis para determinar el grado de certeza en el conocimiento del hecho estudiado. Esto podrá verse con mucha

claridad en los trabajos de Boyle, quien sostenía una creencia y confianza completa en la experimentación como vía generadora de conocimiento.

Para un buen número de defensores de la filosofía experimental existía una plena confianza en que la experimentación podía dar cuenta del conocimiento causal de la naturaleza con un importante grado de certeza. Este conocimiento experimental derivaba de un procedimiento demostrativo cuyo objetivo era ofrecer una explicación mecánica de las causas de un fenómeno a partir de sus efectos experimentalmente mostrados. Con base en este procedimiento, la tarea era establecer afirmaciones empíricas donde la evidencia les proporcionara una sólida certeza causal. Esta tarea podría completarse si se encontrara un procedimiento metodológico único que hiciera posible el acceso y diera cuenta de la estructura causal del mundo por medio de la experimentación; el sello característico de ese procedimiento sería “la deducción de las propiedades de las cosas a partir de experimentos, no a partir de hipótesis” (Martínez, 1997: 76).

1.1.2 Teleología y Explicación Mecánica de la Naturaleza.

Hemos dicho que durante el período histórico que abarca este trabajo, coexiste una diversidad de concepciones mecanicistas (galileana, cartesiana, gassendiana, newtoniana, etc.) sobre los fenómenos de la naturaleza. Sin embargo, todas ellas participan de un rasgo común: cuestionan a las tradicionales explicaciones teleológicas de corte aristotélico-escolástico (debido, en parte, al complicado y obscuro lenguaje antropomorfizante con que describen a los hechos de la naturaleza) al buscar y presentar explicaciones impersonales y causales de los fenómenos naturales, desligadas de una concepción animista y ocultista.

Precisamente, como ya señalamos antes, el carácter distintivo de estas explicaciones mecánicas se encuentra en la presentación de una nueva inteligibilidad ofrecida en términos de mecanismos que se dirigen a explicar la estructura causal y material de los fenómenos naturales. En tanto que las mencionadas explicaciones teleológicas estaban básicamente sustentadas en la conocida doctrina del *anima mundi*, la cual sostiene que la materia posee vida, vida otorgada por el Creador y donde él actúa como causa primera absoluta de la naturaleza viviente. De este modo de concebir las cosas, la acción divina en los fenómenos del mundo se manifiesta como un conjunto de poderes activos inherentes a las cosas (atracción, repulsión, simpatía, antipatía), y que permiten a los cuerpos actuar entre sí a distancia, logrando -de esta manera- que sus efectos sean observables y sus modos de acción, ocultos.

En este marco es donde se inscribe la física aristotélica del *lugar natural*, que explica el movimiento de los cuerpos en los siguientes términos: los cuerpos se mueven con el fin de completar o cumplir con su naturaleza, es decir, se mueven hacia lo que es "*natural*" para ellos de acuerdo a su composición ontológica fundamental, p.ej., los cuerpos pesados tienden a la tierra y los cuerpos livianos tienden al aire, porque en unos predomina el elemento terrestre y en otros el aéreo. Esta aspiración hacia el cumplimiento del fin que los cuerpos poseen es lo más característico de la explicación aristotélica, donde son perceptibles los rasgos animistas que describen los movimientos de los cuerpos y su comportamiento en términos de un componente distintivo de los organismos biológicos: *realizar ciertos fines*.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En suma, este teleologismo consistía en explicar completamente la naturaleza particular de una cosa a medida que se descubría el fin hacia el cual esa cosa se dirigía. Este tipo de explicación será gradualmente socavado –como lo explicamos más tarde en el capítulo 3- por la idea cada vez más atractiva, para numerosos autores de la época, de que las explicaciones en términos de mecanismos se ajustaban mayormente para una comprensión más inteligible del curso efectivo de la naturaleza. Este socavamiento paulatino de las explicaciones finalistas en la filosofía natural en realidad se convirtió más bien en una coexistencia muy especial entre mecanicismo y teleología, pues filósofos naturales como Bacon, Descartes, Boyle o Newton considerarán que dentro de sus respectivas concepciones mecánico-naturalistas “la búsqueda de causas finales sería dañina para la ciencia si se arriesgaba la búsqueda de causas, la gran belleza de una filosofía mecánica era que, entendida apropiadamente, permitía a uno tener ambas” (Brooke, 1998: 56)

Para un buen número de filósofos naturales de la primera mitad del siglo diecisiete, la concepción mecanicista de la naturaleza será una reacción en contra de aquella susodicha visión renacentista que entendía a la naturaleza como un ámbito misterioso y oculto al cual no cualquiera podía tener acceso pleno para estudiarla con entera profundidad.

Una de las principales razones de la reacción de esta nueva filosofía mecánica de la naturaleza es la limitación cognoscitiva de las llanas descripciones causales del sentido común aristotélico, por lo que intenta explicar y hacer inteligibles las causas de las cosas en el seno del propio funcionamiento interno de todo fenómeno natural. No obstante, como lo hemos mencionado, al lado de esta

concepción mecanicista coexistirá todavía un tipo de explicación finalista sostenida por algunos filósofos naturales, la cual intentará explicar ciertos fenómenos problemáticos (como la generación y reproducción de seres vivos) en una perspectiva mecánica. Este tipo de explicación teleológica, como veremos en el próximo capítulo, es resultado -en gran medida- de la imbricación de concepciones naturalistas y teológicas que definen a la mayoría de los enfoques filosófico-naturales de la época, en términos de voluntarismo o de racionalismo teológico. Para la gran mayoría de filósofos naturales del siglo diecisiete, el conocimiento y la voluntad de Dios como causa final y absoluta de todas las cosas seguirá siendo un ámbito restringido a la razón humana, el cual sólo puede conocerse de un modo aproximado y mediado por el estudio de las manifestaciones de la obra divina: *los fenómenos naturales*.

En resumen, una de las pretensiones de la filosofía mecánica fue comprender y definir a la naturaleza como un dominio inteligible a la razón humana, donde los efectos naturales fuesen explicados sobre la base de causas eficientes y materiales comprensibles, y donde -en última instancia- su propia materialidad implicaba la referencia indirecta al gobierno y voluntad de la causa primera y absoluta que era Dios. Debido a esto, la meta por alcanzar un conocimiento absolutamente cierto de la estructura de la naturaleza se convirtió en uno de los mayores desafíos epistémicos para los filósofos naturales del siglo diecisiete, pues mientras unos confiaban en obtener la certeza absoluta, otros afirmaban que solamente podía aspirarse al conocimiento probable de los hechos naturales

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ofrecido por las explicaciones mecánicas ². Este desafío tratará de ser solucionado prácticamente, por ejemplo, mediante el tipo de evidencia que pudiesen aportar los resultados obtenidos por la experimentación neumática.

1.2 Algunos Aportes para el Estudio Experimental de la Naturaleza.

Hemos señalado que la concepción mecánica de la naturaleza permitió desarrollar explicaciones que pretendían hacer inteligibles y dar cuenta de los fenómenos naturales para obtener un conocimiento cierto de ellos. Sin embargo, el reto epistemológico que suponía el diseño de tales descripciones mecánicas, implicaba que pudiese contarse con instrumentos suficientemente efectivos y confiables para producir nuevos hechos y, mostrar la viabilidad de las hipótesis empleadas, a fin de lograr un conocimiento cierto de los fenómenos o hechos naturales. Debido a esta exigencia, la experimentación será de suma importancia en los estudios naturales como procedimiento de demostración complementario a la sola visión mecanicista de la naturaleza. La experimentación, particularmente boyleana, se estructura - como procedimiento demostrativo necesario para ciertas explicaciones naturales- con las aportaciones provenientes de, por lo menos, tres tipos muy específicos de práctica: la *iatroquímica*, que intenta de desembarazarse de la influencia astrológica y alquímica explicando los hechos naturales en términos de operaciones mecánicas, la *experimentación baconiana*, que se convierte en nueva filosofía emblemática para una buena parte de los experimentadores de la época, y la *construcción de artefactos*, basada la recuperación de las prácticas artesanales

² La cuestión de los alcances de la explicación mecánica y del carácter probable del conocimiento originado en la experimentación será abordada de manera más amplia en los capítulos 3 y 5 del presente trabajo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

para desarrollar la invención mecánica de los dispositivos utilizados en la observación y manipulación de fenómenos. A continuación presentamos una caracterización de estas tres mínimas aportaciones a los estudios experimentales.

1.2.1 *Mecanicismo, Iatroquímica, y Experimentación.*

Parte del contexto filosófico-mecánico que hemos descrito hasta ahora, nos permitirá entender que durante la primera mitad del siglo diecisiete la investigación químico-médica en la filosofía natural se vio influida por ciertas extensiones y aplicaciones del enfoque mecánico, a pesar de estar fuertemente fincada en concepciones como el *paracelsianismo* y el *helmontismo*. Estas concepciones representaron dos corrientes de suma influencia en la explicación natural, sobre todo, de los fenómenos químicos y de la práctica médica que en conjunto formaban la así llamada *iatroquímica*. En términos generales, la iatroquímica basaba sus supuestos en las enseñanzas del médico suizo Paracelso (1493?-1541), quien sostenía la doctrina de los tres principios (*tria prima*): sal, azufre y mercurio. Éstos eran considerados los componentes elementales de todas las cosas y se pensaba que tenían una correspondencia con los constituyentes ontológicos de todos los cuerpos existentes, a saber: cuerpo, alma y espíritu. Influida profundamente por la alquimia, la iatroquímica paracelsiana consideraba que incluso los propios metales eran compuestos animados (Brooke, 1998: 70).

En una línea semejante, el químico belga Jean-Baptiste van Helmont (1579-1644), considerado por sí mismo como el "último paracelsiano", representó la culminación de los estudios iatroquímicos, en el sentido de que mejoró las observaciones y técnicas de paracelsianas sobre la interpretación de los

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

fenómenos naturales, al grado de rechazar su explicación de la naturaleza sustentada en una interacción de influjos entre el macrocosmos y el microcosmos.

Fue en buena parte debido a esto que la concepción "vitalista" helmontiana se vio enriquecida y rebasó al paracelsianismo, al considerar exclusivamente al agua como la materia prima de todas las cosas, concibiendo a los fenómenos magnéticos como resultado de flujos entre simpatías y antipatías, y comprendiendo a la naturaleza como portadora de una semilla divina que penetraba a todas las cosas, en palabras de John Brooke: "Van Helmont concebía el mundo natural como un sistema de entidades parecidas a semillas, espíritus seminales que penetraban la materia dándole propiedades específicas. De hecho, toda materia tenía dentro de ella una chispa divina de vida. La palabra *gas*, que él acuñó, tenía su origen en esta visión del mundo en la cual la animación de la materia dependía últimamente del papel creativo de Dios" (Brooke, 1998: 72). El término "gas" (ya Paracelso había utilizado el término "caos", y es probable que tenga su origen en él) lo acuñó para nombrar al humo observado después de la combustión, el cual consideró que no era ni aire, ni vapor de agua. Gran parte de su práctica la llevó al cabo con experimentos de combustión, en los cuales analizaba los humos o vapores restantes de cuerpos sólidos o de fluidos sometidos a ciertas cantidades de fuego, realizó ciertas mediciones y cuantificaciones y la determinación de propiedades con el uso de incipientes aparatos como termómetros o barómetros "de aire" diseñados por él. Como resultado de esta actividad experimental, Van Helmont concluirá que el "gas" era un compuesto de materia y espíritu, además de ser la manifestación material, específica, de todo cuerpo individual. Por estos y

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

algunos otros logros, Van Helmont será un químico que Boyle tendrá en muy alta consideración en la fundamentación de su filosofía experimental.

Como trataremos en el capítulo 3, el mecanicismo boyleano coexistirá junto a estas explicaciones químicas donde la materia poseía cierto principio vital interno sin estar sujeta a la voluntad de Dios; de aquí podemos ver que la diferencia entre Boyle y Van Helmont puede explicarse del siguiente modo: “[e]n contraste con el involucramiento del poder de Dios de Van Helmont *dentro* de la materia a través de la agencia de semillas, Boyle deseaba despojar a la naturaleza de todos los poderes inherentes, haciendo a la materia bruta subordinada a la voluntad inmediata de Dios, controlada en sus movimientos por leyes externamente impuestas. En un universo semejante la soberanía de Dios podía celebrarse” (Brooke, 1998: 76). A pesar de esta diferencia, Boyle tuvo en cuenta para su filosofía que “[l]a química no se enfrentaba con la teología, pues Dios era el Autor, no el Espíritu de la creación” (Brooke, 1998: 77). En esta perspectiva, la química como actividad experimental sería entendida por Boyle como una manera a través de la cual el filósofo mecánico tiene y mantiene contacto con la creación divina por medio de causas secundarias (Boyle, 8-1999: 251-252).

En el contexto de las explicaciones mecánicas, la contribución más importante de la iatroquímica al estudio de la naturaleza fue entender el desarrollo de los procesos naturales en términos de operaciones químico-mecánicas, esto significó comprender la “estructura mecánica” de esos fenómenos mediante las actividades mecánico-corpúsculares de las propiedades de sus ingredientes, ya fuesen ácidos, metales o sales.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Estas ideas mecánico-corpúsculares en las explicaciones químicas se basaban en una imagen que se representaba a las operaciones de mezcla o de ebullición realizadas por aquellos compuestos de partículas puntiagudas, las cuales -al actuar- se ensartaban en las partículas planas de otros compuestos que flotaban a su alrededor. Este tipo de descripciones es una muestra de cómo una explicación mecánica de los fenómenos químicos es viable por medio del movimiento material de partículas.

Por otro lado, la influencia que el químico y médico alemán Daniel Sennert (1572-1637) ejerció sobre algunos filósofos naturales, especialmente sobre Boyle, permitió entender y explicar los fenómenos químicos por medio de causas naturales propias, aunque éstas fuesen concebidas por Sennert como "principios seminales", es decir, como "agentes no mecánicos" (Cook, 2001: 138). El riesgo de asumir estos principios seminales era que podían insertarse enfoques teleológicos sobre la materia al otorgar a ciertas fuerzas o formas inherentes la capacidad de producir los cambios naturales. Para Boyle, como sostendremos en el capítulo 2, su explicación de los fenómenos naturales está definida por su aceptación de un corpuscularismo que asume los movimientos de las partículas como operaciones internas efectuadas en el marco de la gran máquina que es la naturaleza, y cuyo movimiento depende, en última instancia, de la agencia de Dios.

Desde nuestro punto de vista, este enfoque mecanicista al comprender las operaciones internas de las cosas por los efectos de sus propiedades observadas, será de suma importancia en la explicación experimental de los fenómenos hidrostáticos y neumáticos, debido a dos razones: porque, por una parte, logra inferirse desde una organización mecánico-corpúscular de la materia, las

operaciones y efectos de los procesos naturales; y por otra parte, el experimentador tendría la capacidad de manipular efectivamente las sustancias materiales con la finalidad de producir un conocimiento natural y reproducir ciertas operaciones naturales de los fenómenos. De este modo, los procesos de separación y combinación de sustancias que suponen la existencia de mecanismos invisibles que producen las diferencias visibles entre las sustancias materiales (compuestos), con base en un determinado orden y arreglo de las partículas o corpúsculos de sus estructuras, hacen posible que el filósofo experimentalista sea capaz de conocer y adiestrarse en las operaciones y manejo de tanto de las sustancias como de los fenómenos naturales. Un caso especial de esto es la experimentación neumática, donde el aire será tratado como un fluido al igual que el agua, y este tratamiento servirá para orientar toda la práctica experimental dedicada a investigar la naturaleza del aire y la posibilidad de crear mecánicamente un vacío en la naturaleza (para más detalles sobre este asunto véase el siguiente capítulo).

Frente a este avance del enfoque mecánico-corpúscular en la iatroquímica, los todavía influyentes procedimientos de la alquimia tradicional en los estudios químico-médicos seguirán constituyendo un gran escollo para el progreso de la nueva filosofía experimental y sus explicaciones mecánicas. Principalmente, debido a la persistente creencia de algunos filósofos naturales (como Boyle o Newton) en sostener la existencia de propiedades ocultas en los fenómenos físicos y químicos, las cuales solamente eran accesibles a algunos adeptos conocedores de los secretos que la naturaleza, y cuya revelación estaba reservada sólo a ellos que eran unos pocos. Así, los practicantes de la alquimia al mantener ocultos los

procedimientos seguidos en sus estudios y operaciones, hicieron poco confiable el conocimiento desarrollado por sus estudios. Incluso entre los propios alquimistas esta poca confibilidad fue motivo de confusión, puesto que cada uno hacía uso de un lenguaje propio con una peculiar simbología inventada para describir sus actividades, situación generada por la efectiva inexistencia de una normatividad metodológica común en los procedimientos de experimentación, explicación y presentación de sus trabajos. La actividad "experimental" del alquimista era, por tanto, arbitraria y dispersa al no poseer criterios compartidos para establecer y adoptar un método único que orientase todas sus prácticas.

Tanto este lenguaje secreto como las prácticas ocultas de la alquimia, son dos aspectos centrales que serán evaluados y sometidos a fuertes críticas por parte de Boyle, quien proclamará que todo estudio experimental de la naturaleza debe ser realizado como una actividad pública y de ninguna manera fundada en procedimientos secretos. Esta exigencia boyleana demandará la adopción de un procedimiento experimental *emblemático* para la nueva filosofía natural: el método baconiano de interpretación e investigación de la naturaleza, del cual hablaremos a continuación.

1.2.2 La Herencia Baconiana: Método y Experimento.

Uno de los emblemas representativos de una buena parte de la filosofía natural de la primera mitad del siglo diecisiete fue la *filosofía de la experimentación* de Francis Bacon (1561-1626) y su herencia metodológica, que los filósofos naturales recibirán no sin modificaciones. Las modificaciones hechas al método baconiano giraron en torno al carácter *exhaustivo* de los estudios naturales. Bacon exigía que

la descripción y la explicación de un fenómeno estuvieran respaldadas por una *historia natural completa* de ese fenómeno, lo cual eventualmente se vería como impracticable en realidad.

A nivel de procedimiento, el desarrollo de una auténtica filosofía natural se basaba en el amplio registro y compilación de hechos sobre la historia natural de cada fenómeno. El objetivo era que dichas historias naturales le proporcionasen al intelecto humano del investigador una amplia base de información para garantizar el conocimiento causal de los fenómenos, tal como lo apunta Rose-Mary Sargent: "Estas historias no eran pensadas como meros catálogos empíricos de hechos acerca de la naturaleza, ni eran para ser confinados a aquellas cosas que serían inmediatamente útiles. Más bien, 'el objeto de la historia natural' era 'dar luz al descubrimiento de causas' "(Sargent, 1995:51). Así, las historias naturales completas son apenas el principio de la investigación, ellas necesitan complementarse con un método válido y confiable que no las abordase mediante abstracciones huecas y apresuradas en el estudio de los hechos físicos.

Tenemos, pues, que para una cierta cantidad de estudiosos de la naturaleza, el método experimental baconiano si bien fue considerado el nuevo modelo instrumental de indagación natural, tuvo que ser sometido a ciertos ajustes y modificaciones. En su método experimental, Bacon consideró que el experimento debería cumplir con las siguientes funciones: reproducir artificialmente los fenómenos naturales, constituir una nueva forma de conocimiento que uniera lo teórico (racional) con lo práctico (empírico), y ayudar a la formación e información de la experiencia del experimentador mediante restricciones observacionales (p.ej., discriminar hechos al momento de hacer un registro de fenómenos -como en el

caso baconiano del calor, el cual se expone más adelante- donde el hecho de que la Luna sea iluminada por el Sol no implica que sea fuente de calor, como pudiera parecer a una mente no educada) para que lo percibido no sea ciegamente aceptado como relevante para la investigación. Ante estas restricciones observacionales debe haber una experiencia instruida, pues con la simple experiencia es muy difícil discriminar entre aquellos datos relevantes -y los que no lo son- para nuestra indagación. Esto servirá para que el método de Bacon abra la posibilidad de llevar al cabo inducciones desde los efectos (hechos particulares) hacia el establecimiento de las causas (principios generales) de los fenómenos. Es preciso señalar que, para Bacon, la meta de la investigación filosófico-natural era descubrir las "formas de las naturalezas simples", entendidas como la explicación de una cualidad secundaria desde el funcionamiento de sus cualidades primarias, esto es, el calor como fenómeno se muestra y se explica por cierto movimiento de la materia (Hesse, 1998: 374).

Ahora bien, para esa búsqueda y descubrimiento de las cualidades primarias relevantes para la "forma" o ley de un fenómeno, el procedimiento baconiano prescribía la realización de inducciones consistentes en hacer inferencias de los efectos a las causas, para esto se tenían que confeccionar tres "tablas" de registro, las llamadas *tablas baconianas*, donde se diera cuenta de los casos en que el fenómeno se manifieste (*tabla de esencia y presencia*), de los casos en que él no se presente (*tabla de ausencia*), y de los casos en que se muestre sus diferentes grados de presencia o ausencia (*tabla de grados de comparación*). Este procedimiento de registro utiliza un método de inclusión y

exclusión para las instancias de un fenómeno que le permite determinar qué casos son relevantes y cuáles no para el establecimiento de la "forma" del fenómeno. Su estudio del fenómeno del calor expuesto en su *Novum Organum* (1620) es una muestra de ello: primero, se inscriben los fenómenos donde haya una perceptible presencia del calor manifiesta en una flama, en los rayos del sol, en el agua ebullo, en el calor del cuerpo humano, y en todos aquellos casos donde el calor esté presente; después, la correspondencia con los casos donde el calor esté ausente o resulte sólo aparente como en la fosforescencia, el brillo de la luna, el agua fría o la temperatura de un cadáver; y finalmente, la confrontación de ambos registros para discriminar entre cuáles casos no son relevantes y cuáles sí, y con ello establecer la "forma simple" o ley de ese fenómeno.

Es pertinente mencionar aquí que este procedimiento baconiano difiere de una simple enumeración de sólo los casos positivos, con la cual frecuente y equivocadamente se le identifica a Bacon (Hesse, 1998: 375). En este sentido, la elaboración de las tablas es muestra del papel activo que jugamos en la determinación de los casos que nos permiten establecer una ley natural, cumpliendo con la exigencia de Bacon para cuestionar y manejar a la naturaleza mediante el diseño y la realización de experimentos.

Una vez inferidas y establecidas las "formas" de un fenómeno, éstas nos permitirán ascender por aquello que Bacon llama una "escalera de axiomas" con la finalidad de construir un sistema completo de filosofía natural donde estén unificadas todas esas "formas". Su idea es que un pequeño número de axiomas generales garanticen nuestras inferencias para explicar un fenómeno; pero ello no significa que una vez establecidos los axiomas podamos realizar una deducción o

“anticipación de la naturaleza” para explicar los demás casos que pudiesen presentarse. A este respecto, Bacon exige que debiera complementarse y auxiliarse con la realización de experimentos para efectuar una inferencia inductiva apropiada.

Para Bacon, el experimento -además de tener ese papel de auxiliar en el estudio de la naturaleza- no es sólo un diseño mecánicamente elaborado cuya aplicación automáticamente nos conduzca a un resultado deseado, sino que -como ya se afirmó antes- el experimento mismo se presenta como una restricción que disciplina a nuestra agencia racional en el estudio de la naturaleza, debido a que su práctica obedece a no aceptar cualquier dato procedente de nuestra experiencia. De este modo, el experimento tiene que verse como un dispositivo racional e instrumentalmente diseñado que contribuye a la investigación de los fenómenos naturales en el descubrimiento de sus causas y en el establecimiento de sus axiomas; por esto, el lema de Bacon es muy claro: “Conocimiento verdadero es conocimiento de causas” (Dijksterhuis, 1969: 397).

A pesar de tener esta herencia del procedimiento experimental baconiano, y podemos afirmar que en razón de ello, la filosofía natural de mediados del siglo diecisiete se caracterizó por su diversidad en las prácticas experimentales, lo cual -desde nuestro punto de vista- es una muestra clara de que el proceso de investigación de los fenómenos naturales era mucho más complicado del modo como Francis Bacon lo había planteado, pues se mostró como un procedimiento inductivo que requería de algo más que estar sólo fundado empíricamente en una simple enumeración de casos.

1.2.3 Construcción y Uso de Dispositivos Experimentales.

Una parte importante de la experimentación que la filosofía natural desarrolló a mediados del siglo diecisiete, requirió cada vez más del auxilio de artefactos e instrumentos que le permitieran comprobar empíricamente sus explicaciones sobre el curso de la naturaleza, además de proporcionarle evidencia suficiente, tanto para sustentar sus propias hipótesis como para comprobar la utilidad y eficiencia de los dispositivos experimentales utilizados en la investigación natural, los cuales se perfeccionarían conforme la práctica experimental avanzaba. Un ejemplo de esto lo constituye la experimentación neumática.

La búsqueda de evidencia empírica suficiente y aceptable sobre la cual apoyar sus hipótesis y explicaciones mecánicas, condujo a una parte de los filósofos naturales a realizar observaciones mediante instrumentos y, a otra, a construir aparatos y máquinas para efectuar experimentos. En cualquier caso, la construcción, diseño, y manejo de artefactos (telescopios, bombas, microscopios, etc.) para investigar la naturaleza contribuyeron tanto a magnificar y poner frente a nuestros ojos ciertos aspectos, como a (re)producir *artificialmente* los efectos de ciertos fenómenos naturales con el objetivo de conocer sus causas, estructura y funcionamiento. Con este empleo de instrumentos, la filosofía natural mecánica posibilitó, por un lado, que la ampliación de la experiencia observacional de los fenómenos –por ejemplo, mediante el telescopio y el microscopio- permitiese penetrar en aquellos aspectos desconocidos debido a las limitaciones propias de los sentidos humanos, y por otro, que aumentase también la capacidad humana para el manejo y replicación de las condiciones de ciertos fenómenos –por ejemplo, mediante el barómetro, el sifón y la bomba de vacío- para lograr un mayor

y más efectivo control sobre ellos, con la consiguiente comprensión de su estructura y funcionamiento.

Esto fue muy claro tanto en las investigaciones astronómicas, donde el telescopio fue un gran aliado en las observaciones de los movimientos siderales, como en las investigaciones médicas y químicas donde el microscopio era el principal instrumento; así como también en los estudios experimentales de tipo mecánico donde los aparatos como el barómetro y la bomba de vacío harán posible el análisis de otros aspectos fenoménicos (como los neumáticos) de la naturaleza.

Durante la primera mitad del siglo diecisiete, entre la comunidad de filósofos naturales ingleses, esta instrumentación observacional y experimental en el estudio de los fenómenos físicos generó, como hemos venido diciendo, diversas críticas que cuestionaban la entera confiabilidad y efectividad de dichos instrumentos como herramientas eficaces para la observación y la experimentación de la naturaleza, lo cual planteó una serie de problemas tanto técnicos como epistémicos que los filósofos naturales debían resolver.

Entre algunos de esos problemas planteados a esta nueva filosofía natural experimental estaban, según mi opinión, los siguientes: (a) qué tanto influye la agencia humana, al producir o reproducir la evidencia observacional y experimental, en el establecimiento de la objetividad y legitimidad del conocimiento resultante; (b) hasta qué punto los instrumentos de observación y medición son exactos para ofrecer una información confiable, o sólo pueden ofrecernos una información sesgada; y (c) hasta qué grado el manejo de agentes naturales -como el agua, el aire o las sustancias químicas- manipulados en tubos de vidrio,

alambiques o bombas, adquieren modificaciones provocadas accidentalmente en su carácter natural.

Como podemos ver, esta serie de dificultades indica que la observación con instrumentos y la experimentación, como partes del estudio de un fenómeno, están mediadas por la propia acción del observador y del experimentador, apoyadas en la ayuda que le proporcionan los instrumentos en sus indagaciones sobre fenómenos naturales, algunos de los cuales plantean la imposibilidad de ser investigados de modo directo , p.ej., la formación de minerales en el fondo de la tierra, o la formación de los humores en el cuerpo humano. Frente a problemas de investigación como éste, los estudios naturales exigirán siempre que las observaciones y las prácticas experimentales se desarrollen cada vez más. En efecto, de esto dependerá que tanto la observación como la experimentación en la investigación filosófico-natural, contribuyan a ensanchar el limitado alcance de las simples observaciones en la naturaleza y a penetrar en su estructura más íntima, como se enfatiza más adelante en los capítulos 4 y 5 de este trabajo.

Capítulo 2: Filosofía Natural y Experimentación Pneumática a Medios del Siglo Diecisiete.

2.0 Introducción.

De entre las prácticas experimentales que a mediados del siglo diecisiete se vieron en la imperiosa necesidad de inventar, diseñar y mejorar artefactos con los cuales el procedimiento experimental se refinara y ofreciera suficiente apoyo empírico y una solución práctica a sus explicaciones, destaca señaladamente la *experimentación pneumática*. Este tipo de experimentación representa un importante modelo de investigación dentro de la filosofía experimental de mediados del siglo diecisiete, que se verá desafiado para diseñar, construir y mejorar - material y técnicamente- los principales dispositivos pneumáticos empleados en su práctica a lo largo de su historia, a saber: el sifón, la bomba de agua, el barómetro y la bomba de vacío.

Para dar cuenta de cómo logra estructurarse específicamente esta experimentación pneumática, en la primera y segunda secciones de este capítulo - revisando históricamente algunos de los antecedentes filosóficos de la pneumática y explicando los experimentos pneumáticos más significativos (Galileo, Torricelli y Pascal)- sostengo que la experimentación pneumática llega a ser una práctica experimental importante debido a que: (1) se auxilió de las explicaciones mecánicas para fundamentar y diseñar sus explicaciones con un lenguaje propio; (2) la propia naturaleza de sus investigaciones, requirió del desarrollo de dispositivos experimentales -técnica y operativamente complicados- que

permitiesen el manejo experto de ciertos fenómenos neumáticos (como el vacío) con aparatos e instrumentos experimentales; (3) el aire fue considerado por ella como un fluido igual que el agua; (4) es obligada a perfeccionar material y operativamente sus artefactos experimentales claves como el sifón, el barómetro, la bomba de agua y la bomba de aire o de vacío; y (5) inicia la incorporación de sus propias mediciones y cálculos matemáticos para tratar de entender las condiciones regulares y variables de los fenómenos neumáticos.

Finalmente, en la tercera parte, exponemos por qué la experimentación neumática del siglo diecisiete no estuvo exenta de *tensiones y dificultades epistémicas* al ver cuestionado el carácter epistemológico de sus procedimientos por miembros de la comunidad filosófica inglesa (como Thomas Hobbes), esto se refiere: al desafío epistémico que enfrentó como procedimiento experimental en la obtención de un conocimiento confiablemente cierto sobre los fenómenos naturales; a la efectividad operativa de sus dispositivos experimentales usados para generar y aportar suficiente evidencia aceptable a las hipótesis acerca de la estructura causal de los fenómenos neumáticos; y a las propuestas de solución de las controversias ontológicas y epistémicas de las explicaciones sobre la naturaleza y propiedades del aire y sobre la posible existencia y producción del vacío. Con base en esto, concluimos que la experimentación neumática, en su afán por ofrecer explicaciones filosófico-naturales inteligibles, es uno de los esfuerzos más importantes por presentar soluciones viables a las controversias experimentales en su campo, aportando evidencia empírica (suficiente, relevante y aceptable) procedente del manejo y perfeccionamiento técnico-operativo de sus dispositivos experimentales. Con ello pretendemos mostrar que, de todas las

prácticas experimentales de la época, la experimentación neumática desarrolla gran parte de las bases materiales, técnicas y metodológicas para la experimentación de mediados del siglo diecisiete. Un ejemplo, entre otros, es la experimentación neumática de Boyle.

2.1 Antecedentes de la Experimentación Neumática en la Filosofía Natural.

A partir de la tercera década del siglo diecisiete, una buena parte de los estudios experimentales de la filosofía natural se encaminaron por el sendero de la investigación neumática, caracterizada por su particular enfoque mecánico-hidroestático acerca de la naturaleza del aire (su peso y su fuerza elástica), principalmente en fenómenos como la cohesión y el vacío. Fue la consideración del aire como un fluido lo que permitió que estos fenómenos aerostáticos fuesen tratados como fenómenos hidroestáticos puesto que "la hidroestática era entonces tratada como un caso particular de una estática general de fluidos, la cual podía también incluir fenómenos aerostáticos" (Dijksterhuis, 1969: 388).

Bajo esta premisa, como lo trataremos a lo largo de esta sección, los experimentos neumáticos -debido a la naturaleza propia de sus estudios- desarrollaron algunos de los artefactos más complicados (hasta entonces) que permitieron manipular ciertos fenómenos la exigencia y el requisito de un manejo experto de los instrumentos. Este desarrollo corrió a cargo, básicamente, de la práctica experimental de filósofos naturales como Galileo, Baliani, Torricelli y Pascal, Beeckman, Mersenne y von Guericke como antecedentes modernos, y fue continuado y perfeccionado por las actividades de Hooke y Boyle, entre otros.

2.1.1 Los Estudios Pneumáticos antes del Siglo Diecisiete.

Los antecedentes de la investigación pneumática preocupada por conocer la naturaleza del aire como elemento físico y la posibilidad de la existencia de un vacío en la naturaleza, los podemos rastrear hasta los orígenes mismos de la reflexión filosófico-natural del pensamiento griego. Las diversas especulaciones presocráticas que concebían al mundo físico y a sus procesos naturales gobernados bajo un principio (*arjé*) elemental, como el aire en el caso de Anaxímenes (586-525 a.n.e.) o cuatro elementos (fuego, tierra, aire y agua) en el caso de Empédocles de Akragas (aprox. 492-432 a.n.e.), la concepción atomista (siglos V y IV a.n.e.) de la naturaleza y su afirmación del movimiento de los átomos en el vacío, la filosofía aristotélica que asume la necesaria plenitud del mundo y su consiguiente negación del vacío, más la "experimentación" mecánica e hidrostática de Arquímedes de Siracusa (287-212 a.n.e.), junto a los incipientes diseños de artefactos mecánicos de Filón de Bizancio (siglo III a.n.e.) y de Herón de Alejandría (siglo I a.n.e.), todos ellos constituyen los antecedentes históricos más relevantes de los estudios pneumáticos que se desarrollaron durante el siglo diecisiete.

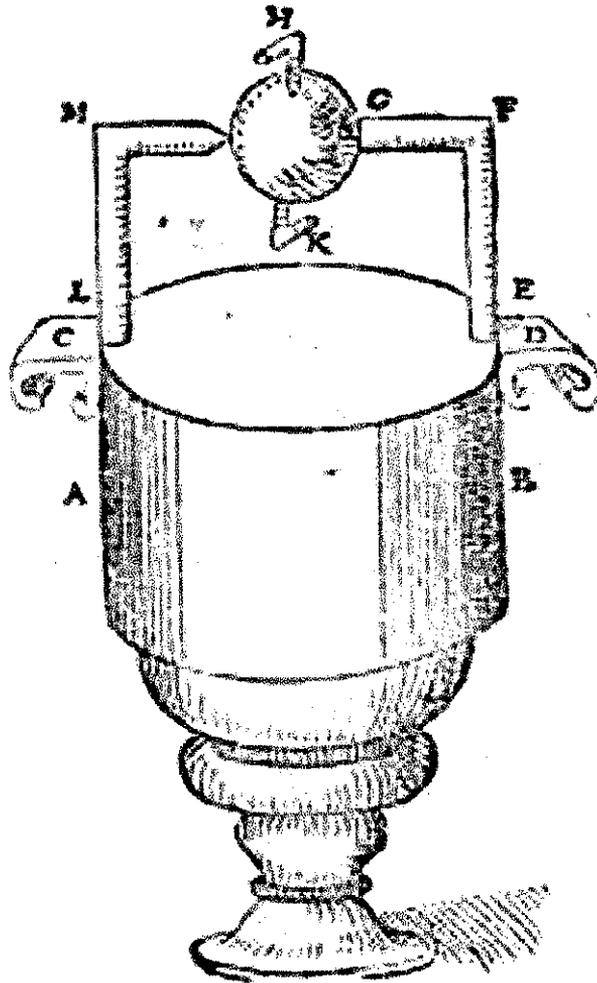
Los procesos de condensación y rarefacción del aire mediante los cuales Anaxímenes intentó comprender la naturaleza y constitución de las cosas, así como la propuesta de explicar la constitución de ellas a partir no sólo de uno sino de cuatro elementos en el caso de Empédocles, nos permite ubicar en esta primigenia especulación filosófica el antecedente filosófico más remoto de lo que podría ser considerada una investigación pneumática. Será la filosofía aristotélica la que primeramente otorgue al aire, como uno de los cuatro elementos compositivos de las cosas, la cualidad de poseer peso.



Pero, sin duda, un antecedente clásico relevante para la experimentación neumática, en lo que se refiere a una explicación más precisa de las cualidades del aire, es la obra de Herón de Alejandría titulada *Pneumatica*, cuya primera traducción latina apareció hasta el año de 1575. En esta obra Herón presenta para el aire tanto "argumentos teóricos a favor de su estructura atómica y la presencia de vacíos entremezclados, así como también instrucciones precisas sobre cómo construir ciertos intrincados dispositivos movidos ya sea por aire o por agua" (Jenkins, 2000: 511). Destaca de entre estos dispositivos la que podría considerarse, guardadas las distancias, como una incipiente "máquina de vapor" o *eolípila* (ver *Figura 1*), artefacto construido por Herón que consistía de un recipiente esférico de latón -con un par de tubos salientes en cada extremo superior e inferior- que contiene agua, la cual al calentarse, ebulle generando vapor de agua que, al salir por los tubos hace girar a la esfera de latón (véase en el capítulo 5 la descripción de Boyle). Sin embargo, este dispositivo no tuvo ningún uso experimental y quedó para la posteridad como un mero juguete curioso.

Durante la época medieval se reconocía la naturaleza corpórea del aire y el vacío fue siempre una cuestión controvertida. Los fenómenos neumáticos con el sifón, la pipeta, la clepsidra y las ventosas médicas (ver *Figuras 2 y 3*) se explicaba que eran producidos por la presión del aire. Por ejemplo, Alberto Magno (ca. 1200-1280) los explicaba mediante el *horror vacui*: el agua permanece en la clepsidra (un instrumento para medir el tiempo que funcionaba por un principio similar al del reloj de arena, sólo que éste contenía agua) dejando un vacío detrás suyo; o Roger Bacon (ca. 1214-1292) los explicaba por el mantenimiento y permanencia

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



ipfa

Figura 1. La "máquina de Herón" o *aeolipila*, considerada uno de los primeros artefactos neumáticos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA LE ORIGEN

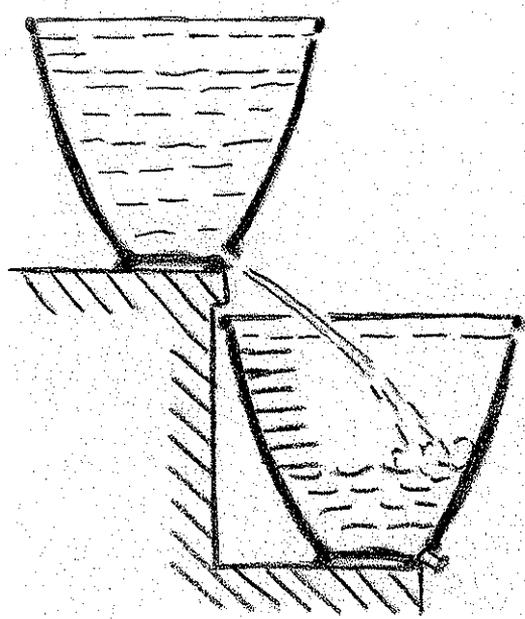


Fig. 2 Versión simple de clepsidra

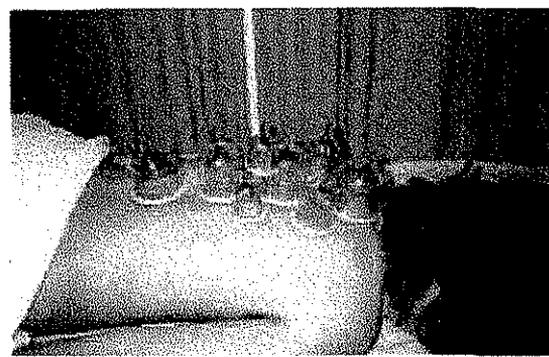


Fig. 3 Ventosas: aplicación terapéutica del vacío.

del orden natural: el agua no sale porque preserva "la continuidad entre todas las partes del universo" (*Ibidem*).

A inicios del siglo diecisiete, las especulaciones en torno a por qué el agua nunca se eleva más de 30 pies en una bomba de agua, explicaban todavía este fenómeno por medio del *horror vacui* de la naturaleza. Tenemos que hacia 1638, Galileo sostenía en su *Discurso sobre Dos Nuevas Ciencias* que la altura alcanzada por el agua se debía a un equilibrio entre la fuerza ejercida por el peso (o presión) del aire circundante y el propio peso del agua (Galileo, 2000: 16). En Italia, este tipo de experimentos neumáticos de Galileo fueron continuados por el patricio genovés Giovanni Battista Baliani (1582-1666), en cuyas conclusiones - resultado de sus propios experimentos con sifones a grandes altitudes- afirmaba que el aire tiene peso y creía -como lo explica Jenkins en su trabajo- que "el peso del aire disminuía en tanto la elevación se incrementaba" (Jenkins, 2000: 511). Aunque, como hemos dicho, desde Aristóteles se sostenía que el aire poseía un peso, Baliani fue quien -en palabras de Jenkins- "por primera vez, vinculó el peso del aire con la no ocurrencia del vacío" (*Ibidem*), sosteniendo que el *horror vacui* no es una característica propia de la naturaleza, sino que el peso del aire evita la formación de espacios vacíos.

Como lo hemos señalado, Baliani arribó a esta conclusión experimental a través del manejo que realizó con sifones a diferentes alturas donde observó que a mayor altura el agua era incapaz de salir, cosa que sí ocurría a alturas menores, porque -según lo expone Jenkins- "[l]a presión más baja, o más débil, del aire a altitudes superiores no podía soportar una columna de agua a la misma altura

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

como lo podía a elevaciones más bajas cuando su peso, o presión, ejercía una fuerza más grande” (*Ibidem*).

Otra explicación de por qué la presión del aire era mayor a bajas alturas, la proporcionó el estudioso holandés Isaac Beeckman (1588-1637) sosteniendo que el aire tenía peso y elasticidad, y era comprimible. Su explicación consistía en comparar “el aire que circunda a la tierra con una esponja gigante que estaba más comprimida en sus estratos más bajos a causa de su naturaleza elástica” (*Ibidem*). Es preciso recordar que serán Isaac Beeckman y Giovanni Battista Baliani quienes atribuyan a la presión atmosférica el fenómeno presentado en las bombas de agua de cómo “a partir de una determinada altura el agua podía ser extraída por succión” (Crombie y Hoskin, 1979: 107), pero será Torricelli quien lo pruebe con un fluido más pesado como el mercurio para ver si la presión atmosférica es determinante en semejante fenómeno.

Hacia 1643 la necesidad de contrastar experimentalmente la teoría de la presión del aire obligó al desarrollo de uno de los dispositivos neumáticos más importantes de la época: el *barómetro*. Su versión original consistía en un largo tubo de vidrio colocado verticalmente con un bulbo (o “burbuja”) y una válvula en la parte superior, se llenaba de agua y luego se sumergía en un recipiente también lleno de agua; de este modo, al abrir la válvula, el nivel del agua en el tubo descendía hasta sostenerse en aproximadamente 30 o 31 pies de altura (Jenkins, 2000: 512).

Los primeros experimentos llevados al cabo con este nuevo dispositivo fueron realizados por el italiano Gasparo Berti (ca. 1600-1643), cuyo principal objetivo estaba encaminado a explicar cuál era la naturaleza del espacio

aparentemente vacío que quedaba por encima del agua en el tubo después de que ésta descendía. Por ese entonces, Galileo había afirmado que en el fenómeno de la cohesión existían ciertos “vacíos entremezclados” en el aire, y lo explicaba de este modo: “puesto que una línea podía dividirse infinitamente, así un cuerpo podía dividirse en átomos, circundados por el espacio vacío” (*Ibidem*). Pero será uno de sus discípulos, Evangelista Torricelli (1608-1647), quien -al refinar técnicamente el barómetro como instrumento experimental- muestre la viabilidad de la hipótesis galileana de que el peso de la atmósfera explicaba la permanente altura de la columna de agua en el tubo. Con base en esta hipótesis, sus estudios sobre la naturaleza del aire, realizados en junio de 1644 en Florencia, lo llevaron a plantear su hipótesis de que “un fluido más pesado que el agua no podía mantenerse al mismo nivel” y a realizar su conocido experimento para demostrarla. Este experimento (ver *Figura 4*) consistía en llenar un tubo de vidrio con mercurio (metal líquido mucho más denso que el agua), después de esto se invertía en un recipiente igualmente lleno de mercurio, para observar que el nivel del mercurio en el tubo descendía hasta aproximadamente veintinueve pulgadas. La explicación que dio fue: que la altura de la columna de mercurio obedecía a la presión o peso del aire atmosférico, considerado como una fuerza externa, en vez de que fuese causada por algún principio interno de la materia. Con esto, su hipótesis se corroboraba: un líquido o fluido más pesado que el agua se mantenía a un nivel más bajo; y fue algo secundario para él, explicar ese hecho mediante la fuerza ejercida por el peso del aire exterior (Jenkins, 2000: 512 y en Pascal, 1988:200-201).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

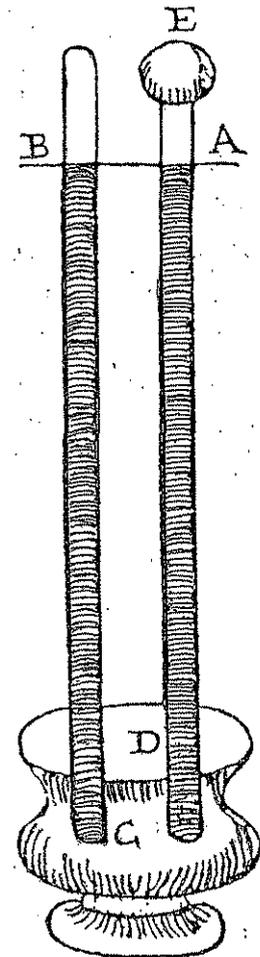


Figura 4. Experimento de Torricelli en dos versiones operativas: una simple (derecha), y otra más complicada (izquierda).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

65-a

De cualquier modo, lo más importante de la explicación de Torricelli fue que socavó el esquema aristotélico que afirmaba que el líquido se mantenía en esa altura debido a causas teleológicas o animistas, como lo señala en una carta a Michelangelo Ricci (1619-1682) donde afirma que se logra un equilibrio entre fluidos debido al peso del aire y al peso del líquido.

Esta conclusión permitió que el experimento torricelliano se convirtiera en uno de los ejemplares experimentales más importantes en la investigación neumática de mediados del siglo diecisiete, como veremos más adelante. A tal punto que ya para 1645 y 1651 (en Francia) Marin Mersenne, Blaise Pascal, Pierre Petit, Gilles Personne de Roberval, Etienne Noël y Jean Pecquet habían llevado a cabo varios experimentos con el aparato torricelliano, como veremos a continuación.

Luego de la experiencia torricelliana, las noticias acerca de su realización llegaron a Francia a través de Marin Mersenne (1588-1648) a principios del año de 1645, y ya para 1646 su reproducción la estaban efectuando el propio Mersenne, Etienne Pascal (padre de Blaise), Noël, Roberval y Blaise Pascal. Cabe señalar que cuando el experimento torricelliano fue llevado al cabo por el matemático y astrónomo Pierre Petit (ca. 1598-1677) para Blaise Pascal y su padre, encontró que una de las principales dificultades era la carencia de un tipo de vidrio adecuado para realizarlo óptimamente. La explicación que Pascal dio en esa ocasión acerca del experimento fue que "la columna de mercurio se mantenía arriba por un limitado horror al vacío, puesto que él sostenía el supuesto subyacente de que los cuerpos se esfuerzan por mantenerse en contacto uno con

otro” (Pascal, 1988: 44-45 y Jenkins, 2000: 512). Después su explicación la presentaría con base en la presión del aire, como veremos a continuación.

Para 1647, Pascal había ya realizado sus propios experimentos, publicando sus resultados en su obra titulada *Expériences nouvelles touchant le vide*, donde aceptaba que el aire posee peso, y donde proponía la siguiente hipótesis o conjetura: la altura del mercurio será mayor a nivel del mar, y disminuirá o caerá a medida que ascendamos a partes más altas de la atmósfera. Para corroborar esta hipótesis, Pascal efectuó el famoso experimento de Puy-de-Dôme de 1648 (ver Figura 5), o como él mismo lo llamó, “el gran experimento del equilibrio de los líquidos” (Pascal, 1988: 107). Con este experimento se observó primero que la columna de mercurio descendía al ascender por la montaña, ello debido al descenso de la presión atmosférica; luego en otros experimentos sucedáneos, Pascal apoyó la explicación de que la causa del comportamiento del mercurio en el tubo obedecía al peso y a la presión del aire.

Pero será de entre todos esos experimentos pascalianos el llamado “experimento del vacío en el vacío”, el que llame nuestra atención como un antecedente experimental importante en la investigación neumática para el Experimento 17 de Boyle, el cual es analizado con detenimiento en nuestro capítulo 6. Este experimento pascaliano es descrito por Jane Jenkins del siguiente modo: “se colocó un tubo barométrico en una cámara grande en la parte más alta de otro tubo más largo llenado con mercurio. Cuando al mercurio en éste último, controlado por una válvula, le fue permitido caer más abajo del nivel del dispositivo encerrado, el aire admitido por grados en la cámara en su parte más alta produjo

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

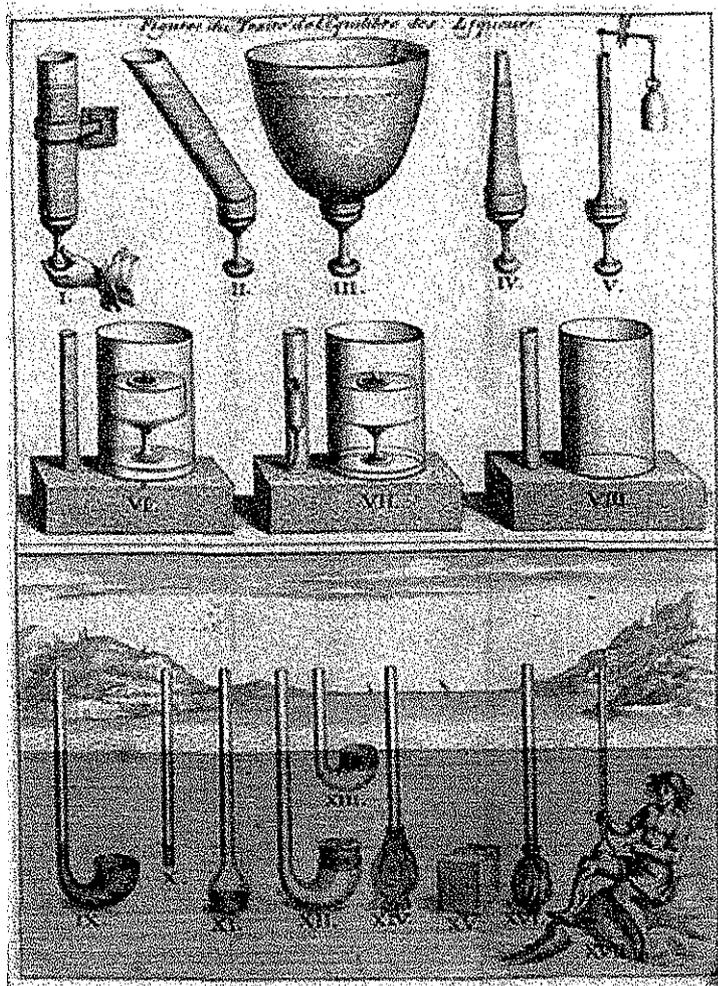


Figura 5. Ilustración de los tratados de pneumática de Pascal que muestra una referencia al experimento de Puy-de-Dôme (abajo) y algunos instrumentos (arriba) utilizados por él en sus estudios sobre el equilibrio de los líquidos.

una elevación correspondiente del mercurio en el barómetro interior" (Jenkins, 2000: 512 / Pascal, 1988: 170-171).

Mientras esto sucedía en Francia, en Inglaterra las noticias sobre el experimento de Torricelli habían sido difundidas por el corresponsal inglés de Mersenne, el estudioso alemán Theodore Haak (1605-1690), quien hacia 1648 ya le había reportado a Mersenne su propia realización del experimento en dos o tres veces, y que esto había llamado la atención de varios colegas suyos, entre los que se encontraba Samuel Hartlib (ca. 1600-1662). Será precisamente Hartlib quien informe a Robert Boyle en la primavera de 1648 acerca de los experimentos neumáticos hechos en el continente, los cuales también le habían sido referidos por un exiliado inglés, Charles Cavendish. Cabe señalar que el experimento torricelliano presentó la oportunidad para algunos de los miembros de la Royal Society como Boyle y Hooke, vieran en él la posibilidad fáctica y operativa de confrontar las tradicionales creencias sostenidas durante largo tiempo referentes al papel del aire, tanto en el mantenimiento de una flama, como en la transmisión del sonido, o en los efectos presentados por los fenómenos magnéticos.

Para mediados de la década siguiente, la experimentación neumática se vería ampliamente beneficiada con los ensayos realizados por Otto von Guericke (1602-1686) en Magdeburgo. Él es considerado el diseñador y constructor de la incipiente versión de la bomba de vacío a partir de su trabajo con bombas de agua y de su experimento de las semiesferas metálicas (véase más adelante su descripción). A pesar de que tanto el barómetro de Torricelli como los dispositivos tubulares de Pascal se habían convertido en los instrumentos básicos para la experimentación neumática en el siglo diecisiete, será la bomba de aire o *bomba*

de vacío, la que se defina como uno de los dispositivos experimentales por excelencia de la época, sobre todo en la determinación de la presión atmosférica como causa de los fenómenos neumáticos.

El referido experimento de las semiesferas metálicas, mejor conocido como *el experimento de Magdeburgo* (ver *Figura 6*), fue uno de los que realmente impulsó el mejoramiento técnico-instrumental de la investigación neumática a partir del fenómeno de la cohesión (que constituyó una versión neumática más elaborada de la cohesión) el cual tradicionalmente se había realizado con un par de discos de vidrio o de mármol unidos fuertemente entre ellos. Ahora el experimento de Von Guericke consistía en sujetar con unas abrazaderas dos semiesferas que formaban un gran globo de latón y que, después de extraerle el aire, eran haladas en direcciones opuestas por dos grupos de ocho caballos cada uno, observando su incapacidad para separar las dos semiesferas. Esta experiencia constituyó para Von Guericke una prueba más clara para corroborar que el fenómeno del vacío obedecía a la presión atmosférica y no al horror de la naturaleza al vacío.

El señalado perfeccionamiento técnico de las bombas de agua por Von Guericke no fue de todo completo. Sería Robert Boyle, con la importantísima y no plenamente reconocida ayuda de Robert Hooke y de Ralph Greatorex, quien logre diseñar y construir una bomba de vacío neumáticamente más eficiente para llevar al cabo, entre 1659 y 1660, sus cuarenta y tres experimentos sobre el peso, la fuerza elástica y la presión del aire. Varias fueron las versiones modificadas y mejoradas de la bomba de vacío (tres, por lo menos, véanse *Figuras 8, 9 y 10*) debido a las exigencias de obtener resultados y evidencias experimentales más

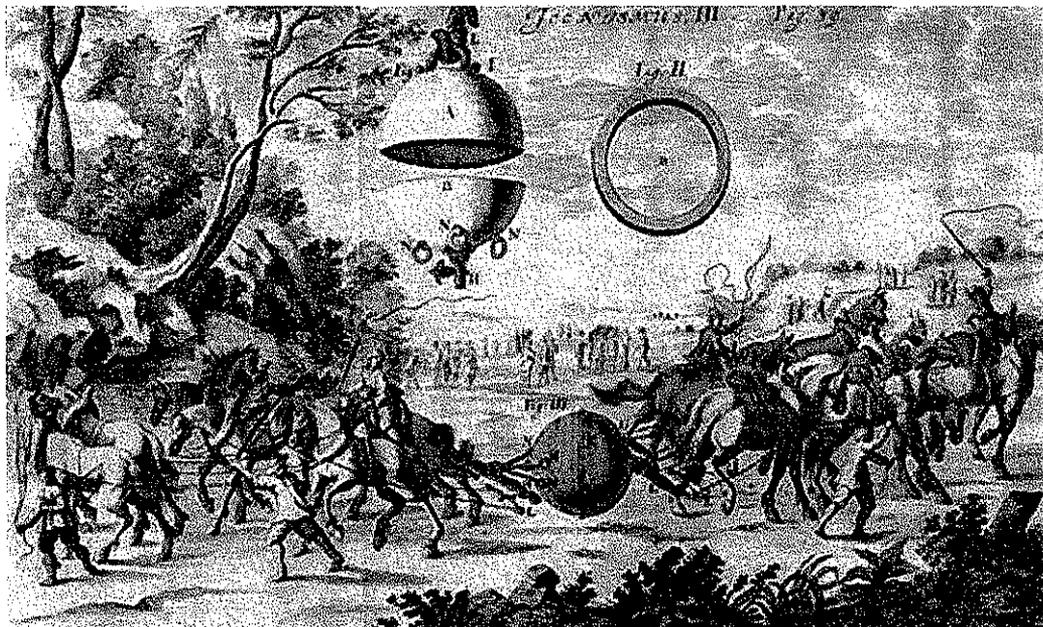


Figura 6. Experimento de Magdeburg realizado por Otto von Guericke para mostrar el vacío.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ciertos y confiables. La conclusión más importante de Boyle en esta serie de experimentos, fue que hay una relación entre el peso, la presión y el volumen del aire que explica los fenómenos neumáticos, y que permite emprender y comprender mecánicamente la producción de un vacío a nivel terrestre. En los capítulos siguientes de este trabajo, veremos el camino que siguió la experimentación neumática boyleana que la llevará a establecer -en 1662- lo que se conoce comúnmente como la "ley de Boyle", la cual enuncia que la relación entre el peso y el volumen del aire (luego se aplicará a todo gas) es inversamente proporcional entre ellos (véase el capítulo 7).

Por otro lado, los experimentos boyleanos pusieron a la orden del día las discusiones y debates no sólo en torno a la naturaleza del aire, sino la vieja y tradicional disputa ya referida anteriormente, acerca de la naturaleza del espacio aparentemente vacío sobre la columna de mercurio en el experimento torricelliano. Varios filósofos naturales preocupados por este asunto, se interesaron por la explicación de Boyle, entre ellos destacan el holandés Christiaan Huygens (1625-1695) y los filósofos florentinos de la *Accademia del Cimento*, preocupados éstos sobre todo por el peso del aire; y otros que, como los ingleses Franciscus Linus (1595-1675) y Thomas Hobbes (1588-1679), más bien cuestionaron la validez epistémica y ontológica de los resultados experimentales del llamado *vacío boyleano*, tal como lo analizaremos en el capítulo 7.

Precisamente, los cuestionamientos de Linus y Hobbes nos permiten apreciar los alcances experimentales de la bomba de vacío en, básicamente, dos aspectos de su utilización: (1) haciéndonos eco de lo que señala Jenkins, la bomba sirvió no sólo para eliminar los argumentos esgrimidos en contra de la existencia o

no del vacío, sino también para mostrar experimentalmente el papel mecánico del aire; y (2) la bomba de vacío fue el aparato experimental usado para la publicidad de la *Royal Society*, al ser utilizada como aparato de exhibición (y de diversión) para políticos y grandes personajes nacionales y extranjeros que visitaban la corte de Charles II (Jenkins, 2000: 513). Lo más importante para la tradición experimental neumática fue que la bomba de vacío no llegó a convertirse en un juguete más, como había sucedido con la *eolipila* de Herón.

Es preciso señalar, además, que la experimentación neumática boyleana como modelo de experimentación sirvió también para impulsar -sobre todo, en las últimas tres décadas del siglo diecisiete- los estudios médicos acerca del papel que juega el aire en la respiración animal y humana, junto a los de la sangre y su transfusión. Un ejemplo de esto, es el experimento realizado por Robert Hooke el 23 de marzo de 1671, donde él mismo se sometió -como objeto experimental- a las condiciones de extracción del aire en una gran cámara, de la cual fue extraída una cuarta parte del aire total, Hooke que permaneció sentado por quince minutos en el interior, después de extraer el aire sólo sintió un dolor de oídos (Jenkins, 2000: 514). Hacia 1679, el médico inglés John Mayow (1641-1679) mostraría que el aire es necesario para la combustión y para la respiración, lo cual ya había sido conjeturado tanto por Boyle como por Hooke; pero no será sino hasta mediados del siglo dieciocho que se reconozca al aire como un compuesto y no como un elemento.

2.2. La Experimentación Neumática de Galileo, Torricelli y Pascal.

Como hemos mencionado en la sección anterior, una de las principales preguntas de la investigación neumática se refería a la naturaleza del aire y a la posibilidad

de existencia y producción del vacío, investigación que encontramos experimentalmente definida, sobre todo, en los trabajos de Galileo, Torricelli y Pascal. Cabe decir, además, que esta experimentación neumática incorporó paulatinamente ciertas mediciones y cálculos matemáticos para reforzar y ofrecer explicaciones más precisas de aquellos factores cuantitativos relevantes en la comprensión de las condiciones variables de un fenómeno. Desde mi punto de vista, con estas mediciones experimentales en neumática inicia el registro de una cierta relación matemática de las regularidades y variaciones sufridas por los fenómenos del aire y del vacío en su proceso natural (Boyle, 3-1999: 62-64). Como veremos en lo que sigue, será la actividad experimental neumática de Galileo, Torricelli, Von Guericke, Pascal y Boyle, la encargada de llevar al cabo tanto el mejoramiento material y técnico de los dispositivos experimentales, así como de iniciar los cálculos, registros y mediciones en dichos experimentos.

En el caso de Galileo encontramos que sus estudios neumáticos arrojaron como resultado lo que él llama "la resistencia del vacío" (*resistenza del vacuo*), para lo cual se sirvió del fenómeno de la cohesión y de su experimento con un cilindro y un pistón. Esta conclusión la presentó en su descripción del fenómeno de la cohesión explicando, en palabras de Dijksterhuis, que "una viga de madera, una barra de metal y una columna de mármol, cuando se colocan verticalmente, pueden cargarse con un peso dado y consecuentemente pueden resistir una tensión dada. El peso suspendido, sin embargo, puede ser tan grande que son arrojados aparte. ¿Cuál es el agente adhesivo que al principio conservó las partes juntas, pero que al final separó?...[La respuesta es:] la famosa resistencia de la naturaleza a la formación de un vacío" (Dijksterhuis, 1969: 419). Pero esta

resistenza del vacuo es ilustrada también por Galileo con el clásico experimento de los discos de vidrio planos presionados y soportados uno con otro, porque “si no lo hiciera, un vacío temporal tendría que producirse entre los dos discos antes de que el aire circundante pudiese llenar el espacio intermedio y que parezca que incluso esta breve existencia de un vacío no es permitida por la naturaleza (*Ibidem*). Con ello Galileo introduce un nuevo elemento en esta explicación del vacío, considerando que “una aversión podría ser susceptible de sobrevenir y que hay así toda razón para averiguar qué fuerza es capaz de realizar esto” (Dijksterhuis, 1969: 419-420).

Esta averiguación la complementa mediante un experimento (ver *Figura 7*) que realiza para entender “por qué el agua no puede elevarse más arriba de 18 yardas por medio de una bomba de succión”, el cual es descrito del modo siguiente: “Un recipiente cilíndrico lleno de agua, sobre el cual descansa un pistón Z movible sin fricción, ha sido colocado de un modo tal que el pistón está hacia abajo. Cuando una bolsa, llena de arena, es suspendida de él, una fuerza K es ejercida hacia abajo del pistón, y esta fuerza que aumenta en Z resulta del agua. La suma de K y el peso de Z (al cual, según un enunciado posterior, el peso del agua tiene que ser añadido) ahora indica la magnitud de la *resistenza del vacuo*, i.e., la fuerza requerida para formar un vacío entre C y Z a pesar de la resistencia de la naturaleza” (*Idem*: 420).

La caracterización galileana de que, por una parte, las partículas del agua no poseen una ligera coherencia mutua entre ellas y, por otra, la resistencia del vacío, serán identificadas como las causas de “por qué una cierta cantidad de

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

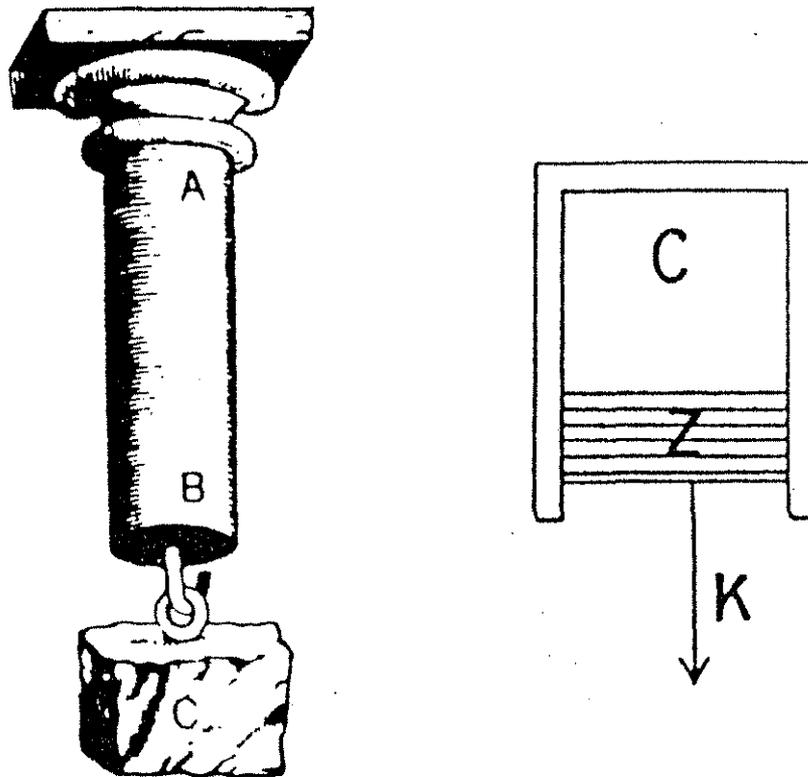


Figura 7. Un experimento de Galileo para mostrar la *resistenza del vacuo*.

agua continúa ocupando un volumen dado” (*Ibidem*). Esto indica algo muy importante, a saber, que el concepto de “presión atmosférica” aún no estaba totalmente definido y establecido en nuestra versión más moderna.

A pesar de ello, el experimento descrito muestra que existe otra fuerza que opera en esa resistencia y que evita que el tubo no se rompa, la cual se encuentra igualmente relacionada con el fenómeno del vacío, y que se describe del modo siguiente: “si de un cilindro de mármol o vidrio, el cual es congruente con el agua en C, un peso es suspendido que, junto con el propio peso del cuerpo, es igual al valor encontrado en el experimento arriba mencionado, no hay problema de rompimiento, así que en este caso aún otra fuerza parece operar, la cual conserva juntas las partículas” (Dijksterhuis, 1969: 420-421). Esta fuerza conectada con el vacío se encuentra inserta en la hipótesis que lo caracteriza como “el agregado de incontables vacíos pequeños (*vacuola*) entre las partículas de un cuerpo”, Galileo sostiene que esos *vacuola* son la causa de que las partículas se unan dando lugar a la cohesión (*Ídem*: 421). Esta explicación tiene una similitud con la afirmación de los atomistas acerca de lo que sucede atómicamente en la fusión de los metales: “las partículas extremadamente finas del fuego penetran en los poros del metal, los cuales son demasiado pequeños para admitir partículas de aire, llenan los *vacuola*, y así abolen la cohesión. Pero tan pronto desaparecen, al enfriarse, los *vacuola* se vacían otra vez y la cohesión se restaura” (*Ibidem*).

Las explicaciones de los atomistas respecto a la cohesión, descansaban en la necesaria existencia del vacío para el indispensable movimiento de los átomos en la formación de los fenómenos naturales. Sobre este caso, para el siglo

diecisiete, el filósofo atomista Pierre Gassendi distinguirá entre varios tipos de vacío que corresponden a distintos niveles naturales, y donde “asume un *vacuum separatum*, un vacío infinito, en el cual Dios ha creado el mundo finito, y posteriormente, dentro del mundo, un *vacuum disseminatum*, un agregado de vacíos entre los corpúsculos, debido a lo cual éstos tienen espacio para alterar sus cursos. Un coherente *vacuum coacervatum* o *grandiusculum* sólo puede ser producido artificialmente” (Dijksterhuis, 1969: 426). Como puede observarse, éste último se vincula claramente a la clase de vacío que será el principal motivo de discusión en el experimento de Torricelli y en el experimento del vacío en el vacío de Pascal (ambos nos conducen al tema del vacío boyleano) y que serán tratados enseguida.

Además de los mencionados experimentos galileanos y de entre todos los experimentos referentes a la explicación del espacio dejado por la columna de mercurio en el tubo, destacan de modo especialmente importante, el de Torricelli (1644) y el de Pascal (1648) como *ejemplos experimentales* en los estudios neumáticos de la época.

Uno de los antecedentes experimentales más conocido en neumática en torno a las propiedades del aire y al problema del vacío, fue el famoso experimento de Evangelista Torricelli, denominado por él como “*la esperienza del argento vivo*” (ver *Figura 4*). Hacia 1643, Torricelli instruyó a uno de sus discípulos, Vincenzo Viviani (1622-1703) para que realizara dicho experimento en Florencia, si bien no era primera vez que se realizaba un experimento de esta naturaleza, como ya se indicó en la subsección anterior de este mismo capítulo, sí presentó dos mejoras

que hicieron posible su reproducción: una, hasta entonces se había utilizado sólo el agua como el líquido que presentaba una suspensión dentro del tubo en un cierto nivel, ahora se hacía uso por primera vez de un líquido más pesado como lo era el mercurio, para averiguar si permanecía suspendido en el mismo nivel que el agua o no; y dos, el tamaño del aparato se redujo haciéndolo más manejable para una más fácil repetición por aquellos interesados en estudiar el fenómeno (Dijksterhuis, 1969: 444). De estas mejoras resultó la invención del barómetro como el instrumento experimental para la medición de la presión atmosférica.

Para el año siguiente (1644), el experimento de Torricelli (con la ayuda de Viviani) había dado resultados satisfactorios en su manejo, ejecución y conclusiones experimentales, había sido llevado al cabo de la siguiente manera:

“[Torricelli] llenó con mercurio un tubo de vidrio que medía dos anas (ca. 120 centímetros) de largo y sellado en un extremo, tapó su orificio con un dedo, y lo volteó boca abajo (el extremo sellado arriba) en un tazón de mercurio. El mercurio en el tubo descendió hasta una altura de ca. de una ana (ca. 60 centímetros) por encima del mercurio en el tazón, dejando un espacio en la parte superior. Torricelli conjeturó que este espacio estaba vacío: para verificar esto, añadió agua al mercurio en el tazón y lentamente levantó el tubo. Cuando la boca del tubo se elevó a la superficie del agua, el mercurio en la columna fluyó hacia abajo, y el agua se precipitó hacia arriba dentro del tubo hasta llenar su parte superior, indicando a Torricelli que el espacio *estaba* vacío. Además, Torricelli creía que el mercurio en el tubo estaba en balance con la presión atmosférica....Torricelli repitió el experimento con dos tubos, uno que terminaba en una gran bola en la parte superior; el vacío había ejercido fuerza, el tubo con la bola grande habría tenido más fuerza dado que contenía más materia rarificada. El mercurio, sin embargo, cayó al mismo nivel en ambos tubos” (Segre, 2000: 647).

Como mencionamos anteriormente, el objetivo del experimento de Torricelli tenía un carácter técnico-práctico dirigido a mejorar los fenómenos de bombeo buscando un buen funcionamiento en el balance mecánico de los aparatos; además de que con ello avivó la investigación en torno a la naturaleza y

propiedades del aire en el contexto de una explicación mecánica de los fenómenos neumáticos.

Una primera medida del peso natural del aire fue establecida teniendo como base las conclusiones experimentales a que llegó Torricelli y que fueron comunicadas por él en la carta del 11 de junio de 1644 dirigida a Michelangelo Ricci (1619-1682), discípulo del galileano Benedetto Castelli, en donde Torricelli afirma que "la gravedad del aire explica la resistencia encontrada al querer hacer el vacío (.....) [pues] (v)ivimos sumergidos en el fondo de un océano de aire elemental, el cual sabemos que tiene peso gracias a experimentos incuestionables, tanto que en las profundidades de la superficie terrestre -donde es más denso- pesa aproximadamente 1/400 parte del peso del agua" (Pascal, 1988:198).

Todas las razones precedentes harán que este resultado experimental en neumática de que la fuerza natural del aire poseía una medida constante haciendo uso de distintos líquidos (treinta y tres pies de agua o veintinueve pulgadas de mercurio) sea el más relevante hasta entonces; y que también se constituya en el punto de partida y en la referencia obligada para todas las subsecuentes explicaciones y prácticas experimentales neumáticas desarrolladas sucesivamente por Pascal y Boyle, así como las concomitantes críticas de Noël, Hobbes y Linus.

Además, en esta misma dirección, este resultado orientará, como se tratará más adelante en el capítulo 6, el debate entre plenistas y vacuistas donde se verán sometidas a un cuestionamiento ontológico y epistemológico, tanto la naturaleza del visible espacio sin mercurio dentro del tubo del aparato torricelliano, como la causa de la elevación del mercurio dentro del propio tubo.

Ahora bien y por otra parte, asumiendo con Torricelli que la presión atmosférica explicaba el fenómeno dentro del tubo de mercurio, y tomando a este fenómeno como un caso particular en las explicaciones hidrostáticas, Pascal efectuó -junto con Pierre Petit, como se indicó en la sección anterior- con éxito por vez primera el experimento torricelliano en Rouen en el año de 1646. Esta experiencia le permitió observar la formación del polémico espacio por encima de la columna de mercurio, así como también por encima de una columna de agua en un tubo mucho más largo. Esta estancia de Pascal en Rouen le permitió perfeccionar el material de los dispositivos experimentales para su investigación, pues en dicha ciudad francesa se encontraba una de las fábricas de vidrio más reconocidas por la calidad de sus materiales y por su manufactura, de tal modo que aprovechó esto para presentar varios diseños propios de tubos de vidrio que mejoraban con mucho los de Torricelli y otros de sus colegas (Pascal, 1988: 14-15).

Con estas mejoras materiales en sus dispositivos neumáticos, Pascal estuvo en capacidad para llevar a cabo aquellos experimentos con los que probaría y rechazaría la objeción de que una pequeñísima cantidad de aire siempre permanecería alojada en el tubo torricelliano. Respecto a esto el razonamiento de Pascal era el siguiente: si el mercurio no descendía más de su nivel alcanzado era debido a la presencia del aire en el tubo y que, a su vez, había alcanzado su máximo grado de rarefacción; si esta explicación fuese correcta, entonces –concluía Pascal- el volumen del espacio vacío tendría que ser constante (Pascal, 1988: 43).

Para probar esta hipótesis y refutar la contraria, Pascal se dio a la tarea de efectuar los cuatro experimentos que a continuación se describen (Dijksterhuis, 1969: 447-448):

(1) realizó el *experimento con tubos de diferentes longitudes y formas*, demostrando que no era el volumen del vacío sino la altura de la columna de mercurio la que era invariable;

(2) este experimento lo realizó en presencia de quinientos observadores, no expertos, y estaba dirigido a *refutar la opinión de que la caída de la columna de mercurio se debía sólo a la generación de ciertos vapores*: "Pascal tenía algunos tubos, 46 pies de largo, que se habían asegurado a mástiles de un barco en movimiento, llenados sucesivamente con agua y vino tinto, y luego se habían invertido en recipientes que contenían el mismo líquido. De antemano él había pedido a los quinientos espectadores presentes predecir cuál de los dos líquidos permanecería a mayor altura en el tubo. Ellos pensaron que sería el agua, pues el vino parecía ser más volátil y era así probable que generara más "esprits" (sic). Pero cuando el experimento se realizó, la altura del vino, por el contrario, probó ser más grande que la del agua". Pascal había previsto que este resultado sucediera, porque, como dice Dijksterhuis, "había comprendido que el factor de primera importancia era la gravedad específica del líquido barométrico usado, de modo que la columna del líquido requerida para contrabalancear la presión atmosférica era más corta para el agua que para el vino, porque su gravedad específica es más grande"; esto mostraba la proporción directa existente entre los pesos de los diferentes líquidos y el peso y la masa del aire, equilibrándolos por efecto de sus propios pesos o gravedades específicas;

(3) otro experimento pascaliano fue realizado con un sifón, cuyo brazo más corto tenía 45 pies de longitud y el más largo medía 50 pies: "Al quitar los tapones que aislaban a los brazos llenos con agua, el sifón probó no actuar en posición vertical; el agua descendió en ambos brazos hasta cerca de 32 pies por encima del nivel en el recipiente correspondiente. El sifoneo ocurría sólo cuando los tapones no eran removidos hasta después de que al aparato de le había dado una posición suficientemente inclinada"; y

(4) este experimento lo efectuó Pascal con una jeringa diseñada por él. "era un tubo de vidrio que tenía una abertura estrecha en un extremo, en el cual un pistón herméticamente cerrado podía moverse y por medio del cual un vacío podía producirse al halar el pistón, después de primero haberlo empujado hasta el fondo, mientras se tapa la abertura con un dedo". En este experimento, Pascal consideró que es una prueba suficiente a favor de su hipótesis el hecho de que "el peso del tubo no cambia si uno incrementa el volumen del vacío al halar más el pistón".

Sus conclusiones experimentales, Pascal las presentó publicadas en su ya mencionada obra sobre el vacío de 1647, en donde afirmó su noción de un limitado horror al vacío y de que aún no existía una prueba concluyente respecto a si los fenómenos estudiados eran causados por la presión atmosférica. No fue fácil para Pascal encontrar una prueba suficiente que transformara su hipótesis pneumática en una verdad bien establecida, pues como hemos sostenido, el perfeccionamiento técnico y el mejoramiento operativo de los dispositivos experimentales eran precisamente algunas de las principales dificultades que enfrentaban la experimentación de ese tiempo.

Con ese objetivo, Pascal ideó un experimento donde el aire no pudiese entrar en el tubo, de tal modo que no ejerciera ninguna presión sobre el mercurio. Este experimento fue llamado *experimento del vacío en el vacío*, y podríamos considerarlo como el sencillo antecesor del Experimento XVII de Robert Boyle. Pascal lo realizó (ver *Figura 8*):

"al suspender un barómetro de copa en un tubo de suficiente anchura y longitud fue sumergido con su extremo inferior -sellado por un diafragma- en un recipiente con mercurio y el cual él mismo había sido completamente llenado con mercurio y luego sellado en la parte superior. Cuando el diafragma subsecuentemente fue roto, el barómetro de copa se suspendió en un vacío torricelliano; ahora se encontró que el mercurio en el recipiente y en el tubo había alcanzado el mismo nivel" (Dijksterhuis, 1969: 451-452).

Sin embargo, Pascal continuaba considerando que este experimento no aportaba evidencia suficiente para sostener una demostración de su hipótesis de la presión atmosférica, motivo por el cual pensó que una prueba más sólida la podría encontrar si realizaba el experimento torricelliano en altitudes más elevadas. Esto fue lo que dio origen a su conocido *experimento de Puy-de-Dôme*, que llevó al cabo el 19 de septiembre de 1648 con la ayuda de su cuñado Florin Périer. En su reporte, Pascal informa que llevó el barómetro torricelliano hasta la cima del pico (Puy-deDôme) para observar qué cambios ocurrían en el nivel de la columna de mercurio a medida que se alcanzara una elevación mayor; entre tanto había dejado otro barómetro al cuidado de un monje en un convento al pie de la montaña para que tomara, bajo su control, el registro del nivel de mercurio en ese punto. Su cuñado, quien ascendió al pico, le reportó que en la cima (aproximadamente 300 pies de altitud desde la base), el mercurio había descendido unas tres pulgadas respecto de la elevación ordinaria de la columna de mercurio. Este descenso del

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

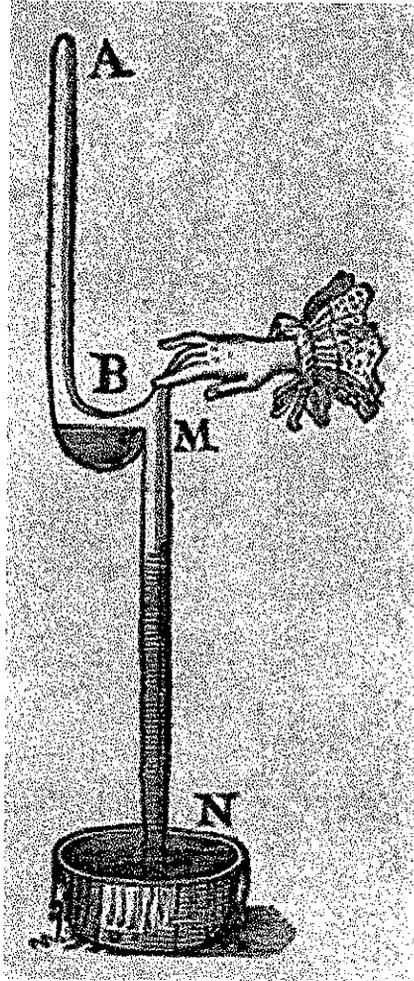


Figura 8. Experimento del vacío en el vacío de Pascal.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

mercurio en el barómetro fue considerado como una prueba de que el peso (presión) del aire era su causa y, por ello, la proporción de este descenso se estableció como una medida confiable de dicho peso. Para Pascal este experimento representaba una demostración pretendidamente crucial de que la naturaleza no tiene ninguna repugnancia por el vacío, y de que todos los efectos del supuesto *horror vacui* (aún un horror limitado) se deben a la presión del aire como la causa real, pues “la fuerza de tal horror es limitada y semejante a aquélla con la que el agua de una cierta altura -unos 31 pies aproximadamente- tiende a descender” (Pascal, 1988: 44-45).

Para los años 1651 y 1654, Pascal pensaba que el creciente campo experimental de los fenómenos neumáticos podía ser comprendido junto a los resultados de la experimentación hidrostática, bajo la consideración de que el aire es un fluido y que posee un peso propio.

Esta exposición de los resultados experimentales neumáticos de Galileo, Torricelli y Pascal nos conduce hacia dos temas centrales en la posterior investigación experimental: uno, la necesidad de una instrumentación técnica y materialmente perfeccionada para diseñar nuevos aparatos que permitan realizar mejores y más confiables experimentos, amén de mediciones más precisas y menos aproximadas, y dos, el esfuerzo de los filósofos naturales para defender y refutar los supuestos ontológicos y epistemológicos de sus explicaciones de los fenómenos neumáticos. Ambos temas se serán analizados en el resto del presente capítulo y, en forma más amplia, en los capítulos 4 y 6.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.3 Algunas Cuestiones Epistémicas en la Experimentación Pneumática.

Hemos señalado que un buen número de las prácticas experimentales en la filosofía natural de mediados del siglo diecisiete, se vieron desafiadas por una serie de cuestiones técnicas y epistémicas que tuvieron que enfrentar para establecer y justificar la confiabilidad y efectividad de los diseños y operaciones de los dispositivos experimentales utilizados en la observación y experimentación de los fenómenos naturales; y como hemos venido mencionando desde la sección anterior, la experimentación pneumática será, precisamente, una de las prácticas experimentales en donde dichas dificultades adquieran una dimensión epistémica propia y una relevancia que hagan de la experimentación una continua vía de controversias en la filosofía natural de la época.

Una de esas cuestiones epistémicas importantes, básica para la filosofía experimental, es la tesis de H.M. Collins (1992) denominada el *regreso del experimentador* (*experimenter's regress*), la cual se refiere a la paradoja que enfrenta toda replicación experimental cuando al contrastarse el conocimiento ya establecido como verdadero con el nuevo conocimiento aportado por una nueva instancia experimental, pretende afirmarlo también como verdadero (Collins, 1992: 2). Una versión de esta tesis es un planteamiento que ya encontramos entre los filósofos experimentalistas del siglo diecisiete, conocido desde la crítica que el propio Francis Bacon hizo contra, por un lado, la "inducción" aristotélica que establecía apresuradamente principios generales para la explicación de la naturaleza, atendiendo sólo al estudio de unos cuantos casos particulares; y por otro lado, contra los escépticos que jamás creían en establecer algún conocimiento mínimamente provisional como cierto.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A partir de esto, los filósofos naturales que practicaron la experimentación de herencia o influencia baconiana se vieron frente al siguiente dilema: ¿puede *un solo experimento* ser suficiente para explicar y entender un fenómeno, o es necesario desarrollar *un gran número* de ellos para explicar al fenómeno estudiado?

Este dilema, desde mi punto de vista, implicaba algunas cuestiones como las siguientes: (a) cómo pueden establecerse afirmaciones universales acerca del mundo natural sobre la base de hechos particulares y descritos por la sola experiencia de un individuo; (b) cómo entender que en una serie de observaciones se mantenga la relación causal entre fenómenos, habiendo observado regularidades previas en un solo fenómeno, y que garantice la ocurrencia de regularidades futuras en ese mismo fenómeno; (c) es necesario que haya una capacidad observacional entrenada para reconocer con pericia los factores relevantes a considerar en un fenómeno o proceso; y (d) qué tipo de conocimiento (si totalmente verdadero o sólo probable) es el que puede establecer efectivamente un procedimiento experimental.

Las respuestas al dilema de si es suficiente uno o si es necesaria una cierta serie de experimentos que aporte evidencia suficiente para explicar un fenómeno natural, suscitarán una de las grandes diferencias epistemológicas que los distintos enfoques en la práctica experimental entre los filósofos naturales de mediados del siglo diecisiete tuvieron que resolver y que dieron origen a las controversias más importantes en torno a la viabilidad epistémica y metodológica del experimento en la investigación de los fenómenos naturales.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Dos fueron las respuestas a semejante dilema, y su diferencia estriba en su respectiva consideración acerca de la clase de evidencia, método y conocimiento que obtienen. Una de ellas es la respuesta *boyleana*, donde la obtención de un conocimiento confiable se apoya en los resultados provenientes de una explicación detallada y amplia, cuya evidencia es proporcionada por los resultados experimentales; y la otra respuesta es la que sostiene que con un solo *experimento* es suficiente para establecer un conocimiento confiable, seguro y verdadero, y cuyo objetivo consiste en buscar una o dos instancias experimentales que ilustren sus resultados entre varias opciones explicativas dentro de dos o más teorías establecidas.

Frente a la diversidad de prácticas experimentales y de explicaciones mecánicas en la filosofía natural del siglo diecisiete, la experimentación boyleana fue un serio esfuerzo epistemológico para ofrecer bases sólidas sobre las cuales fundar un conocimiento cierto, que proviniese de experimentos y experiencias singulares con vistas a la formación de una experiencia universal compartida. En general, las explicaciones experimentales pretendían mostrar que era posible aportar una evidencia más sólida sobre un fenómeno por medio del control y estudio directo de la naturaleza, con vistas a obtener un conocimiento de ella y comprender con certeza su estructura causal a través de un método correcto con reglas precisas que dirigiera óptimamente al entendimiento humano a un uso útil y provechoso de ese conocimiento.

Como hemos señalado en la sección anterior, hacia 1650 la experimentación neumática constituía uno de los paradigmas de la investigación natural y, además, se encontraba envuelta en una serie de controversias surgidas

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

no sólo por sus distintos procedimientos experimentales, sino también por las hipótesis y explicaciones con que se proponía resolver dos cuestiones fundamentales en su campo: una, si el aire poseía peso y si éste era capaz de sostener una columna de mercurio en un tubo, y dos, si el espacio visiblemente vacío por encima de la columna de mercurio en el tubo torricelliano, estaba realmente vacío.

Hemos visto que responder a estas cuestiones, condujo inexorablemente a plantear a los experimentadores un conjunto de problemas que tenían que ver, primero, con los retos técnicos que presentaban los dispositivos experimentales (como los materiales empleados en la elaboración de los tubos torricellianos, en la operabilidad de las bombas de agua de Von Guericke o en la resistencia material de la bomba boyleana de vacío), y segundo, con las consecuencias epistémicas y ontológicas de ello, es decir, con la confiabilidad de los resultados obtenidos por la vía experimental para ofrecer explicaciones garantizadas acerca del peso, elasticidad y presión atmosféricos, así como sobre la posibilidad de crear un vacío efectivo y operable a nivel terrestre.

La solución viable a estos problemas únicamente se encontraba en el constante mejoramiento que la propia experimentación neumática llevase al cabo de sus dispositivos y procedimientos, que, en última instancia, apuntaban a fundamentar fácticamente una explicación mecánica de la estructura causal de la naturaleza. Como se verá en el siguiente capítulo, esta investigación experimental en neumática exigirá, por parte de Boyle, de una claridad y precisión conceptual en la noción de "naturaleza", junto a una sólida argumentación apoyada en su peculiar perspectiva mecánico-corporcularista y en un voluntarismo teológico

(donde el "concurso general" de Dios mantiene la eficacia de los agentes naturales) que hacen la diferencia de sus explicaciones naturales respecto a otras.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 3. Mecanicismo, Corpuscularismo y Concepción Boyleana de la Naturaleza.

3.0 Introducción.

El hecho de que la experimentación neumática lograra desarrollarse como una práctica experimental específica en el seno de la filosofía natural del siglo diecisiete, fue posible gracias tanto a la propia naturaleza de los fenómenos neumáticos como al reconocido esfuerzo de los experimentadores de la época por presentar soluciones prácticas a las controversias experimentales mediante la aportación de evidencia adecuada que respaldase sus hipótesis y mejorase sus procedimientos experimentales.

En este marco, la *experimentación neumática boyleana* se dirigió a buscar y diseñar procedimientos confiables de experimentación para mostrar con suficiente claridad la estructura mecánico-corpuscular de fenómenos relacionados con el aire y sus propiedades y explorar las posibilidades prácticas de creación del vacío. Para entender esta tarea, en el presente capítulo analizamos tres puntos que -desde nuestro punto de vista- son centrales en la filosofía natural experimental de Boyle y que respaldan a todas sus explicaciones experimentales. Primero, su crítica a la noción aristotélica de naturaleza ("noción vulgar de naturaleza") frente a los usos y abusos de la palabra "naturaleza" que hacen aquellas explicaciones filosófico-naturales que conciben a la naturaleza como una entidad metafísica ininteligible, cuyos fenómenos los explican mediante "cualidades ocultas", o que la entienden como una entidad con rasgos volitivos parecidos a los

humanos. Segundo, la adopción de su hipótesis mecánico-corpúscular en los estudios naturales le permite entender a la naturaleza como una gran máquina (como un reloj) cuyo movimiento obedece a las operaciones mecánicas de corpúsculos materiales, que son los efectivos agentes naturales para explicar cómo los fenómenos naturales son efectos del movimiento mecánico de los cuerpos. Y tercero, el papel de su voluntarismo teológico en las explicaciones naturales, el cual asume que el mundo ha sido creado y por entero sometido al poder y a la voluntad de Dios, cuya concurrencia mantiene la eficacia de todo agente físico particular en la naturaleza por medio de leyes establecidas por él, y esto permite que la estructura de esa naturaleza creada por Dios pueda ser investigada y conocida para develar el plan creador divino y el funcionamiento de sus leyes universales.

Este análisis nos permite conocer la pretensión de Boyle por contribuir con explicaciones más inteligibles de los fenómenos naturales, auxiliadas por ideas claras sobre la naturaleza, cuya función sea dar respaldo teórico a sus hipótesis y fundamentar a la experimentación como un procedimiento epistemológico complementario en la investigación natural.

3.1 Crítica Boyleana a la Noción "Vulgar" de Naturaleza.

Una importante preocupación de Boyle es asumir, como una tarea urgente, la revisión del término "naturaleza". Según Boyle, de ello depende -como se verá más adelante- el correcto enfoque en los estudios naturales; las siguientes palabras suyas reflejan esa necesidad: "He visto con frecuencia como una cosa desdichada y perjudicial, tanto para la filosofía como para la física, que la palabra 'naturaleza'

ha sido tan frecuentemente e incluso tan inexpertamente empleada tanto en libros como en el discurso por toda suerte de hombres, cultos e iletrados” (Boyle, 1996: 20).

Será precisamente en su *A Free Enquiry into the Vulgarly Received Notion of Nature* (1686), donde someta a una crítica sistemática los usos y abusos de la palabra “naturaleza” en las explicaciones filosófico-naturales, puesto que “los hombres generalmente no han tenido sino nociones imperfectas y confusas concernientes a la naturaleza” (Boyle, 1996: 19). Según Boyle, estas nociones confusas provienen -en gran parte- de las interpretaciones hechas por la tradición aristotélica, esto es, por la corriente de pensamiento definida por la mezcla interpretativa de las obras y tesis de Aristóteles en el campo de la filosofía natural, y que tiene su gran antecedente en la filosofía escolástica medieval y su posterior presencia en el pensamiento renacentista. El manejo de una diversidad de ideas aristotélicas (aceptadas, rechazadas o criticadas) durante el siglo diecisiete, nos obliga a precisar que en el caso de Boyle, “*aristotelismo*” se refiere -como se explica más adelante en la nota 4- a todos aquellos seguidores de Aristóteles que utilizan sus ideas, principios y enfoques en para explicar las diversas cuestiones de la filosofía natural.

En términos generales, el conjunto doctrinario del aristotelismo ofrecen dos aspectos filosóficos básicos utilizados en sus explicaciones: el *metafísico* y el *físico*. En el primero, el mundo es un gran organismo cuyas partes actúan de acuerdo con su naturaleza y sus fines, hay un orden y una teleología inmanentes donde la naturaleza de los cuerpos está determinada por su composición

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

elemental; así, todo cuerpo es y se comporta según el elemento predominante en su composición, por ejemplo, en una piedra predomina la tierra como elemento, y en un río predomina el agua. Desde este punto de vista, los cuerpos están constituidos por "formas substanciales", que son facultades y causas de los atributos de un cuerpo llamadas cualidades (por ejemplo, el oro es la forma substancial y el ser maleable o ser amarillo es la cualidad o atributo). En el segundo aspecto, los fenómenos naturales son explicados por las formas, cualidades y facultades que describen las propiedades observadas de los cuerpos (p. ej., la caída de las gotas de lluvia se explica por las propiedades del agua: líquida, fría, más pesada que el aire), y el movimiento de un cuerpo se explica por la naturaleza del elemento predominante en su composición, así se entiende por qué una piedra al lanzarla hacia arriba no continúa su camino ascendente sino que llega a un punto en que emprende el camino de regreso, su caída; esto quiere decir que dada su composición, en la piedra al predominar la tierra como elemento, la piedra tenderá siempre hacia su *lugar natural* que es la tierra y no el aire o el éter. De esta manera, todo cuerpo cuando está situado fuera de su lugar siempre lo buscará *naturalmente*; así, todo movimiento que impida a un cuerpo cumplir con su fin natural será considerado *no natural* o *violento*. Además, existen otros movimientos llamados *preternaturales*, producidos de un modo no natural mediante dispositivos artificiales o máquinas, son movimientos que se encuentran "fuera de la naturaleza", por ejemplo, una bomba de agua succiona una cierta cantidad de líquido desde la parte baja una casa hasta su parte alta, es una muestra de que el movimiento ascendente del agua es preternatural y no natural.

Por otra parte, un problema que existía con el lenguaje heredado del aristotelismo para explicar los fenómenos de la naturaleza era –desde el punto de vista de los nuevos filósofos naturales y del propio Boyle- el uso de términos (como accidente, potencia, substancia, forma, atracción simpatía, repulsión) muy imprecisos para ofrecer explicaciones detalladas y adecuadas sobre cómo funcionaban o cómo habían ocurrido los hechos. Con el aristotelismo se explicaba -por ejemplo- que la materia “educía” las formas naturales desde sí misma o las recibía del exterior, y esto complicaba las explicaciones porque se tenía que dar cuenta de un modo claro y preciso, cómo una forma (“inmaterial”) puede ser extraída de una entidad muy distinta en naturaleza -según los aristotélicos- como lo era la materia. Este uso de nociones de significado no muy claro en los estudios naturales y que no proporcionan explicaciones suficientemente precisas, será -entre otras cosas- lo que mueva a Boyle a realizar su evaluación crítica de la noción de naturaleza en la filosofía natural. Su objetivo será criticar la versión hipostática (substancialista) de la noción de naturaleza, la cual la considera una entidad (“semi-deidad” o “persona”) con volición para realizar sus actividades o como una “substancia” abstracta fuera de los cuerpos físicos pero que los determina; en ambos casos se la considera como una “entelequia” para los cuerpos, imaginada fuera de lo natural.

Esta revisión crítica Boyle la inicia con el análisis de la noción de *naturaleza* usada por la filosofía escolástica de la naturaleza. Boyle sostiene que términos como “naturaleza” son empleados por “aquellos que admiten y aplauden la noción vulgar de naturaleza: a quienes..., en parte porque ellos así lo hacen y en parte por motivo de brevedad, llamaré de aquí en adelante *naturistas*, cuyo nombre elegí

más bien que el de *naturalistas* porque muchos, incluso de los doctos entre ellos (como lógicos, oradores, abogados, aritméticos, etc.), no son *físicos* (*physiologists*)” (Boyle, 1996: 21, las cursivas son mías). Esta noción vulgar de los “naturistas”, bajo el ojo crítico boyleano, mostrará que ella -en sentido estricto- no es significativa para lo que Boyle denomina *physiology* (esto es, la filosofía natural) porque hace un uso indiscriminado y ambiguo de expresiones referidas a la naturaleza, tanto en asuntos medicinales como en cuestiones filosóficas. Por esta razón, Boyle aclara que su objetivo es “examinar la noción vulgar de naturaleza, no proponer una nueva de mi parte” (Boyle, 1996: 36).

Sin embargo, su propuesta es que provisionalmente (en tanto no se cuente con una noción unívoca) se utilicen algunas otras expresiones sinónimas de “naturaleza” empleadas por los *naturalistas* o *physiologists* en sus estudios, con la condición de que ese uso sea prudente y ayude a ofrecer explicaciones concretas de los fenómenos³.

Para Boyle, pues, el principal problema es que la noción peripatética de naturaleza la ve ya sea como una entelequia que gobierna al mundo o como una entidad con rasgos humanos. Con el fin de evitar este tipo de concepciones, Boyle hace una importante distinción en su noción de naturaleza concibiéndola bajo dos

³ De acuerdo con Boyle, esos sinónimos de la noción de “naturaleza” y las razones para su uso serían los siguientes: Dios (debe utilizarse por reverencia al creador), esencia o quiddidad (porque a pesar de su ambigüedad, todavía así se entiende en las escuelas), nacimiento o constitución (porque se refieren a la generación de una cosa), movimiento determinado (habla de la concurrencia de causas determinadas en una acción), el orden establecido (se refiere al curso regular de las cosas), temperamento, mecanismo, complejo de las propiedades o cualidades esenciales, fábrica del mundo, sistema del mundo, mecanismo cósmico (de refieren a la estructura de los cuerpos y de grandes porciones del mundo), mundo y universo (se refieren a todo el sistema de las obras creadas por Dios, y finalmente, Boyle recomienda un empleo restringido del término “naturaleza” como semi-deidad, cuando sea utilizado este sinónimo (Boyle, 1996: 2-23).

aspectos básicos: (a) hay una naturaleza universal descrita como “el agregado de los cuerpos que forman el mundo, estructurado como está, considerado como un principio por virtud del cual ellos actúan y sufren según las leyes del movimiento prescritas por el autor de las cosas”; y (b) hay una naturaleza particular o subordinada que depende de la primera y es “la naturaleza general aplicada a una porción distinta del universo” (Boyle, 1996: 36-37). La hipótesis de la que parte Boyle para explicar estas dos acepciones de naturaleza es la siguiente: en un principio el creador de las cosas formó la materia universal en el mundo, distribuida en distintas cantidades y con distintos movimientos, donde fue necesario -según su voluntad- dividió las distintas cantidades de materia en innumerables partes dotándolas con diferentes tamaños, formas y situaciones. Él como creador dirigió todos los movimientos de las cosas tal y como quedaron dispuestos en la estructura ordenada y armónica que llamamos mundo. Es mediante las leyes del movimiento local en las partes de la materia como se conserva esta gran construcción o sistema universal de cuerpos animados e inanimados. Boyle llama, a esta gran naturaleza, “*mecanismo cósmico*” porque comprende “todas las afecciones mecánicas...que pertenecen a la materia del gran sistema del universo” (*Ibidem*, 37). En esta hipótesis, los cuerpos se entienden como partes del mundo, son partes de esa naturaleza universal a que están subordinados por las leyes del movimientos y las diversas operaciones naturales que, para realizarlas, necesitan la ayuda y el concurso de otros cuerpos (agentes externos) para mostrar sus efectos a través de los fenómenos. Esta naturaleza particular o privada Boyle la llama “*mecanismo de la modificación esencial*” porque abarca “todas sus afecciones mecánicas reunidas en el cuerpo particular” (*Ibidem*, 37).

Con esta hipótesis, sin embargo, su objetivo no era establecer una nueva y propia noción de naturaleza -como ya se apuntó previamente-, sino que utilizando las expresiones corrientemente empleadas en los estudios naturales pudiesen clarificarse esos dos importantes aspectos ya descritos para entender la naturaleza: la gran naturaleza y la naturaleza particular o privada. Esto tiene el fin de eliminar la ambigüedad de la noción vulgar de naturaleza y de advertir el poco o nulo cuidado de quienes la usan, que en vez de aclarar las cosas, las toman más confusas y oscuras. Por ello, Boyle intentará no incurrir en el error dogmático de definir en términos absolutos toda noción central para sus explicaciones naturales; como ya se advirtió antes, incluso su concepción de naturaleza él mismo la considera provisional.

Es importante señalar que el hecho de considerar a estas dos acepciones de naturaleza como "*mecanismos*" (entendidos como una serie de operaciones corpusculares sujetas a las leyes del movimiento de la materia), es una respuesta a la demanda de Boyle para construir sus explicaciones mecánico-corpusculares de la naturaleza. Como ya se mencionó, y más adelante se ampliará, la filosofía corpuscular boyleana critica tanto la visión atomista como cartesiana de la naturaleza delimitando su propia perspectiva respecto de ellas, pero incorporando la explicación mecanicista para apoyar sus investigaciones experimentales. Esta suerte de sincretismo mecanicista es expuesta claramente en el artículo (ya clásico en los estudios sobre Boyle) de J.E. McGuire (1972) acerca de la concepción boyleana de naturaleza, donde esta filosofía corpuscular encierra una multiplicidad de sentidos y significados *mecánicos* empleados por los filósofos naturales de la

época. La siguiente lista proporcionada por McGuire en su artículo nos da una idea de esa variedad:

“la naturaleza es gobernada por leyes geométricas inmutables; la acción por contacto es el único modo de cambio; los primeros principios se integrarán en las investigaciones experimentales; las regularidades se explicarán en forma matemática; que todos los fenómenos surgen de la material *en movimiento*, o material y movimiento; que los cuerpos compuestos se componen de vórtices (Descartes), centros de fuerza (Leibniz), o pequeños trozos de material concebidos como átomos y corpúsculos; que los cambios en los fenómenos resultan de modo en que las partículas internas alteran sus configuraciones; que las ‘nuevas ciencias’ conciben a la naturaleza dinámicamente en términos de movimiento, más bien que estáticamente en terminus únicamente del tamaño y forma de las partículas internas; que las cualidades ocultas se desterrarán de las explicaciones, las cuales deben basarse en la experiencia sensorial en términos de ideas claras y distintas; o que la naturaleza se concebirá en analogía a las operaciones de las actividades mecánicas” (McGuire, 1972: 523, 2n).

Esta pluralidad de aspectos presenta el cuadro general de algunas de las características fundamentales que definen a la concepción mecánico-corpúscular de Boyle y que serán analizadas en las siguientes secciones de este capítulo. Este cuadro general resume las tesis principales de la noción mecanicista de “naturaleza”, unificando en torno a ella a prácticamente todos los filósofos mecanicistas de la época.

En su indagación por una clara noción de “naturaleza”, Boyle encuentra que la forma adecuada de concebir a la naturaleza es entendiéndola como una entidad dinámica cuyo movimiento se asemeja a las operaciones y mecanismos de una máquina. La metáfora de “*la naturaleza como la gran máquina*” es central en su concepción, a través de ella se explica cómo los fenómenos son producidos por el movimiento de la materia y sus corpúsculos. De acuerdo con ello, la naturaleza no actúa por ningún principio vital sino de modo parecido a una máquina, cuyas piezas en su estructura mecánica funcionan de acuerdo a su situación y conexión

específicas de unas y otras, así los corpúsculos y sus movimientos mecánicos producen las afecciones mecánicas que percibimos como fenómenos naturales (Boyle, 8-2000: 327). Boyle es consciente de que esta metáfora es sólo una ayuda "para conocer las verdaderas y genuinas Causas de las Cosas" y explicar los fenómenos "de una Manera tal como se dan, pero no que ellos Sean realmente así" (Boyle, 3-1999: 255).

Según esta perspectiva, entonces los cambios fenoménicos se manifiestan y producen de acuerdo con los diferentes modos de configuración, acciones y contactos mecánicos entre las partículas. Del mismo modo en que previamente se ha mencionado, esta manera de pensar los fenómenos como efectos de las acciones mecánico-corpúsculares de las cosas exige que las explicaciones naturales tengan que ser lo más inteligibles que sea posible y confeccionarse con base en nociones e ideas claras sobre la naturaleza. Esta exigencia tendrá en Boyle a uno de sus más fervientes representantes, puesto que, según su concepto, la experimentación deberá integrarse a los principios mecánicos, y viceversa. De aquí que el carácter empírico de la experimentación en Boyle no excluya la dimensión teórica en sus estudios, sino que la vea como su condición indispensable; esta cuestión es tratada con más detalle en los próximos capítulos.

La necesidad que tiene la experimentación boyleana de una noción clara de "naturaleza" es, ante todo, tener una visión propia del carácter de los fenómenos físicos e intervenir en ellos en búsqueda de un sólido respaldo empírico a fin de contar con explicaciones naturales más ciertas; esto supone que una experimentación que intervenga en la dinámica de los fenómenos naturales, necesitará explorar modos, vías y uso de ciertos dispositivos con los que logre

conocer y explicar, lo más precisamente posible, la estructura de esos fenómenos. Por ello, ese soporte empírico para la experimentación en Boyle es indispensable, y proviene de esa noción suya de “naturaleza”: mecánica, dinámica, corpuscular y material.

En la mencionada cita de McGuire, hay un aspecto de la noción de “naturaleza” que algunos filósofos mecanicistas (sobre todo, los matemáticos) desarrollan desde la primera mitad del siglo diecisiete y que se consolida en su segunda mitad, a saber: la explicación geométrica y matemática de las regularidades en los movimientos y fenómenos de la naturaleza mediante leyes. Como se señalará más adelante, si bien Boyle no excluye el uso de las matemáticas en la explicación natural, sí la coloca en un plano subordinado de explicación; al contrario de otros filósofos (Galileo, Descartes, Newton) que tienen en alta estima a la matemática como un dispositivo de apoyo para las investigaciones naturales.

3.2 Atomismo y Corpuscularismo Boyleano.

La versión corpuscularista de la naturaleza asumida por Boyle se sustenta en la tesis mecanicista de que el mundo se encuentra gobernado y es explicado por los principios básicos de la mecánica, a saber: la materia y el movimiento; y, además, se sustenta en, por un lado, la tesis deísta de que el mundo ha sido creado por Dios y lo gobierna actualmente a través de leyes inmutables dispuestas por él mismo, y por otro, que dichas leyes están sujetas a la voluntaria intervención de Dios cuando él así lo decida. Respecto a esta visión, Marie Boas indica que, para el corpuscularismo de Boyle, la naturaleza se encuentra gobernada por las leyes

inmutables de la materia y el movimiento, las cuales son *matemáticas en forma y mecánicas en contenido* (Boas, 1976: 63). Esta afirmación de Boas se refiere a la idea que tiene Boyle respecto al papel y a la utilidad de la matemática en la filosofía natural. Él considera a las matemáticas como el estudio de las relaciones y proporciones numéricas (cantidad abstracta) existentes entre la materia de un cuerpo y su figura, esto es, entre su solidez y su superficie. Así, vemos que para Boyle –en último término– las mediciones de la magnitud y figura de un cuerpo como la altura, los espacios de tiempo, la superficie, el peso, el volumen o el movimiento local, aparecen como “Afecciones Mecánicas de partes de la Materia” (los cuerpos son “partes de la Materia”). De hecho, esta “forma matemática” de las leyes naturales, en Boyle sólo puede ser explicada en términos de las afecciones mecánicas de la naturaleza, producidas por el movimiento y el cambio de la materia (Boyle, 6-1999: 439-449).

Como mencionamos anteriormente, para Boyle las cosas naturales no poseen cualidades ocultas o inaccesibles al entendimiento humano, sino más bien propiedades que son la base para las explicaciones mecánicas en términos proporcionados por los *atomistas*, esto es, las propiedades de los cuerpos se explican mediante el tamaño, la forma y el movimiento de sus partículas materiales. Cabe señalar que, en la perspectiva de Boyle, los atomistas –aunque les otorgan movimiento, tamaño y forma a sus átomos– sólo describen las cosas mediante sus combinaciones, y no alcanzan a explicar con mayor claridad y detalle cómo las resultantes propiedades de los cuerpos generan los fenómenos y procesos mediante los cuales la naturaleza funciona. Una de las primeras diferencias existentes entre ambas concepciones (corpúscularistas y atomistas) se

refiere a la creencia corpuscularista en la existencia de un ser creador y a la creencia atomista en la existencia y dominio del azar en el mundo.

Efectivamente, para los atomistas no hay un ser creador del universo (quien manejara una tesis semejante en el siglo diecisiete aún podía ser acusado de ateísmo), el movimiento es congénito, eterno y contemporáneo a la materia constituida por partículas indivisibles o átomos. El movimiento de los átomos es fortuito, por tanto el mundo es producto del azar, esto quiere decir que la formación del mundo se da por la concurrencia *casual* de dichas partículas de materia increada que se mueven eternamente en un infinito espacio vacío, sin ninguna deidad o principio incorpóreo que regule sus movimientos. Los atomistas consideraban que no puede haber alguna causa suficientemente conocida y poderosa que una, separe y reúna a los átomos dispersos; de esta manera, el azar es lo único que priva en el movimiento del mundo.

Además, los átomos se mueven en el vacío formando las cosas particulares que dependen de figura, orden, posición y situación, es decir, las cosas se forman por innumerables combinaciones de átomos en masa conectados por figuras, tamaños y movimientos. Estos átomos poseen una variedad casi infinita de figuras y de formas determinadas, y, en tanto, la materia es eterna, el número de átomos es infinito. Nada es, pues, explicado fuera de la materia. Debido a estas razones, Boyle difiere y se deslinda de la filosofía atomista (léase, epicúrea) porque dice que en ella los átomos "al encontrarse juntos por azar en un *vacío* infinito, son capaces ellos mismos de producir el mundo y sus fenómenos" (Boyle, 1979: 138), y tampoco está de acuerdo con aquellos para quienes en su concepto "suponiendo que Dios haya puesto en toda la masa de materia una cantidad invariable de

movimiento tal, que no necesitase producir más el mundo, las partes materiales serían capaces por sus propios movimientos no dirigidos para darse a sí mismos un tal sistema" (*Ibidem*: 139). El centro de la objeción de Boyle es que no puede concebirse una materia sin un "Agente Inteligente" que oriente y armonice los movimientos de las partículas, necesariamente tienen que estar regulados por "un Inventor y Ordenador inteligente de las cosas" (Boyle, 3-1999: 259-261).

Tenemos entonces que de entre la diversidad de propuestas *particularistas* (esto es, que asumen a las partículas como la base de sus explicaciones sobre el mundo), Boyle se inclina por la "neutralidad" del término "corpúsculo" que le da la posibilidad de construir, como señala Brooke, "una elaborada teoría jerárquica de la materia para explicar los fenómenos químicos" (Brooke, 1998: 122); en tanto, como se menciona enseguida, los corpúsculos poseen la capacidad para organizarse de diferentes modos en sus diversos movimientos.

Debido a esto, el esfuerzo de Boyle se encamina a dar una explicación lo más concreta y detallada posible partiendo de la consideración de que todos los cuerpos están compuestos por corpúsculos que poseen varias formas, tamaños y movimientos, formando diferentes substancias. La formación de estas substancias él las explica mediante un proceso de unión entre los corpúsculos más simples para formar corpúsculos más complejos, los cuales a su vez producen aglutinamientos de substancias más compleja. Esto nos indica que entre los corpúsculos hay una jerarquía que va desde los *minima naturalia* hasta las concreciones o aglutinamientos primitivos. Según Marie Boas, esta jerarquía de Boyle "iba desde sus *prima naturalia*, los cuales tenían características físicas, pero no químicas aparentes, hasta los corpúsculos químicos que toman parte en las



reacciones químicas, persisten en solución, se subliman, y así sucesivamente, y los cuales obviamente pueden diferir en complejidad” (Boas,1976: 100). Este señalamiento implicará la firme creencia de Boyle en la transmutación material como una operación químicamente posible.

Las consecuencias de quien asumiera una defensa del atomismo en el siglo diecisiete eran las de ser considerado materialista, lo que era equivalente a un señalamiento de ateísmo. Debido principalmente a esta razón, es que Robert Boyle elabora su peculiar versión de corpuscularismo, pues exigía de él mismo ser sumamente cauteloso para evitar cualquier sospecha o acusación de ateísmo sobre él y sus investigaciones. Esta propuesta corpuscularista de Boyle es presentada claramente en *The Sceptical Chymist* a través de cuatro proposiciones que la resumen:

(1) Afirma de la materia universal y las partículas que: “No parece absurdo concebir que en la primera Producción de Cuerpos mezclados, la Materia Universal de que -entre otras Partes del Universo- consisten, estuviese efectivamente dividida en pequeñas Partículas de varios tamaños y formas diversamente movidas” (Boyle, 1661: 37); como hemos visto, en la concepción dual de la naturaleza boyleana, el llamado “curso de la naturaleza” es la manera particular en que la materia original se muestra, esto es, en la división específica de cada uno de los diferentes fragmentos de materia que dan lugar a los cuerpos y fenómenos de la naturaleza; en última instancia, esta división material es la que permitirá más efectivamente conocer y explicar físicamente a la propia naturaleza.

(2) en la formación de las coaliciones, masas o concreciones de partículas: “Ni es imposible que de estas diminutas Partículas diversas de las más pequeñas y

cercanas estuviesen aquí y allá asociadas en pequeñas Masas o Racimos, y por sus Coaliciones constituyeran gran cantidad de tales pequeñas Concreciones o Masas primarias en tanto no fuesen fácilmente disipables en tales Partículas que las componen" (*Ibidem*, 38-39); en Boyle, pues, todos los cuerpos y sus afecciones sólo son comprensibles como agregados de partículas o corpúsculos, cuyo peculiar modo de organización permite mantener su unidad corporal y fenoménica.

(3) De la obtención de substancias "No negaré perentoriamente, que de la mayoría de tales Cuerpos mixtos en tanto participan ya sea de la Naturaleza Vegetal o Animal, puede por la Ayuda del Fuego obtenerse efectivamente un determinado número (ya sea Tres, Cuatro, o Cinco, o menos o más) de Substancia, digna de diferentes Denominaciones" (*Ibidem*, 45); esto indica que las posibilidades de cambio físico en los cuerpos compuestos no están sujetas a reducirlos a un cierto número de principios, sino que puede haber, a través de la manipulación mediante el fuego (es decir, experimentalmente) la obtención de algo que puede ser igualmente considerado como substancia y no sólo como un aditamento sometido a la búsqueda de sólo ciertos principios elementales como lo pretenden los alquimistas o los aristotélicos.

(4) De los elementos o principios de las substancias "Puede asimismo concederse, que aquellas distintas Substancias, cuyos Concretos generalmente o producen o son hechos, pueden sin demasiada Inconveniencia ser llamadas los Elementos o Principios de ellos" (*Ibidem*, 46); esto ratifica lo que hemos mencionado antes, no necesitamos referir exclusivamente los cambios físicos a la búsqueda de ciertos elementos, sino que todo cuerpo, producto de la experimentación, puede ser considerado como el principio de un fenómeno.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Así pues, dos son los objetivos del corpuscularismo de Boyle, por una parte, reforzar su visión mecanicista, adoptando una concepción donde los fenómenos son entendidos como productos del movimiento material de los corpúsculos, los cuales podían fácilmente identificarse con los átomos, pero la diferencia estriba en que para Boyle los corpúsculos y sus movimientos mecánicos, sí están gobernados por un principio y una causa absolutos que es Dios, mientras que para los atomistas, los átomos y sus movimientos no están sujetos a ningún principio de gobierno, sino al azar; y, por otra parte, su idea de desarrollar una concepción propia de la naturaleza en donde la materia y el movimiento, en tanto principios mecánicos, permitiesen explicar los fenómenos físicos y químicos de modo claro, con un conocimiento de en qué consisten la materia, las partículas o corpúsculos, cómo se da la composición de las sustancias, las coaliciones corpusculares, los principios o elementos de las sustancias, etc.

Como hemos señalado, el cuestionamiento de Boyle a las explicaciones aristotélicas y alquímicas sobre fenómenos naturales, se debe -en gran medida- a que dichas explicaciones asumen la existencia de cualidades ocultas en los procesos de cambio en la naturaleza, además de que la conciben de manera hipostasiada. Por esta razón, Boyle piensa que una concepción corpuscularista permite que las explicaciones naturales no se refugien en conceptos y nociones que aludan a "formas substanciales" o "cualidades ocultas", sino que al concebirlas en términos de explicitar sus mecanismos internos, las provee de una inteligibilidad que las otras explicaciones no proporcionan.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En sus obras *The Origin of Forms and Qualities According to the Corpuscular Philosophy* (1666) y *About the Excellency and Grounds of the Mechanical Hypothesis* (1674) es donde Boyle desarrolla esa nueva filosofía mecánico-corpúscular (o *hipótesis corpuscular*, como también la llama) cuya superioridad explicativa -al decir del propio Boyle- sobre las filosofías aristotélica y alquímica radica en las ventajas que ofrece la hipótesis mecánica, a saber: la claridad e inteligibilidad en las nociones que usa para explicitar el funcionamiento y los mecanismos de los fenómenos naturales, apoyada en mínimos principios claros como la materia y el movimiento, los cuales definen a cada uno de los efectos naturales o fenómenos según sus características materiales de movimiento, figura, tamaño, posición, reposo, orden y textura; por ello, todas las composiciones y cambios de los cuerpos se explican por la combinación mecánica de sus movimientos materiales. Más ampliamente, esta hipótesis de Boyle explica que los movimientos mecánicos de los cuerpos son posibles gracias a la concurrencia de Dios en la creación y mantenimiento de la naturaleza, porque es una obra que ha sido hecha y es preservada a través de las leyes que su creador ha establecido, lo que permite explicar a los fenómenos naturales como afecciones mecánicas materiales producto del movimiento, tamaño, peso y forma de sus corpúsculos constitutivos, sin recurrir a conceptos físicos ininteligibles como formas substanciales u oscuros principios incorpóreos. En último término, Dios como autor del universo y su libre legislador, es necesario para la conservación y eficacia de todo agente físico particular.

En la búsqueda de una amplia recepción filosófica de su hipótesis corpuscular, Boyle dedica considerables esfuerzos para hacerla más accesible y

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

aceptable mediante detalladas exposiciones en varios de sus escritos. En su *The Origin of Forms and Qualities According to the Corpuscular Philosophy*, Boyle antepone a su exposición un señalamiento muy preciso acerca del papel de Dios en la naturaleza y en donde su hipótesis corpuscularista, enfocada a los objetos puramente corpóreos y dejando de lado a las cosas incorpóreas, a los actos milagrosos y a las cuestiones sobrenaturales, jugará el papel de auxiliar en el estudio y conocimiento del movimiento, cualidades, orden y regularidades de los fenómenos físicos. Para tal efecto, Boyle lo explica desde una doble concepción de la naturaleza (que complementa la distinción que más arriba expusimos), entre lo que él llama el primer *original de las cosas* y el posterior *curso de la naturaleza*, son dos aspectos y dos momentos en que la naturaleza material se define tanto por su relación universal con la providencia divina y sus leyes del movimiento como por la diversidad de su funcionamiento mecánico específico. En palabras de Boyle el primer aspecto se describe así: "no sólo...Dios dio movimiento a la materia sino que en el comienzo él tanto dirigió los distintos movimientos de las partes de ella como los trazó en el mundo que él diseñó que deberían estar compuestos (dotados con los principios y estructuras *seminales* o modelos de criaturas vivientes), y estableció aquellas *reglas del movimiento*, y ese orden corpóreo entre las cosas, los cuales estamos acostumbrados a llamar las *leyes de la naturaleza*" (Boyle, 1979: 139). En tanto, el segundo aspecto (el curso de la naturaleza) refiere otro momento de la relación entre la naturaleza y sus principios mecánicos, del modo siguiente: "el universo una vez al ser estructurado por Dios, y las leyes del movimiento establecidas y todas sostenidas por su incesante concurso y general

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

providencia, los fenómenos del mundo así constituidos son físicamente producidos por las afecciones mecánicas de las partes de la materia, y que actúan uno sobre otro de acuerdo a las leyes mecánicas" (*Ibidem*, 139). El análisis de estos aspectos de la naturaleza nos permite apreciar que, desde el punto de vista boyleano, es preciso determinar con claridad, por una parte, lo que llamaríamos aquí la "dimensión ontológica" de la naturaleza, referida al diseño, movimiento, orden y leyes de la naturaleza; y por otra parte, lo que llamaríamos la "dimensión epistemológica", definida por el conjunto de fenómenos físicos producidos por las leyes mecánicas que posibilitan su conocimiento por medio de un enfoque, por ejemplo, corpuscularista, para una clara inteligibilidad de los fenómenos naturales.

Cabe señalar que estos dos aspectos le servirán para darle mayor sustento a su proyecto completo de filosofía corpuscular como filosofía mecánica, en donde la imagen corpuscular de los fenómenos pretende ser más detallada, como anteriormente dijimos, para ofrecer explicaciones mecánicas del movimiento corpuscular, por ejemplo, cuando en los procesos químicos se describen la acción de un ácido formado de corpúsculos puntiagudos, lo cual permite que ensarte las partículas romas de un ingrediente no ácido que participe en el proceso combinatorio, pues "los ácidos eran ácidos no porque contuvieran alguna esencia, cualidad, o forma de acidez, sino porque sus partículas tenían puntas agudas y así eran capaces de atacar la superficie de los metales" (Brooke, 1998: 122).

3.3 Corpuscularismo y Explicación Mecánica en Boyle.

¿Qué es lo que ofrece, según Boyle, la hipótesis corpuscular a los estudios naturales que otros enfoques no proporcionen? Una respuesta a esta pregunta la

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

da el mismo Boyle cuando destaca las bondades del corpuscularismo como una explicación mecánica que tiene ventajas sobre las otras explicaciones rivales (como las aristotélicas, las alquímicas o las *espagíricas*, que buscaban la transmutación de metales rudos en oro y plata) al no utilizar nociones ni principios oscuros que compliquen los estudios y las discusiones en la filosofía natural. Concretamente, Boyle considera que su hipótesis corpuscular trata de ofrecer una explicación más inteligible y adecuada sobre cómo operan los fenómenos naturales sin recurrir a nociones físicamente incomprensibles u oscuras; bastarán pocos principios básicos y suficientes, como la materia y el movimiento, para explicar las operaciones en los hechos de la naturaleza mediante agentes físicos, porque explicarlas por un tipo de agente cuya naturaleza sea inmaterial siempre hace más difícil a una investigación. Esto asegura que pueda eliminarse desde un principio toda referencia o presencia de algún particular agente sobrenatural, oculto o mágico con el que se pretenda dar una efectiva explicación de los movimientos, cambios y fenómenos físicos. Para Boyle, la admisión de Dios como creador, ordenador, sustentador y legislador del mundo representa una de las razones más favorables para su hipótesis, porque es más aceptable que exista un principio de gobierno, a que no exista ninguno, o sea éste el azar. Considerando a la materia y al movimiento como los principios mecánicos por excelencia, Boyle sostiene que su poder explicativo radica en su simplicidad, inteligibilidad y universalidad, esto es, pueden explicarse —mecánicamente— desde fenómenos visibles hasta fenómenos no perceptibles a simple vista; para este último caso, la necesidad de auxiliarse de instrumentos de observación y de experimentación representará para Boyle el punto donde su filosofía corpuscular se conecta con la justificación de su filosofía

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

experimental. Esto apunta a que, en último término, Boyle pretenda que su hipótesis mecánico-corpúscular aspire a deducir la explicación inteligible y clara de la gran mayoría de los fenómenos naturales desde la materia y el movimiento como los principios mecánicos básicos de la naturaleza.

Esa inteligibilidad de la explicación corpuscularista era uno de los principales motivos por los que Boyle creía firmemente en ganar partidarios para su doctrina, mostrando la simplicidad, inteligibilidad y universalidad de sus principios mecánico-corpúsculares.

A continuación, a modo de ilustración, exponemos la explicación corpuscularista sobre el funcionamiento de la naturaleza con base en los textos de Boyle ya citados en la sección anterior:

Los principios primarios de las cosas corpóreas son la materia y el movimiento. Hay una sola materia universal y común a todos los cuerpos, la cual es una substancia extensa, divisible e impenetrable; lo que significa que nosotros no percibimos esa substancia en su propia naturaleza, sino que sólo vemos sus manifestaciones en la diversidad de cuerpos físicos, y creemos que esa diversidad proviene de algo ínsito a la materia. Observando los cambios naturales y materiales, no creemos que todo se encuentre en reposo y sin conexión alguna entre sí. Por esto, consideramos que esa materia universal deba tener algún tipo de movimiento localizado en todas o en algunas de sus partes y que actúa en varios sentidos o direcciones, esto es, dice Boyle "nosotros simplemente vemos en el universo o masa general de materia que hay realmente una gran cantidad de movimiento, y que está diversamente determinado, y que incluso diversas porciones de materia están en reposo" (Boyle, 1979: 18). Esta diversificación es el

primer modo o afección de la materia dividida de manera natural en sus partes y porciones efectivas; la división se realiza en partes muy pequeñas, tan diminutas, que algunas no son perceptibles a simple vista, ni sus movimientos (por lo cual Boyle considerará necesario el uso de instrumentos auxiliares de los sentidos, como el microscopio). Estas diminutas partes de materia forman -por coalición- a los cuerpos dándoles un tamaño y forma propios. El volumen, la figura y el movimiento (o el reposo) conforman los tres modos o afecciones primarios más comunes de dichas partes de la materia. Cuando algunas de estas partes de la materia se juntan, se genera una cierta posición o postura y un cierto orden en ellas; y si muchas de las diminutas partes de materia confluyen en un cuerpo, de ahí resulta la textura de un cuerpo. En esta materialidad, el ser humano posee órganos de los sentidos donde cada uno de ellos es capaz de recibir cierto tipo de impresiones de los objetos externos o cuerpos, o incluso de objetos incorpóreos. Las percepciones de las impresiones se llaman color, sonido, calor, olor, y provienen de los movimientos peculiares de las partículas constitutivas de los objetos. De tal manera, que esas cualidades sensibles, productos de dichos movimientos, son considerados los efectos o consecuencias de los atributos de la materia.

Por otro lado, esta misma hipótesis corpuscularista de Boyle, explica que la generación de un cuerpo se produce cuando una cierta cantidad de materia sufre la incorporación, suspensión o transposición (o todas estas formas) de corpúsculos, logrando integrar las cualidades necesarias y suficientes que determinan si un cuerpo es metal, piedra o agua. Es por esto que el concurso de los atributos esenciales de un cuerpo define la forma que lo constituye y excluye

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

cualquier otra clase de cuerpo. Boyle afirma que esta forma del cuerpo es un cierto "carácter", un "estado peculiar de la materia", una *modificación esencial*, es decir, *modificación* que es un determinado modo de existencia de la materia, y *esencial* porque en ella concurren las cualidades accidentales de la materia que definen a un cuerpo particular.

En esta perspectiva, un cuerpo tiene la capacidad de adquirir otras cualidades -aparte de las ya mencionadas- en la integración de su forma. Esa adquisición o pérdida de alguna cualidad se le llama *alteración*, y se presenta de los siguientes modos, según Boyle: (a) si un cuerpo pierde o se destruye alguna o todas sus cualidades esenciales se le llama *corrupción*; (b) si un cuerpo se corrompe lentamente y adquiere cualidades que ataquen a nuestros sentidos (olor o sabor) es una clase de corrupción llamada *putrefacción* (Boyle, 1979: 50-52). a pesar de que existan cambios corporales, sean superficiales o profundos, no se eliminan ni se pierden partes de la materia, pues como señala Boyle: "Pero ni en ésta ni en ni en ninguna otra clase de corrupción hay algo *substancial* destruido...sino sólo esa *conexión especial de las partes, o manera de su coexistencia*" (*Ibidem*: 52). La excelencia de una explicación mecánico-copularista de los fenómenos naturales radica en que permite dar cuenta específica de fenómenos particulares en la filosofía natural, es aplicable a fenómenos grandes y a pequeños, y puede responder -según Boyle- satisfactoriamente a preguntas concretas del investigador como cuál es el agente que produce un fenómeno, por qué medios, de qué manera se produce, y qué

cambios físicos ocurren en él, es decir, todo por medio de agentes naturales regidos mecánicamente por la materia y el movimiento.

Sin embargo, también una explicación como ésta tiene sus límites, pues no puede explicar *todos* los fenómenos (aunque sea una aspiración de la filosofía natural), porque -como lo indica el mismo Boyle- sería como afirmar que sólo "por poner juntas las Letras del *Alfabeto*, uno puede en verdad construir todas las palabras que se encuentran en un Libro, como en *Euclides*, o *Virgilio*; o en un Idioma, como el *Latín*, o el *Inglés*; mas no todas ellas pueden por ningún medio bastar para proporcionar palabras a todos los libros de una gran Biblioteca, mucho menos para todos los Idiomas del Mundo" (Boyle, 8-2000: 107). Esto significa que si a los fenómenos de la naturaleza se les puede concebir como resultado de combinaciones y configuraciones de partículas, no todas las combinaciones son explicables por las que sí pueden serlo, esto muestra que Boyle es consciente de los límites propios de la explicación mecanicista, aunque sus aspiraciones sean más ambiciosas, como hemos dicho.

Ya se vio más arriba que concebir a la naturaleza como un complejo ordenamiento de relaciones y movimientos entre partículas de materia (corpúsculos), define la naturaleza de los cuerpos, sus cambios físicos y las regularidades de sus movimientos. Boyle afirma que frecuentemente estas regularidades de cuerpos inanimados se entienden como las leyes del movimiento y del reposo establecidas por Dios, y por esta razón se les considera verdaderamente leyes de la naturaleza; sin embargo, subraya que esa acepción es "una expresión impropia y figurativa" porque, si se quiere hablar estricta y

propriadamente de *ley*, entonces tendría que definirse del modo siguiente: "una ley es sólo una regla ideal para actuar de acuerdo a voluntad declarada de un superior, es claro que ninguna cosa sino un ser intelectual puede ser propriadamente capaz de aceptar y actuar por una ley" (Boyle, 1996: 24). No obstante, el que se considere que los cuerpos inanimados actúan por medio de leyes, no es únicamente porque se perciba en ellos una actuación regular o que se piense que actúan para ciertos fines, puesto que "en las cosas artificiales vemos muchos movimientos realizados muy ordenadamente, y con una tendencia manifiesta hacia fines particulares y predesignados –como en un reloj, los movimientos de la cuerda, los engranes, y otras partes están tan templados y regulados que la manecilla en la carátula se mueve con gran uniformidad, y parece moderar su movimiento de manera que no llega a las marcas que señalan el tiempo del día ya sea un minuto más pronto, o un minuto más tarde, de lo que debería hacerlo para dar la hora" (Boyle, 1996: 25). Esta precisión terminológica de Boyle nos conduce a entender que la regularidad que percibimos en un fenómeno obedece a que existe un orden en el movimiento de la naturaleza, de donde inferimos por semejanza un movimiento regular para todo fenómeno, que incluso puede mostrarnos sus variaciones, las cuales debemos registrar. Esto es lo que entendería Boyle por una ley natural o física en tanto una noción de regularidad fenoménica observada por *nosotros*, dicho en términos de McGuire: "una ley de la naturaleza es la conceptualización de la similitud observada entre los fenómenos, que surge del hecho de que la mente humana observa los fenómenos como similares" (McGuire, 1972: 536).

Aunque la cita de McGuire no destaca que la regularidad en los fenómenos naturales –como Boyle lo explica- proviene del funcionamiento inicial del mundo,

accionado desde el acto de la creación divina de las cosas (que va de la materia informe y universal a su división en partes en diferentes cantidades, formas y organizaciones) hasta la estructura mecánica del mundo, similar a un "gran autómeta" en movimiento. Esto último -como se explicó en el capítulo anterior- alude a la metáfora mecanicista con la cual Boyle asume que todo cuerpo necesita de otros cuerpos para actuar y mostrar sus efectos (fenómenos) como las partes manifiestas de la gran maquinaria del mundo, su armazón Boyle la imagina como

"una gran y...preñada autómeta, que como una mujer con sus mellizos en su matriz, o un barco equipado con bombas, artillería, etc., es una máquina tal en cuanto comprende o consiste de varias máquinas menores. Y esta máquina compuesta, en conjunción con las leyes del movimiento libremente establecidas y aún mantenidas por Dios entre sus partes, la veo como un complejo principio, de donde resulta el establecido orden o curso de las cosas corpóreas" (Boyle, 1996: 40).

Esos movimientos de la "gran máquina del mundo" muestran los *efectos o fenómenos* naturales a través de los principios de la acción mecánica de materia y movimiento, que determinan y modifican a los cuerpos individuales. De esta manera, la indagación boyleana de la naturaleza tiene por objetivo hacernos inteligible la estructura del mundo a través de nuestra capacidad (conocimiento empírico) para inquirir en los efectos fenoménicos de las cosas y buscar ampliar nuestro conocimiento natural mediante el diseño de explicaciones de tipo experimental como lo exponemos más adelante en los capítulos 3 y 4.

Uno de los esfuerzos de Boyle será buscar cómo la experimentación -como un proceso complementario y confiable de investigación en la filosofía natural experimental- contribuye a hacer sólidas las explicaciones mecánico-corpúsculares. Puesto que las explicaciones corpuscularistas pretenden fundarse en la razón y en la experiencia, esto plantea la necesidad de que una filosofía

experimental haga un uso más extenso y mejor del experimento en sus investigaciones, y que cuando sea necesario el filósofo natural no se conforme con los fenómenos ofrecidos por la naturaleza y efectúe ensayos y pruebas (diseñados a propósito) para ampliar su experiencia y modificar sus hipótesis sobre un hecho de la naturaleza (Boyle, 8-2000: 292).

Anteriormente señalamos que, a pesar de que en la mente de Boyle está la idea de ampliar y aplicar universalmente las explicaciones mecánicas a todos aquellos fenómenos naturales susceptibles de su enfoque, hay límites para la propia explicación mecánica, y que la experimentación es un esfuerzo que pretende complementar a la investigación filosófico-natural. Peter Alexander lo expresa del siguiente modo: “No se asume desde el principio que cualquier fenómeno observable será mecánicamente explicado aunque se espere que al menos alguna parte de su explicación será mecánica; el proyecto es llevar la explicación mecánica tan lejos como sea posible” (Alexander, 1985: 62). Este entusiasmo por el mecanicismo significaba encontrar más posibilidades de ampliar el alcance de las explicaciones mecánicas, posibilidades que serán buscadas por Boyle en la experimentación.

3.4 El Voluntarismo Teológico en la Explicación Boyleana de la Naturaleza.

El desarrollo de la filosofía mecánico-corpúscular de Boyle no significó eliminar todas las explicaciones por causas finales. Como ya se mencionó en el capítulo anterior, una parte importante de la concepción boyleana del mundo era justamente su *voluntarismo teológico*, que prácticamente en todos los estudiosos de la naturaleza en el siglo diecisiete -en mayor o menor medida- coexistía entre

sus concepciones filosóficas y sus creencias teológicas, las cuales permitían abordar el tema de las explicaciones finalistas. Una buena parte de esas creencias teológicas estaba profundamente arraigada en la filosofía natural de la época a través de la llamada *teología voluntarista* (o voluntarismo teológico), cuya principal idea se refiere a la relación entre el poder y la voluntad divinas en la creación del mundo y la providencia como causa activa en la naturaleza.

Con la finalidad de comprender el modo en que el voluntarismo se inserta en la visión naturalista de Boyle, presentaremos algunas de las más influyentes ideas teológicas que en el siglo diecisiete definieron las posiciones de los filósofos naturales respecto a la relación entre su concepto de Dios y la forma más adecuada para conocer el mundo creado por ese Dios.

Los intereses teológicos de muchos filósofos naturales de esa época los ubicaban en dos grandes grupos, según Jan Wojcik (1997: 190): los *voluntaristas teológicos*, que le otorgan más atención al poder y a la voluntad divinos y menos a los atributos de Dios (sabiduría, bondad, justicia), y los *racionalistas teológicos*, quienes hacen más énfasis en los atributos de Dios (sabiduría, justicia, bondad) junto a su poder y voluntad. De acuerdo con esta caracterización, aquí nos interesa señalar que los “voluntaristas teológicos” tienden a ser empiristas, como lo indica Wojcik, pues ellos creían que “el mundo creado es totalmente contingente a la voluntad de Dios y que los seres humanos pueden obtener conocimiento de qué clase de mundo Dios ha creado sólo al investigar el mundo empíricamente” (Wojcik, 1997: 190). Esto significa que la estructura de la naturaleza creada por Dios es susceptible de ser develada empíricamente para conocer su funcionamiento.

De estas tesis dependen las respuestas filosóficas que se den al problema del vínculo entre el poder y la libertad de Dios, por un lado, y la creación de la naturaleza, por el otro. Según Wojcik (*Ibidem*, 192), hay tres maneras de clasificar las posiciones respecto a esa cuestión: (1) la representada por algunos miembros de los llamados *Platónicos de Cambridge* (Henry More, por ejemplo), quienes sostenían que Dios no era libre completamente al crear el mundo, pues se encontraba atado a un patrón o modelo, ya fuera éste externo a él o de su propia naturaleza; (2) la posición más problemática y menos clara, según Wojcik, está representada por *René Descartes*, quien sostenía que Dios era libre por completo en el momento de la creación, pero cuando opta por crear este mundo nuestro, él mismo se limita -por su propia naturaleza- para abstenerse de intervenir en este su mundo creado; y (3) la posición que representa *Robert Boyle*, quien considera a Dios libre por completo para crear cualquier mundo y que, además, después de crearlo, Dios es libre para seguir interviniendo en su mundo creado en el momento en que él así lo elija. Dios puede intervenir de tal modo que las leyes de la naturaleza, al depender de su voluntad, las puede seguir sosteniendo o las puede cambiar, mas "él puede invalidar la mayoría, si no todos los axiomas y teoremas de la filosofía natural" (Wojcik, 1997: 196, 19n). Así, según Boyle, conocemos la intervención de Dios en la naturaleza mediante los fenómenos físicos observables, por ejemplo, los movimientos repetidos de los cuerpos celestes o la armónica estructura de los seres vivos (Boyle, 10-2000: 496).

El voluntarismo teológico de Boyle explica que los movimientos (impresos por Dios) que dieron origen a las cosas, en la actualidad, se conservan en ellas debido a la transmisión de dichos movimientos entre ellas por el concurso de Dios

(McGuire, 1972: 532-533). Esto quiere decir que Dios concurre en la naturaleza "para mantener la eficacia de las causas secundarias implantadas en ella en el principio" (*Ibidem*: 533); por consiguiente, la importancia de las causas secundarias en el contexto de explicación de los fenómenos naturales radica en que "frecuentemente surgían de factores no teológicos tales como la posición filosófica de un pensador, la naturaleza de los problemas con que trata (i.e., teóricos o tecnológicos), o la importancia puesta en la experimentación" (McGuire, 1972:530). Son las causas secundarias (o más próximas) las que permiten nuestras aproximaciones particulares al entramado causal de la naturaleza mediante el estudio experimental de los fenómenos.

Por esas razones, según Boyle, Dios *comprende* sus propias obras con el fin de preservarlas, teniendo cuidado de mantener el sistema del mundo y su proyecto original de creación, en especial las leyes generales del movimiento puestas en los trozos grandes y pequeños de la materia; pero además, el papel de las causas será de mucha importancia para Boyle al escudriñar la naturaleza por la vía de la práctica experimental. Éste será precisamente el problema que abordaremos en el próximo capítulo, analizando cuáles es el carácter epistémico de la experimentación boyleana, sus características como procedimiento epistemológico en busca de explicaciones ciertas acerca de los fenómenos, el papel de las hipótesis en la experimentación y su relación con los hechos, y, por último, la certeza moral como el tipo de conocimiento ofrecido por las demostraciones experimentales.

Capítulo 4. Experiencia, Experimento y Prueba Experimental en Boyle.

4.0 Introducción.

En el capítulo anterior hemos expuesto y asumido que la aspiración de Boyle por explicar en una forma clara e inteligible cómo ocurren los fenómenos físicos, motivó el desarrollo de su concepción mecánico-corpúscular de la naturaleza como un respaldo conceptual para sus hipótesis físicas y su práctica experimental.

En el presente capítulo, analizo cómo Boyle desarrolla su práctica experimental con la intención de que se constituya en un procedimiento empírico y práctico que haga accesible la estructura causal de los hechos físicos, por qué la experimentación boyleana no puede admitir un sistema concluso de conocimientos, ni tampoco un método infalible de investigación natural, y por qué es una alternativa metodológica, especialmente su experimentación neumática.

Sostengo que los rasgos de la experimentación boyleana se articulan considerando que las pruebas experimentales son modos que permiten hacer más viables e inteligibles los hechos, como el caso de los fenómenos neumáticos, para dar explicaciones físicas con un carácter falible reconocido por Boyle. Dicho carácter falible obliga a que la experimentación pretenda ser un procedimiento que aporte evidencia más directa de la estructura y propiedades mecánico-causales de los cuerpos, para lo cual debe ser un trabajo totalmente disciplinado y experto. Debido a esto, la experimentación constituye una manera de orientar y educar a la experiencia humana en su estudio de la naturaleza, esto significa que todo conocimiento de un hecho natural es adquirido por el testimonio de los sentidos o

por el testimonio de otros y siempre está sujeto a una evaluación colectiva. Por esta razón, uno de los propósitos de la experimentación boyleana es educar y entrenar al experimentador para que adquiriera el suficiente conocimiento para saber demostrar adecuadamente sus hipótesis a través de su pericia experimental (Boyle, 3-1999: 13).

4.1 Características de la Experimentación Boyleana.

Como es sabido, una de las más importantes tareas asumidas por la comunidad de filósofos naturales del siglo diecisiete en Europa fue la búsqueda de nuevos modos y procedimientos de investigación que pudiesen conducirlos al establecimiento de conocimientos ciertos acerca de los hechos de la naturaleza. Por esto, las aspiraciones y esfuerzos de los más destacados filósofos naturales de la época (Galileo, Bacon, Gassendi, Descartes, Hobbes y, entre ellos, Boyle) estuvieron encaminados a encontrar un procedimiento o instrumento metodológico confiable que les permitiera conocer, con la mayor certeza posible, la estructura causal de la naturaleza.

De entre dichos esfuerzos destacaron dos direcciones epistemológicas fundamentales que orientaron el desarrollo de los procedimientos metodológicos de aquellos filósofos naturales: una fue la vía que buscaba la certeza absoluta en la demostración matemática (sobre todo, en las verdades lógicas y geométricas); y otra, fue la vía de la certeza probable arrojada por las indagaciones experimentales (entendida como un conocimiento provisional y revisable).

Ambos caminos coincidían en su rechazo a la vía silogística aristotélica (demostración deductiva) como el método más apropiado para descubrir nuevas

verdades sobre el mundo. Frente a este rechazo, aquellos estudiosos de la naturaleza pugnaron por pensar en un renovado concepto de "demostración" que caracterizara distintivamente a sus propuestas metodológicas; este concepto "es descrito en términos de lo que es fácilmente visible o lo que puede ser clara y distintamente visto" (Machamer, 2000: 93). Esto significa que *demostrar* es hacer claramente visible e inteligible algo a los ojos y a la mente del hombre. De esta manera, si un método conseguía demostrar y hacer inteligibles (explicar) los fenómenos naturales, entonces ese método podía resolver todos los problemas de la filosofía natural (*Ibidem*: 95). Lo central en esta tarea filosófico-natural, a fin de cuentas, era determinar cómo ocurren los fenómenos, cómo se producen y cómo explicarlos de una forma clara para poder entenderlos.

En el caso de Robert Boyle, como veremos a continuación, el desarrollo de una práctica experimental que proporcionase soporte empírico y práctico a sus explicaciones mecánico-copúsculares de los fenómenos de la naturaleza, cuya tarea consistió en diseñar y emplear artefactos experimentales para estudiar y explicar dichos fenómenos, y ponerse a prueba como un procedimiento confiable de investigación y demostración en la filosofía natural; esta práctica experimental tuvo en la experimentación neumática a su modelo representativo.

4.1.1 La Experimentación Boyleana como Alternativa Metodológica en la Filosofía Natural.

En la búsqueda de alternativas metodológicas en la filosofía natural que pudiesen explicar ciertamente los fenómenos de la naturaleza, Robert Boyle se esfuerza por

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

desarrollar la experimentación como un procedimiento distinto de investigación natural respecto de los excesos especulativos de la vía racional y de las prácticas “experimentales” de magos y alquimistas. El estudio hipotético de la estructura causal de los fenómenos naturales precisaba de esa práctica experimental complementaria de los estudios físicos que, en la medida de lo posible, permitiera la observación y la reproducción del comportamiento, los efectos y las condiciones de los hechos naturales.

La experimentación, en el contexto de su filosofía natural, es concebida por Boyle como un modo de investigación que nos pueda hacer accesible la estructura y el funcionamiento de los fenómenos naturales, que nos ofrezca una evidencia consistente, suficiente y aceptada de ellos, con la cual podamos narrar su historia , es decir, explicarlos claramente.

En su trabajo por diseñar un diferente tipo de práctica experimental para sus estudios, en muchos lugares de su obra Boyle reconoce y exalta a Francis Bacon como el antecedente filosófico más importante para su experimentación, pues lo considera “uno de los primeros y más grandes Filósofos Experimentales de nuestra Época” (Boyle, 11-2000: 293). Boyle confiesa que su propia experimentación es una continuación del ejemplo que representan los estudios baconianos sobre la naturaleza al señalar que “diseñé la Narrativa de lo que había probado y observado para una Continuación de la Historia Natural de Sir Francis Bacon” (Boyle, 2-1999: 18). Bacon, según Boyle, siempre jugará el papel de guía orientador en la forma de hacer las narraciones de sus estudios naturales, aunque el propio Boyle se considere sólo un modesto naturalista, cosa que podemos notar en una información que ofrece en su *Experimenta et Observaciones Physicae*, uno de sus

últimos trabajos de 1691, cuando refiriéndose a Bacon, dice: "he hecho uso sólo de una pequeña parte de la Libertad que me permite el Ejemplo de un Guía tan grande en el modo de Escribir la Historia Natural" (Boyle, 11-2000: 375).

A este respecto, cabe señalar que la experimentación boyleana se suma a la tarea de elaborar las historias naturales de los fenómenos con la recopilación y registro de datos, para concebirlas en los términos del propio Boyle ("yo he usualmente comprendido a las Observaciones, así como también a los Ensayos, bajo el Título de Experimentos": Boyle, 11-2000: 374), esto es, como observaciones, experimentos y demostraciones, cuyo carácter colectivo, en referencia a las historias naturales baconianas, Boyle no pierde de vista al afirmar que "no se espera que... un solo hombre debiera poder escribir una Historia Natural desde sus propios Experimentos y Pensamientos" (*Ibidem*), que la empresa experimental es ardua y necesariamente comunitaria. Este esfuerzo colectivo de la práctica experimental, en Boyle planteará, por lo menos, dos exigencias: una, que las prácticas desarrolladas por los experimentadores sean públicas, y dos, que sometan sus informes experimentales a la opinión colectiva de los experimentadores. Más adelante veremos cómo estas dos exigencias constituirán uno de los puntos centrales en la determinación del tipo de conocimiento generado por la experimentación boyleana y sus respectivos procedimientos demostrativos.

La orientación baconiana que asume Boyle le permite caracterizar a la experimentación como una vía práctica de investigación tanto *útil* como *modesta*, acorde con las perspectivas de una reforma del conocimiento planteadas desde Bacon, debido a lo cual Boyle lo considera un "gran Restaurador de la Física", porque su modo de investigación es "más útil para hacer Descubrimientos en el

Mundo Intelectual” y porque intentó “restaurar el modo más modesto y útil practicado por los Antiguos, de Investigar en los Cuerpos particulares, sin apresurarse a hacer Sistemas” (Boyle, 8-2000: 75-88). Si contemplamos de cerca estos aportes baconianos destacados por Boyle, estamos ante la presencia de dos de las características básicas que también definen a la experimentación boyleana como alternativa metodológica: *su utilidad y su actitud antisistémica*. De ambas nos ocuparemos más adelante en este mismo capítulo.

Será esa utilidad que Boyle percibe en la experimentación baconiana, la que le dé la posibilidad de vincular su visión mecánico-corpúscular de la naturaleza con el desarrollo de una práctica experimental que le ofrezca mayor evidencia de los hechos para sus demostraciones y explicaciones naturales. Precisamente, hemos señalado que las ideas experimentales boyleanas son producto de la necesidad de dar a sus explicaciones mecánicas una mayor fundamentación empírica. Esto significa que para demostrar fácticamente lo más claro posible el funcionamiento mecánico-corpúscular de la estructura causal de la naturaleza, se necesita de un procedimiento práctico y operativo que logre incrementar la evidencia empírica de los estudios naturales de Boyle. Esto será el objetivo que, en última instancia, se propone la experimentación boyleana al tratar de ofrecer evidencia fáctica de *los fenómenos naturales como efectos de operaciones corpúsculares*, ante lo cual el propio Boyle admitirá que si bien “había poca conexión sistemática entre los hechos empíricos y la hipótesis corpúscular, el estatus operacional, si no ontológico, de los corpúsculos estaba más allá de cualquier duda” (Meinel, 1997: 178).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La experimentación de Boyle será el medio para que la construcción de las "historias naturales" sea mediante un conocimiento filosófico-natural apropiado, generado por los experimentos, es decir, fundado en y demostrado por la evidencia de hechos experimentalmente producidos. Así, dichas "historias naturales" desafiarán al experimentador en el diseño de aquellas explicaciones tentativas y probables que sometan a prueba sus facultades epistemológicas para convertirlas en explicaciones inteligibles de las causas físicas de los fenómenos.

La experimentación boyleana exigirá que todas las hipótesis y explicaciones se funden en hechos empíricos, y no en principios especulativos preconcebidos arbitrariamente; aunque Boyle presupone los corpúsculos e interpreta los fenómenos naturales en términos de ellos, el punto de Boyle es que las prácticas experimentales se definen como aportadoras de *evidencia directa* de las propiedades mecánicas y causales de los fenómenos físicos (Sargent, 1995: 40), cosa que pondría a prueba sus hipótesis corpuscularistas y ver si éstas tendrían o no un carácter metafísico. De esta manera, la experimentación boyleana tendrá por objetivo conocer las cualidades corpóreas de los agentes participantes en los efectos fenoménicos de la naturaleza, a fin de obtener la mayor cantidad de evidencia experimental (fáctica) aportada para sus explicaciones corpuscularistas. Esto explica en buena parte, como señalamos más arriba, el papel que juega la experimentación como complemento metodológico de la hipótesis central de Boyle, el corpuscularismo, tal y como lo afirma Larry Laudan: "Cualquier intento para explicar la metodología de Boyle debe, por supuesto, iniciar con el hecho de que él era un ferviente partidario de la filosofía corpuscular o mecánica" (Laudan: 1981:34).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para Boyle, la filosofía mecánico-corporcular es una hipótesis, un a priori, que necesita de la experimentación para demostrar empíricamente sus afirmaciones, es decir, la inteligibilidad de una visión corpuscularista precisa de las pruebas experimentales porque, como afirma Sargent: "Ni la observación común ni el análisis matemático revelarán la manera por la cual los corpúsculos producen sus efectos; sólo la experimentación así lo hará" (Sargent, 1989: 35). Aunque, como dijimos arriba, sobre todo operacionalmente. Así, la experimentación puede ser entendida como un procedimiento activo e interventivo que cuestiona, somete a juicio e intenta revelar el funcionamiento mecánico interno de la naturaleza; esto es, la naturaleza estudiada en *su particularidad como dominio físico*. Por esta razón, los investigadores de la naturaleza tienen la obligación "no sólo de conocer las leyes generales y el curso de la naturaleza, sino de inquirir en la estructura particular de los cuerpos" (*Ibidem*: 34).

Este procedimiento experimental boyleano, activo e interventivo, además está caracterizado por su naturaleza *fallible*, la cual podría verse como una debilidad o limitación metodológica que, en el contexto de la actitud experimental de Boyle, se revela como uno de sus más fuertes rasgos distintivos. El antecedente baconiano que suscribe la experimentación boyleana de que es mejor aprender de las fallas que de las confusiones (Boyle, 2-1999: 13), más el desarrollo de las conocidas prácticas experimentales de Galileo y Harvey en su época, contribuyeron para que la actitud metodológica de Boyle se apoyara fuertemente en la idea de que "todo lo que se requiere para una justificación es que el método con frecuencia tenga éxito, no que nunca falle" (Sargent, 1989: 32). Esto nos plantea que la frecuencia de los buenos resultados en el uso de un método lleva

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

implícito, como en el caso de la experimentación, el que sea también un procedimiento falible; incluso Boyle considerará que "la Certeza Física, que se pretende para las Verdades demostradas por los Naturalistas, es, incluso donde está correctamente establecida, sólo una clase o grado inferior de certeza, como también lo es la certeza Moral" (Boyle, 8-2000: 65). O sea, que todos aquellos conocimientos aún cuando estén suficientemente bien fundados son susceptibles de perder su verdad. Esta posición permite darnos una idea de por qué la filosofía experimental boyleana no puede admitir un sistema concluso de conocimientos, ni un método completamente infalible en la investigación de la naturaleza, y por qué es considerada una alternativa metodológica.

4.1.2 El Procedimiento Metodológico en la Experimentación Boyleana.

En los inicios de su obra de 1666, *The Origin of Forms and Qualities According to the Corpuscular Philosophy*, Boyle nos da a conocer de forma resumida cuál debe ser la tarea del "naturalista" o filósofo natural en sus investigaciones naturales que, similar a la del "mineralista", vaya acompañada de un método que guíe y mejore nuestro conocimiento de la naturaleza, esto es lo que nos dice: "Así como es parte de un mineralista tanto *descubrir* nuevas minas, y *trabajar* aquéllas que están ya descubiertas, al separar y fundir los minerales para reducirlos a metales perfectos, así estimo que llegar a ser un naturalista no sólo es *idear* hipótesis y experimentos, sino examinar y *mejorar* aquéllos que ya estén descubiertos" (Boyle, 1979: 1). Este planteamiento boyleano es claro de que la labor del filósofo natural no puede reducirse a la sola actividad teórica, sino que exige del experimentador una gran

cantidad de dedicación, habilidad y trabajo prácticos, tanto para el diseño de los experimentos como para la demostración y mejora empírica de sus resultados.

Esta exigencia de la labor experimental para reforzar nuestros conocimientos, apunta a reproducir y variar las condiciones experimentales de un fenómeno como una ayuda para confirmar o rectificar los resultados de nuestros estudios, Boyle pide "ensayar los experimentos muy cuidadosamente, y más de una vez, sobre las considerables superestructuras que tú pienses construir, ya sean teóricas o prácticas; y piensa que es peligroso confiar demasiado en los experimentos únicos" (Sargent, 1986: 31).

El desafío para el "naturalista" es que este nuevo procedimiento muestre realmente ser efectivo y ventajoso para conseguir un conocimiento confiable de los hechos naturales. Pero aquí el asunto importante es que ese conocimiento empírico no dependa de la simple experiencia o de la práctica inmediata, puesto que como Boyle mismo nos advierte, "(e)l filósofo experimental no es un mero empírico....que muy frecuentemente hace experimentos, sin reflexionar en ellos, dado que tiene más en su meta producir efectos, que descubrir verdades" (Sargent, 1989: 30); esto quiere decir que el experimentador tiene que desarrollar una tarea muy específica: generar información fáctica produciendo o reproduciendo experimentalmente (con experiencia y pericia) los efectos naturales que le ayuden a elaborar o demostrar la explicación o hipótesis que haga sobre ellos. Pues un experimento no puede llevarse a cabo adecuadamente sin un cierto conocimiento teórico y sin una instrucción operativa para abordar el estudio de los fenómenos, pues el experimentador debe partir de tener conocimiento acerca de cómo idear y

plantear una hipótesis, o de cómo mejorar con nuevos resultados alguna explicación previamente establecida.

La experimentación y su diseño de experimentos deben reforzar y mejorar los estudios, observaciones y demostraciones de los fenómenos por medio de la puesta en práctica de una cantidad suficiente de ellos, a fin de que sus resultados relevantes proporcionen amplio soporte empírico a las hipótesis o teorías propuestas. En palabras de Sargent, esto más ampliamente significa que "(l)os experimentos serían útiles en tanto proporcionasen los datos para la estructuración de hipótesis, para la elaboración de generalizaciones basadas en las 'asociaciones, y diferencias, y tendencias de las cosas' " (Sargent, 1986: 482). Para poder llevar al cabo su cometido, la experimentación debe cumplir con una importante meta: *educar y entrenar al experimentador* con vistas a desarrollar su capacidad, habilidad y disciplina teórico-prácticas para que sea capaz de idear, plantear y mostrar adecuadamente todas las hipótesis o explicaciones requeridas por sus investigaciones sobre los fenómenos y hechos de la naturaleza.

Hemos venido señalando en este trabajo que la concepción mecánico-corpúscular de Boyle sobre la naturaleza entiende a la experimentación como un procedimiento práctico que intenta probar cómo es el funcionamiento propio de los fenómenos naturales. Considerado de esta manera, el procedimiento experimental en la filosofía natural boyleana exigiría, en las palabras de Marie Boas, que "[t]odo debería ser abierto, claro, evidente y manifiesto; y si esto se hace por prolijidad de estilo y tedio de descripción, éstas serían desventajas menores que deben aceptarse por las enormes ventajas que conllevan" (Boas, 1965: 42). Por consiguiente, las explicaciones meridianas y las descripciones detalladas

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

demandadas por la filosofía natural experimental de Boyle, tienen que derivar de prácticas experimentales que habiliten al experimentador para realizar observaciones directas con ayuda instrumental y manejos prácticos más disciplinados que un simple y lego observador. Esto ayudará a que el experimentador lleve al cabo "observaciones" e "inferencias" de fenómenos (en la reproducción artificial del laboratorio) no mostrados directamente (Hunter, 1994: 161). Una semejante educación experimental debe conducir a un plano donde "el experimentador sea capaz de obtener un grado de certeza en el nivel fáctico que estaría perdido para un investigador más empírico" (Hunter, 1994: 68 / Sargent, 1995: 163).

Hemos insistido que Boyle con su práctica experimental busca, como señala Sargent, "un nuevo modo de hacer filosofía natural que extendería los límites del conocimiento más allá de las apariencias superficiales y conduciría al descubrimiento de verdades que tendrían aplicaciones prácticas" (Hunter, 1994: 57). Efectivamente, la conexión entre su corpuscularismo mecánico y sus procedimientos experimentales permite hacer operable y posible la perspectiva de construir nuevas explicaciones naturales acerca del funcionamiento y operaciones físicas de los fenómenos, así como la necesidad práctica de manipular a los propios fenómenos por medio de su reproducción experimental, la cual sería similar a los procedimientos empleados por los artesanos (a quienes, por cierto, Boyle tiene en alta consideración) al manipular los materiales de la naturaleza (*Ibidem*, 67).

En gran parte, la exigencia de que la experimentación no debe ser una mera práctica "empírica", sino un trabajo disciplinado y experto, y de acuerdo con lo que

para Boyle significa la palabra *experiencia*. Como sabemos, la palabra "experiencia" posee muy diversos significados en la época de Boyle, razón por la cual él delimitará lo que entiende por ese término, no sin antes exponer sus distintos sentidos. Generalmente, por "experiencia" se entiende a veces como lo independiente de la razón; otras, como los fenómenos presentados a nuestros sentidos externos además de nuestras percepciones internas. Esto, según Boyle, es el sentido estricto de la palabra "experiencia". Pero él nos dice que no toma a la palabra "*experiencia*" en este sentido restringido, sino más bien en una acepción más amplia que se refiera a todos aquellos modos de información mediante los que obtenemos algún conocimiento que no se deba a la razón puramente abstracta, en palabras de Boyle esto quiere decir "el conocimiento que tenemos de cualquier hecho, el cual, sin deberse al Razonamiento, o adquirimos por el Testimonio Inmediato de nuestros Propios Sentidos y otras Facultades, o lo acrecentamos para nosotros por el Testimonio Comunicado de Otros" (Boyle, 11-2000: 308).

De acuerdo con esta definición, Boyle nos está hablando de dos clases de experiencia: una, inmediata, y otra, como él la llama, "vicaria". La primera clase la define como la *experiencia personal*, que es "la que un Hombre adquiere inmediatamente por él mismo, y acrecienta para él mediante sus propias Sensaciones, o el ejercicio de sus Facultades, sin la Intervención de ningún Testimonio Externo" (11-2000: 307); y la segunda clase la define, por un lado, como *experiencia histórica*, y por otro, como *experiencia teológica o sobrenatural*. La experiencia histórica es "la que aunque fuese personal en algún Otro hombre, es sólo por su Relato o Testimonio, ya sea inmediata o mediatamente, comunicado a nosotros"; mientras que la experiencia teológica o sobrenatural es aquella "por la

cual conocemos lo que, suponiendo que haya alguna Revelación Divina, Dios desea relatar o declarar referente a Él Mismo, sus Atributos, sus Acciones, su Voluntad, o sus Propósitos” (Boyle, 11-2000: 307-308).

Esta caracterización que hace Boyle de la experiencia, es muestra del rango y alcance de su perspectiva epistemológica respecto al conocimiento de los fenómenos del mundo natural. Creo que esto nos ayuda a entender el papel que juega cada tipo de experiencia tanto en la práctica experimental y sus demostraciones, así como en aquellos sucesos donde posiblemente se revele Dios. De este modo, el aprendizaje y la educación que podemos obtener de estos diferentes tipos de experiencia, para Boyle se encuentran vinculados en el filósofo natural porque éste no conoce una, sino varias maneras o aspectos del funcionamiento de la naturaleza (Boyle, 3-1999: 313), así su imagen mecánico-corpúscular del mundo y el carácter empírico de su experimentación son un ejemplo, desde mi punto de vista, de esa peculiar integración de la experiencia boyleana. *Experiencia y experimentación* forman la unidad que describe el modo distintivo de la práctica experimental de Boyle, podemos decir que no hay una experiencia infalible, esto es, que toda experiencia está sujeta a una valoración, razón por la cual la misma experimentación (sus hipótesis, informes, testimonios, procedimientos y demostraciones) está sujeta al juicio y testimonio de personas confiables. Hecho que nos permite definir uno de los rasgos específicos que posee la experimentación boyleana porque, de acuerdo con el señalamiento de Peter Dear: “Uno [como historiador] no puede describir un conjunto de prácticas experimentales a menos que primero determine lo que *son* las prácticas experimentales” (Dear, 1995: 5).

Ahora bien, en el ámbito de esta experiencia que hace posible el conocimiento de un hecho, se presenta una importante cuestión para el experimentador: ¿cómo debe orientarse en el proceso de su investigación?, ¿debe elaborar y emplear alguna estrategia práctica, algún procedimiento, con el cual logre acceder al conocimiento de los fenómenos naturales?

Para dar una respuesta a esta cuestión, recordemos que la actitud de Boyle respecto a procedimientos metodológicos establecidos, es la misma que mantiene con respecto a los sistemas de conocimiento, Boyle es sumamente reticente y desconfiado respecto a ambos cuando declara lo siguiente: “mi negligencia para armar Teorías me ha hecho elegir abstenerme incluso de *metodizarlas*” (Boyle, 11-2000: 373, énfasis mío).

Pero si bien existe esta desconfianza de Boyle por “metodizar” la investigación experimental, esto no lo exime de concebir a la experimentación bajo un cierto procedimiento le que permita someter constantemente y a reiteradas pruebas, aquellos casos, fenómenos o hechos relevantes para el estudio de la naturaleza; como lo describe Marie Boas, “su falta de método estaba atemperada por un deseo muy cauteloso de no perder ninguna idea o experimento, y que igualmente cuando llegaba a describir completamente un tópico él hacía lo mejor para incluir todo experimento relevante disponible” (Boas, 1965: 36). Esta actitud cautelosa y reticente de Boyle en la experimentación, requerirá de un gran esfuerzo para sostenerla, dado que en un procedimiento experimental, no siempre están garantizados los ensayos exitosos, pues el riesgo que se corre para que un experimento fracase es muy grande, dado que a veces está sujeto a accidentes o casualidades, lo cual puede hacernos desistir para continuar nuestra labor, pero

otras veces nos pueden llevar a nuevos e inesperados descubrimientos. Por consiguiente, el experimentador tiene que tomar en cuenta tanto los éxitos como los fracasos de su labor y estar dispuesto a encontrarse con accidentes y situaciones experimentales inesperadas, como lo dice Boyle en sus *Certain Physiological Essays* de 1669: "así que no debemos por las Contingencias propias de los ensayos Experimentales ser disuadidos de hacerlos, porque no sólo hay muchos Experimentos alguna rara vez sujetos a casualidades, sino incluso entre aquellos cuyo evento no es tan cierto, tú puedes muy probablemente hacer un Experimento con mucha frecuencia sin encontrarte con alguno de esos desafortunados accidentes que tienen el poder de malograr tales Experimentos; y asegurar el próspero éxito de muchos intentos exitosos es bien poder hacer enmiendas a los infructuosos trabajos empleados en aquellos pocos que no tuvieron éxito; especialmente dado que en los Experimentos frecuentemente sucede, que incluso cuando no encontramos lo que buscamos, encontramos algo también valioso buscando a medida que erramos" (Boyle, 2-1999: 82).

Si hablamos de un "método" en Boyle, ello tiene que ser tomado en un sentido no estricto, es decir, no de acuerdo al punto de vista tradicional que lo concibe como una serie de reglas establecidas que nos llevan -casi automáticamente- a conclusiones y resultados derivados de ellas. El párrafo anterior es una muestra de que la idea metodológica en Boyle es, como ya lo mencionamos, un procedimiento de constante prueba y demostración de las hipótesis y resultados que podría variar según los fenómenos en estudio los exigieran, esto es muy diferente de la definición de "método" que hemos ofrecido. De cualquier modo, a continuación presentamos dos esquemas de lo que sería la

estructura del "método boyleano" en la perspectiva, por un lado, de Rose-Marie Sargent, y por el otro, tal como lo interpreta Larry Laudan:

(1) Para Sargent, el método de Boyle plantea que:

"Para inferir causas actuales correctamente, uno primero necesita determinar los efectos que serán explicados, y luego, de un número de diferentes causas posibles que puedan inferirse, uno también necesita confirmar la hipótesis por medio del experimento, mediante la cuidadosa contrastación de las ulteriores consecuencias causadas por ella" (Sargent, 1989: 36); y

(2) Para Laudan, el método de Boyle se desarrolla de la siguiente manera:

"El científico conduce la experimentación a amplia escala para determinar los 'diversos efectos de la naturaleza'. Él luego sugiere una hipótesis para explicar lo que se ha observado. La primera hipótesis tendría que ser una generalización claramente de bajo nivel acerca de las 'causas inmediatas de los fenómenos'. Luego, 'ascendiendo en la escala de causas', él arriba últimamente a las hipótesis más generales, las cuales conciernen a las 'causas más universales y primarias de las cosas'. En cada nivel, el científico revisa para ver si la hipótesis se conforma a la doctrina corpuscularista. Si es así, él contrasta la hipótesis contra los registros en todas sus tablas y contra las diferentes leyes de la naturaleza conocidas. Si es refutada él la rechaza; si no, él continúa sosteniéndola" (Laudan, 1981: 39).

En ambas exposiciones del "método boyleano" podemos ver que destaca la relación que hemos explicado, y que es la base de la filosofía experimental de Boyle, entre los dos aspectos constitutivos de la experimentación boyleana: uno, el aspecto *mecánico-corporcular* (explicar los efectos fenoménicos de la naturaleza mediante operaciones y causas mecánicas en su estructura), y dos, el aspecto propiamente *experimental* (someter a prueba para confirmar o no toda hipótesis mediante el experimento, o sugerir otras hipótesis al mostrarse otros efectos en el experimento). Esta relación entre efectos naturales y causas mecánicas, y entre conjeturas, hipótesis y experimentos, permite elaborar la explicación de un fenómeno basada en una razón que, de acuerdo con Boyle, consiste en "deducirla

de algo más en la Naturaleza más conocido que ella, y consecuentemente puede haber diversas clases de Grados de Explicación de la misma cosa” (Boyle, 2-1999: 21). Una explicación ofrecida con las razones que puedan aportar los efectos experimentales estables de un fenómeno, tratará de demostrar que las operaciones prácticas de los experimentos, con el auxilio instrumental de aparatos diseñados para tal efecto, son modos que hacen posible la obtención de mayor y mejor evidencia.

4.1.3 Laboratorio, Instrumentos y Experimentos en la Práctica Boyleana.

En la práctica experimental de Boyle, el experimento pretende ser un medio de instrucción y demostración que sirve para mostrar cómo un cierto procedimiento experimental opera las condiciones de un fenómeno y demuestra nuestras hipótesis. Pero, como ya mencionamos, el seguimiento de un procedimiento experimental no nos conduce automáticamente a la obtención de resultados seguros, ni a confirmar y establecer hipótesis igualmente seguras; inclusive Boyle mismo reconoce que hay dificultades en la experimentación para interpretar los hechos y también respecto a las cuestiones metodológicas más generales, porque pueden haber varias maneras de entender un mismo fenómeno o de que intervengan circunstancias imprevistas de diversa índole (accidentes, casualidades, fallas materiales y operativas, etc.) en una investigación.

Estas dificultades son inevitables en la experimentación y en el espacio de desarrollo de las operaciones experimentales: el laboratorio; lugar en donde se implanta “un nuevo modo de investigación científica, uno que involucra la observación y manipulación de la naturaleza por medio de instrumentos, técnicas y

aparatos especializados que requieren habilidades manuales así como también conocimiento conceptual para su construcción y despliegue” (Hannaway, 1997: 37).

El laboratorio, como sede de la experimentación durante el siglo diecisiete, llegó a ser -de manera importante- el espacio del trabajo experimental de donde se originó buena cantidad del conocimiento filosófico-natural de la época, además de ser también el espacio social de una nueva cultura epistemológica. Particularmente, tenemos que el laboratorio inglés del siglo diecisiete “no era simplemente un salón colegial, ni una celda de oración, ni exactamente un taller, sino que fue creado desde estos lugares por el reordenamiento de la fábrica material del espacio y por explotar la cultura que regía cómo las personas percibían estos lugares y cómo actuaban ahí” (Golinski, 1998: 86). El laboratorio del siglo diecisiete poco a poco dejó de ser el espacio cerrado de los alquimistas y magos, y se fue convirtiendo en el lugar público donde la naturaleza era convocada a presentar y rendirnos sus diversos informes acerca del funcionamiento mecánico de sus propios hechos, es decir, informes que dieran cuenta de cada hecho particular a fin de “declarar qué precisas y determinadas figuras, tamaños y movimientos de los átomos serán suficientes para llegar a comprender los fenómenos propuestos, sin incongruencia con ningunos otros que se encuentren en la naturaleza” (van Leeuwen: 1970: 96).

Estos informes con el carácter de explicaciones y demostraciones serán sometidos a la valoración, testimonio y juicio de los “expertos”, tanto en el laboratorio y como en la reunión de expertos (espacios para la comparecencia pública de la naturaleza y del experimentador), cuyo funcionamiento y discurso se

verá influido muy directamente por el lenguaje y los procedimientos jurídicos del derecho común inglés del siglo diecisiete, llegando a ser elementos importantes para el programa de la filosofía experimental inglesa, especialmente la boyleana. Esta analogía entre el lenguaje jurídico y el lenguaje de la filosofía natural experimental será tratada con un poco más de detalle en el capítulo 5.

Importantes para su desarrollo como un espacio de observación, ensayo y descubrimiento de hechos naturales, serán las posibilidades y exigencias que ofrece el laboratorio para llevar al cabo y perfeccionar la práctica experimental en los estudios naturales. Las características operativas propias del procedimiento experimental demandan que, en el descubrimiento de nuevas verdades sobre la naturaleza, se auxilie instrumentalmente con la invención de diversos aparatos que le permitan producir, manejar, probar, medir, o reproducir todos aquellos fenómenos cuya naturaleza lo haga posible. La finalidad era que, con la introducción de instrumentos y aparatos, los estudios experimentales en el laboratorio dejasen de trabajar con meras especulaciones sin sentido o con meras prácticas "empíricas" que demostraban muy poco; así, los nuevos instrumentos utilizados de los estudios experimentales sobre los hechos naturales, "hicieron posible acercarse más a los detalles, a la realidad, y -así se asumía- a la verdad. Lo que había sido el exclusivo dominio de la especulación y la extrapolación por siglos era ahora al menos potencialmente observable" (Meinel, 1997: 190).

Para Boyle, la elaboración de inventos mecánicos útiles ayuda a la filosofía natural a cubrir las exigencias prácticas de sus estudios usándolos para efectuar mejores experimentos, pues considera que "un buen Invento Mecánico puede ser

equivalente a, y puede quizás efectivamente producir, muchos buenos experimentos” (6-1999: 461)

Respecto a las posibilidades que ofrece una experimentación reforzada con el uso de instrumentos, la experimentación boyleana parte de que, entre la variedad posible de experimentos, algunos de éstos pueden servir para descubrir la naturaleza de las cosas o sus causas, y otros sólo para ilustrar o ejemplificarlas. Esta distinción de Boyle, hecha en su *Some Considerations touching the Usefulness of Experimental Naturall Philosophy* de 1671, se refiere a lo que él llama *experimentos fructíferos* (que no promueven nuestro conocimiento y únicamente sirven para hacer uso del conocimiento que han aportado para realizar algo) y *experimentos lucíferos* (que nos ayudan al descubrimiento de las verdades naturales), recordándonos que tal distinción fue introducida por Francis Bacon y es recomendable usarla en la organización del trabajo experimental siempre y cuando sea correctamente utilizada (Boyle, 6-1999: 433-434).

Ayudado por esta recomendable distinción, Boyle caracteriza a los experimentos de acuerdo con la función que desempeñan en el trabajo experimental. Así tenemos que están los experimentos *probatorios*, cuya finalidad es elaborar una prueba de la confiabilidad de los materiales utilizados en la construcción de los instrumentos usados en los experimentos más complejos y teóricamente significativos; y los experimentos *exploratorios*, que son experimentos de descubrimiento, indagatorios, que sirven para detectar y explorar modos de ensayo y prueba.

Para Boyle, saber cuándo estamos frente a un experimento probatorio o frente a uno exploratorio dependerá del “estado actual del conocimiento y del desarrollo tecnológico en el entorno dentro del cual el experimentador esté trabajando” (Sargent, 1995: 173). Además, Boyle mismo señaló que los ensayos probatorios involucran una forma de prueba más directa, mientras que los exploratorios surgen de ideas imprecisas, vagas e intuitivas; le interesaba “que los hombres en primer lugar se abstuvieran de establecer cualquier Teoría, hasta que hayan consultado (aunque no un número totalmente competente de Experimentos, tal como puedan permitirlos todos los fenómenos que serán explicados por esa teoría, incluso) un considerable número de experimentos, en proporción a la comprehensividad de la Teoría que se erigirá sobre ellos” (Boyle, 1999: 14). De acuerdo con esto, un descubrimiento experimental relevante para la filosofía experimental boyleana tendría que resultar de aquellos ensayos y demostraciones experimentales que pudieran precisar más nuestro conocimiento de las causas naturales de un fenómeno, puesto que “las Causas más próximas descubiertas son las más altas en la escala o serie de Causas, donde el más gratificado e instruido es el Intelecto” (Boyle, 2-1999: 21).

En la búsqueda de ese conocimiento más preciso de las causas naturales de las cosas, Boyle considera que no sólo la mecánica y sus diseños ayudan al filósofo natural en su empresa investigativa, también la matemática contribuye de modo importante “ya sea para armar Teorías, o para hacer Observaciones y Experimentos...Prácticos y Útiles” (Boyle, 6-1999: 462).

El auxilio que puedan brindar los instrumentos (como microscopios, telescopios, bombas de agua y de vacío, relojes, etc.) a la experimentación tiene la

finalidad de ampliar ya sea el rango de observación del estudioso de un fenómeno y sus partes y operaciones constitutivas (microscopio y telescopio), o de permitirle efectuar las operaciones y mediciones de algunos aspectos manipulables de ciertos fenómenos naturales (como en la bomba de vacío). En la experimentación boyleana este uso de instrumentos auxiliares en la investigación natural es altamente recomendado, debido a las limitaciones de nuestras facultades cognoscitivas para conocer con certeza el mundo, porque “*como* nuestro conocimiento no es muy *profundo*, no llega con cualquier certeza hasta el fondo de las Cosas, ni penetra a sus Naturalezas íntimas o más internas” (Boyle, 8-2000: 77), es decir, la *falibilidad* de las capacidades epistemológicas humanas justifica en buena medida el diseño, invención y uso de aquellos dispositivos auxiliares. Para Boyle, los instrumentos refuerzan nuestra percepción cuando estamos observando y experimentando con algún fenómeno, por esta razón son más completas las observaciones y prácticas instrumentales que las efectuadas de un modo empíricamente simple porque, en palabras de Boyle, “las Informaciones de los Sentidos ayudadas e iluminadas por los Instrumentos son usualmente preferibles a las de los Sentidos solos” (van Leeuwen, 1970: 97).

Hemos dicho que la habilidad en el manejo de aparatos e instrumentos en una investigación experimental, supone siempre una instrucción y disciplina del experimentador que, a través de su práctica y estudio, contribuye al mejoramiento y ampliación de su capacidad para observar, reconocer e interpretar los fenómenos de un modo en que sólo lo puede hacer un *experto*, tal como lo describe Sargent, “alguien que ha manejado la ‘común erudición’; que ha desarrollado su razón por la experiencia en un área específica y sería así el más calificado para juzgar en esa

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

área" (Sargent, 1989: 28). Como indicamos anteriormente, esta noción de "experto" se desarrollará en estrecha relación con los procedimientos legales ingleses que precisan del testimonio de expertos para desarrollar sus alegatos judiciales.

En la perspectiva de Boyle, la adquisición y desarrollo de la habilidad experimental permitirá distinguir entre los *hechos bien fundados* (creíbles por su base experimental) y las *simples opiniones o suposiciones* (que son creencias arbitrarias fundadas metafísicamente), demarcación sólo será posible realizarla por quien debidamente estén capacitados para el manejo de aparatos, la habilidad para las explicaciones discursivas y una didáctica para la educación del público.

Este último punto que se refiere a la educación experimentalista del público le preocupa en grado sumo a Boyle porque, en su concepción filosófica, pensaba que el objetivo de la experimentación no era simplemente mostrar la solidez y validez de las pruebas experimentales, sino que (y muy importante) "era necesario enseñar al mundo la manera verdadera y apropiada de aplicar el experimento para confirmar las teorías, o para proporcionar las bases sobre las cuales las verdaderas teorías podrían construirse" (Boas, 1965: 42). Puesto que la experimentación es un procedimiento que no establece una serie de reglas generales que conduzcan a resultados plenamente ciertos, Boyle está consciente de que "en muchos Casos es excesivamente difícil hacer que los Experimentos físicos alcancen una exactitud y Certeza Matemática: Y es mucho más fácil proponer Experimentos que probarían en probabilidad lo que nos proponemos en caso de que pudieran hacerse, y luego proponer Recursos practicables de cómo pueden ser" (Boyle, 5-1999: xxv). Esta dificultad en los experimentos y sus pruebas obligan a que el experimentador emplee su destreza para hacerlos cada

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

vez más detallados y exactos y lograr así la mejor comprensión de un fenómeno, aunada a una explicación suficiente del mismo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 5. Hipótesis, Conjeturas y Certeza Moral: Aspectos Epistémicos de la Experimentación de Boyle.

5.0 Introducción.

La experimentación de Boyle es, como se trató en el capítulo precedente, un procedimiento de investigación donde el experimento -como un dispositivo tanto de contrastación empírica como de generación de hipótesis- precisa de ser desarrollado y manejado mediante el trabajo disciplinado y experto del experimentador, resultante de su experiencia educada, donde el conocimiento de un fenómeno natural se adquiere por testimonio propio y ajeno, estando siempre sometido a una prueba experimental y la evaluación colectiva de una comunidad de investigadores.

Ahora en este capítulo examino el modo en que la experimentación boyleana plantea una relación necesaria entre los hechos y las hipótesis que los estudian, relación que entraña la cuestión epistémica central acerca de cómo podemos establecer la verdad o certeza de las explicaciones naturales. En esta misma dirección, expongo por qué la experimentación boyleana sostiene que la certeza física de las explicaciones naturales sólo puede ser una certeza moral situada entre el conocimiento absolutamente verdadero y la mera opinión. Esta certeza moral se encuentra directamente vinculada con el modo en cómo la experimentación de Boyle elabora su lenguaje experimental sustentado en el lenguaje jurídico inglés de su época. Después paso a explicar cómo de los tres tipos de demostraciones (metafísica, física y moral) que concibe Boyle, la

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

demostración moral es la más adecuada para la práctica experimental a causa de estar construida por pruebas sólidas o por concurrencia de probabilidades. De este modo, explico que la certeza moral en Boyle adquiere el carácter de una acción responsable fundada en la prudencia y que es contraria a la especulación metafísica; de donde concluyo que una hipótesis que es respaldada por la evidencia experimental, aumenta su grado de certeza porque es una concurrencia de probabilidades.

5.1 Hipótesis y Hechos en la Experimentación Boyleana.

Como hemos visto, de entre las dificultades que encuentra la práctica experimental de Boyle en su desarrollo, están los límites naturales que los propios fenómenos presentan al experimentador para ser estudiados. Por ello, la utilización de dispositivos que profundicen en el estudio de la estructura y operaciones de los hechos naturales, se vuelve una necesidad para cumplir con el requisito de una suficiente evidencia fáctica en las explicaciones naturales, lo cual se convirtió en una característica distintiva de la filosofía experimental inglesa de mediados del siglo diecisiete.

Precisamente, para dar cuenta de ello, Barbara Shapiro señala que “el volumen de actividades llevado a cabo por la comunidad científica inglesa durante las décadas siguientes a la muerte de Bacon se enfocó sobre la historia natural compuesta de ‘hechos’ derivados’ de la observación y del experimento” (Shapiro, 2000: 110). Con esto tenemos que, será considerado como un *hecho*, todo evento,

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

suceso natural o resultado experimental observable ⁴. En el caso de Boyle su creencia en los hechos es clara cuando confiesa que son muy pocas las cosas en las que él puede confiar, lo dice así : “me atrevo a hablar confiada y positivamente de muy pocas cosas, excepto de los *hechos*” (Boas, 1965: 126, énfasis mío).

Pero si en aquella comunidad filosófica había consenso en torno al enfoque fáctico en el estudio de la naturaleza, donde no existía unidad entre los filósofos naturales ingleses era sobre la cuestión acerca de *qué clase o tipo de generalizaciones tenían que proceder de los hechos probados*. Para resolver este asunto, como lo muestra Shapiro (2000: 144), por lo menos destacaban tres posiciones entre ellos acerca de *cómo se concebía la relación entre los hechos y las explicaciones*: (1) quienes afirmaban que eso se restringía a “acumular hechos, creyendo que las explicaciones y principios podrían dejarse a un lado, al menos por el tiempo que fuera” (por lo general, quienes sostenían esto eran los historiadores naturales); (2) los que postulaban que “los verdaderos principios o la teoría podían ser ‘deducidos’ de los hechos” (en la tradición empirista); y (3) el enfoque más común, los que proponían “enlazar ‘el hecho’ con ‘la hipótesis’ “ (entre éstos se encontraban Robert Boyle y Robert Hooke).

Con este enfoque Boyle afirma que, de la misma manera en que la razón y los sentidos están estrechamente vinculados en un proceso de investigación, los hechos y las hipótesis también lo están. Los hechos constituyen una sólida base epistemológica para su filosofía natural experimental. Esto le permite a Boyle justificar y mostrar cómo el experimento es superior a la sola teoría, ofreciendo con

⁴ El “*hecho*” no es un concepto propio de y originado en la filosofía natural, sino que fue adaptado del lenguaje jurídico inglés. Este asunto será tratado en la sección 5.2 del presente Capítulo.

esto una propuesta para abordar uno de los problemas básicos en la filosofía natural: *cómo establecer la verdad de las explicaciones naturales*, puesto que “el problema central era el de elaborar enunciados verídicos acerca de los fenómenos naturales que podían observarse pero no podían reducirse a la clase de demostración lógica matemática que tradicionalmente se había pensado para ofrecer verdades incuestionables” (Shapiro, 1991: 7). Este asunto le sugerirá a Boyle (y le exigirá) que las explicaciones naturales necesitan de un fuerte respaldo en términos de una evidencia adecuada para su demostración, él lo plantea en términos de “¿qué grado de evidencia es razonablemente suficiente?” (Daston, 1988: 62). A fin de cuentas, las explicaciones experimentales de Boyle, con todo y su confianza en los hechos y en las hipótesis con “evidencia suficiente”, serán sólo probables y provisionales, pues “[n]o importa qué extensa sea nuestra experimentación, la ciencia permanece fundamentalmente hipotética” (Laudan, 1981: 37).

A este respecto, Boyle enseña a los hombres dedicados al estudio experimental de la naturaleza que una teoría, hipótesis o explicación ⁵ es propuesta en base a una experiencia previa con “un considerable número de experimentos, en proporción al alcance de la teoría que se erigirá sobre ellos” (Boas, 1965: 124). De este modo, una teoría o hipótesis es aprobada si es consistente con la totalidad de fenómenos naturales que puedan ser explicados por

⁵ El uso y significado de estos términos en la época de Boyle, era variado y hasta cierto punto arbitrario. Barbara Shapiro (2000: 144) nos habla de la variedad en la utilización de términos como “teoría”, “hipótesis” y “conjetura”, en donde no se distinguía un significado preciso de esos términos; incluso, tampoco la terminología de Boyle es consistente en ese sentido, porque -dice Shapiro- “[a]lguna vez él hablaba de hipótesis, en otras de ‘teoría’, ‘conjetura’, ‘explicación’, o inclusive de ‘hipótesis conjetural’ (Shapiro, 2000: 152).

ella. Pero aún cuando suceda que una hipótesis o teoría haya sido puesta a prueba con la cantidad necesaria de experimentos que muestren su solidez, las explicaciones derivadas de los resultados experimentales -como se señaló- no son definitivas. Así lo afirma Boyle: "habría considerado tal clase de superestructuras solamente como temporales; las cuales aunque pueden preferirse antes que cualesquiera otras, siendo las menos imperfectas, o, si tú quieres, las mejores en su clase que aún tenemos, inclusive no están completamente asintiéndose, como absolutamente perfectas, o incapaces de mejorar las alteraciones" (*Ibidem*, 124).

Ésta es una razón por la cual Boyle considera a las explicaciones naturales abiertas a toda posible modificación que se presente, si no en el tiempo en que se construyen, si en la posteridad, así lo explica: "estoy dispuesto a pensar, que de aquí en adelante, y quizás en no mucho tiempo, cuando las teorías físicas (*physiological theories*) estén mejor establecidas, y construidas sobre un número más competente de casos particulares, las deducciones, que puedan hacerse desde ellas, pueden librarlas de toda imputación de esterilidad" (*Ibidem*, 129). En esta cita se muestra por qué Boyle concebía la naturaleza de las teorías filosófico-naturales como no definitiva, y de aquí su correspondiente visión del carácter falible y mejorable de sus explicaciones teóricas.

Tenemos, pues, que Boyle sólo aceptaba adoptar hipótesis si se fundaban y apoyaban en hechos empíricos. Es decir, él no aceptaba cualquier tipo de razonamiento o explicación hipotética, como por ejemplo, las de los atomistas, las razones de su no aceptación eran las siguientes: "(1) por intentar explicar los fenómenos por la postulación de causas primeras, (2) por su afirmación de que sus hipótesis eran verdaderas" (Sargent, 1986: 478).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para Boyle el uso de hipótesis provisionales tenía dos fines: *organizar los resultados experimentales y afirmar su propio papel predictivo*. Cumpliendo con estos fines, una hipótesis podría llevarnos por un camino seguro de conocimiento en tanto mostrara su capacidad para explicar suficientemente los fenómenos naturales con base en una gran cantidad de evidencia. A este respecto, modernamente Larry Laudan sostiene que "(u)na hipótesis no es probada verdadera, por supuesto, incluso si es compatible con toda nuestra evidencia; sino que puede aseverarse con más confianza en tanto se pruebe ella misma capaz de explicar más y más fenómenos" (Laudan, 1981: 40). O sea, que el experimentador tiene que poner a prueba las consecuencias de una hipótesis para asegurarse de que, por el momento, no hay fenómenos o casos que sean inconsistentes con ella.

Es conocido por los estudiosos de Boyle, que él redactó un texto donde esquemáticamente presenta cuáles deben ser los requisitos, cualidades y condiciones tanto de una *buena* como de una *excelente hipótesis* (Boas, 1965: 134-135 / Boyle, 1979: 119): una *buena hipótesis* debe ser inteligible, no debe suponer ni asumir todo aquello que sea absurdo, demostrablemente falso, imposible o ininteligible; debe ser consistente y adecuada para explicar los principales fenómenos y no contradecir otros fenómenos o verdades naturales conocidos. Ahora, una *excelente hipótesis* debe tener suficientes fundamentos en la naturaleza de la cosa misma o estar recomendada por pruebas auxiliares, debe ser la más simple de todas las otras hipótesis establecidas sin contener nada superfluo o impertinente, que sea la única hipótesis que pueda explicar a los fenómenos, y que habilite al filósofo natural para predecir los futuros fenómenos

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

por su congruencia o incongruencia con ella, así como disponer de experimentos que permitan examinarla.

De aquí que, de entrada, una hipótesis no pueda ser completa sin el auxilio práctico que le brindan las pruebas experimentales, y que éstas necesitan de la hipótesis para llevar a buen término su cometido, esto es: una *explicación experimental de los fenómenos*.

5.1.1 Unidad de Teoría y Práctica en la Experimentación Boyleana.

Boyle aseveraba, respecto a la experimentación, que sólo “una combinación de experimento y teoría era superior a cualquiera de los dos solos” (Boas, 1965: 44). Hemos venido mencionado que la tarea experimental es una actividad práctica que requiere también del razonamiento -en términos de diseñar hipótesis y pruebas experimentales para explorar su viabilidad explicativa y de encontrar evidencia que las sustente- en los experimentos, porque como Boyle lo afirma enfáticamente, para la experimentación, “una absoluta suspensión del ejercicio del razonamiento sería excesivamente problemática, si no imposible” (*Ibidem*, 123).

La relación entre lo teórico y lo práctico en Boyle, la podemos encontrar en su ya tratada conexión entre los supuestos de su hipótesis mecánico-copular y la orientación práctica de su procedimiento experimental (pneumático por ejemplo). De acuerdo con un documento presentado por Rose-Mary Sargent (1995: 164), tomado de los *Boyle Papers*, Boyle escribió una lista de lo serían, a grandes rasgos, los fines para los que sirven tanto el “experimento” como la “filosofía especulativa” en la investigación natural experimental, y cómo se apoyan mutuamente en los estudios naturales.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En esta lista Boyle considera, primero, que el uso de experimentos en la filosofía especulativa cumple con el fin de: apoyar y rectificar a nuestros sentidos, sugerir hipótesis tanto generales como particulares, ilustrar explicaciones, determinar dudas, confirmar verdades, refutar errores, sugerir investigaciones y experimentos iluminadores y contribuir a su hábil elaboración; mientras que, por otra parte, el uso de la filosofía especulativa en los experimentos cumple la tarea de: idear experimentos filosóficos que dependan sólo y principalmente de principios, nociones y razonamientos; idear instrumentos tanto mecánicos como de otro tipo para elaborar indagaciones y pruebas con ellos; variar y mejorar los experimentos conocidos; ayudar a hacer estimaciones de lo que es físicamente posible y practicable; predecir los eventos de experimentos no realizados todavía; averiguar los límites y causas de experimentos dudosos y aparentemente indefinidos; determinar exactamente las circunstancias y proporciones como peso, medidas y duración, etc., de los experimentos. Es decir, la filosofía especulativa contribuye también a desarrollar las habilidades experimentales del investigador.

Esta caracterización de las relaciones entre los aspectos teóricos y prácticos de la investigación natural experimental, nos permite apreciar las más importantes finalidades que persigue la unión entre los experimentos y las hipótesis, y que, de ese modo, nos presenta lo que Boyle llama su "colección de experimentos", la cual es una descripción de los diferentes objetivos para los que los experimentos son hechos, a saber, para: explicación, exploración, ilustración, sugerencia, confirmación, respuesta a objeciones, reflexión teórica, o aplicación práctica (Boyle, 11-2000: 374).

En esa relación teoría y práctica, en general, las hipótesis juegan un papel explicativo y predictivo respecto de las operaciones y funcionamiento estructural de los fenómenos, en tanto que los experimentos, su papel consiste en ser un medio práctico y operativo que proporcione la más amplia evidencia fáctica para completar la explicaciones diseñadas por las hipótesis. Esto no es obstáculo para que en un momento dado, una nueva hipótesis resulte desde el procedimiento experimental, o para que una hipótesis pueda aportar elementos para diseñar un nuevo procedimiento o técnica experimental.

Según esto, podemos considerar que uno de los fundamentos de la filosofía natural experimental boyleana es definirse sobre las bases de una fuerte relación entre la teoría y la práctica, buscando su sólida cimentación epistemológica que haría más efectiva cualquier investigación natural, puesto que ambos aspectos dependen de la pertinencia de un diseño experimental que pretenda explicar un hecho, de la búsqueda de pruebas y de su uso en las demostraciones, de las mediciones en las variaciones de un fenómeno, y de la explicación adecuada, pertinente y confiable de los fenómenos físicos.

Hemos de destacar el importante papel que las hipótesis tienen como fundamento explicativo en la inteligibilidad de un fenómeno, pues permiten que diversos casos y distintos fenómenos puedan ser explicados por ellas, como ya lo explicamos más arriba, una hipótesis propuesta y una explicación teórica sólo representan distintos grados de certeza de una explicación natural, Boyle lo expresa del modo siguiente:

“el uso de una hipótesis ofrece una explicación inteligible de las causas de los efectos, de los fenómenos propuestos, sin contradecir las leyes de la naturaleza, u otros fenómenos; los más numerosos y variados son los casos particulares, de donde algunos son

explicables por la hipótesis asignada, y algunos conformes con ella, o al menos, no están tan disonantes de ella, lo más importante es la hipótesis, y la más probable para ser verdadera. Por ello es más difícil encontrar una hipótesis, que no sea verdadera, la cual se adecuará a muchos fenómenos, especialmente, si ellos fuesen de varias clases, que sólo a unos pocos" (Boas, 1965: 239).

A este respecto, Boyle pensaba que los estudiosos de la filosofía natural mediante sus teorías, podían contribuir al progreso del pensamiento humano haciendo avances importantes en el estudio de la naturaleza, y esto podría suceder, según Boyle, con sólo "ponerlos a ellos mismos diligente e industriosamente a hacer experimentos y recoger observaciones, sin apresurarse a establecer principios y axiomas, creyendo difícil erigir tales teorías, en tanto sean aptos para explicar todos los fenómenos de la naturaleza, antes de que hayan sido capaces de tomar nota de la décima parte de esos fenómenos, que serán explicados" (Boas, 1965:123). Entender cómo plantear una hipótesis para explicar algún problema, es ver el alcance que tiene en lo referente a qué cantidad de fenómenos pueden ser resueltos por dicha hipótesis, incluso como lo afirma Boyle "la comprensión (de esa hipótesis) puede, inclusive por sus propios errores, ser enseñada" (*Ibidem*, 124). Lo mismo sucede con el experimento, los accidentes, circunstancias inesperadas, problemas o sucesos imprevistos pueden ser motivo para que el experimentador valore su relevancia en el fracaso de una prueba experimental.

Una de las críticas importantes que algunos filósofos (como Hobbes o Spinoza) lanzaban contra Boyle era que se ponía "a demostrar experimentalmente la visión mecanicista del mundo, que según ellos era verdadera *a priori*" (Carlos Solís en Boyle, 1985: 16). Según ellos, no había necesidad de otorgar un lugar al

error y al escepticismo en un sistema explicativo; y el planteamiento de Boyle conducía a eso, porque consideraba que el conocimiento era falible, que había grados de certeza en las explicaciones, que no existía un método absoluto de investigación y que ninguna explicación o teoría podía ser considerada como definitiva y completa. Era del interés de Boyle precisar que la filosofía experimental “no era sólo una cuestión de realizar experimentos, sino que era necesario enseñar al mundo la verdadera y apropiada manera de aplicar el experimento para confirmar las teorías, o para proporcionar las bases sobre las cuales las verdaderas teorías podían ser construidas” (Boas, 1965: 42).

De esta manera, la experimentación para Boyle es una manera práctica de descubrir y explicar la estructura causal de los fenómenos de la naturaleza. Boyle refiriéndose a la posible certeza que puedan aportar los resultados de su experimentación, utiliza -en sus explicaciones- términos que revelan mucha cautela y modestia de su parte, él así lo expresa: “Tendría que hablar tan dudosamente, y usar tan frecuentemente, *quizás, parece, es probable,* y otras semejantes expresiones, en tanto arguyo una desconfianza de la verdad de la opinión a que me inclino, y que tendría que ser tan prudente para establecer principios, y algunas de tantas veces aventurar explicaciones” (*Ibidem*, 125-126). En este mismo sentido, Marie Boas se refiere al carácter epistemológicamente prudente de Boyle de no comprometerse a establecer un procedimiento metodológico general y definitivo, cuando apunta lo siguiente: “Es, de hecho, abundantemente que su falta de método estaba atemperada por su muy cauteoloso deseo de no perder ni idea ni experimento, y que igualmente cuando desarrollaba un tópico el hacía lo mejor para incluir todo experimento relevante disponible” (Boas, 1965: 130).

Ésta es una muy peculiar actitud que define a Boyle y a su práctica experimental dentro de la filosofía natural de su época: no hay un método fijo, hay guías de procedimiento; no hay teorías acabadas: sólo hay hipótesis y explicaciones tentativas que precisan de la práctica experimental y de su evidencia fáctica.

5.2 Experimentación Boyleana y Conocimiento.

Hemos mencionado desde el capítulo anterior, que el tipo de conocimiento que la práctica experimental boyleana busca es “[u]n conocimiento confiable acerca de las propiedades de los cuerpos naturales” (Hunter, 1994: 68). El conocimiento que dicha práctica logre, por ejemplo, sobre las cualidades o propiedades de los cuerpos, deberá desarrollarse siempre sobre la base de la pertinencia de una explicación natural apoyada en la evidencia experimental. Boyle, como vimos antes, confirma que la razón y la experiencia son dos importantes bases epistemológicas en el desarrollo de su filosofía natural experimental, las cuales no están contrapuestas como es muy frecuente interpretarlo. Rose-Mary Sargent a este respecto señala con precisión que el programa experimental de Boyle “estaba diseñado como un medio por el cual tanto las facultades sensoriales como las racionales serían usadas para su mayor ventaja primeramente como restricciones sobre unas y otras” (Sargent, 1989: 32). En el capítulo precedente explicamos que para Boyle la palabra “experiencia” tiene un significado más amplio del que comúnmente se utiliza, esto es, el que la contrapone a la razón; él entiende que la experiencia es todo conocimiento adquirido por el testimonio de nuestros sentidos y otras facultades o por el testimonio de otros (Boyle, 11-2000: 308). El

conocimiento experimental boyleano es un ejemplo de semejante experiencia porque involucra la información suministrada por nuestros sentidos, nuestro ingenio, nuestra razón, así como las informaciones comunicadas de los esfuerzos realizados por otros investigadores.

El apoyo práctico que brindan los experimentos en el conocimiento de las operaciones mecánicas y cualidades corpóreas de un fenómeno es importante porque ellos “revelan los efectos que los cuerpos son capaces de producir en combinación con otros cuerpos y así proporcionar los mejores medios disponibles para establecer la verdad de las inferencias causales acerca de los poderes que los cuerpos poseen” (Sargent, 1989: 162). Como se recordará, Boyle sostenía que la finalidad de su filosofía natural no era la determinación de primeras o últimas causas, sino únicamente de las causas más próximas de las cosas, donde “una explicación en términos de causas secundarias no necesita excluir la referencia última a una causa primera” (Brooke, 1998: 36).

En este contexto, el experimento se torna un elemento clave en el descubrimiento de las nuevas verdades causales en la naturaleza, debido a su capacidad mecánica y práctica para reproducir y mostrar la estructura causal de los fenómenos, y debido a su potencial de descubrimiento de nuevos aspectos en los hechos naturales. El tradicional abuso de la razón había fracasado al no lograr establecer una vinculación efectiva con el mundo natural, de tal modo que la experimentación, unión operativa de razón y experiencia, se convirtió en un procedimiento más apropiado para los estudios filosófico-naturales.

5.2.1 *Experiencia, Razón y Hechos en la Filosofía Boyleana.*

La filosofía experimental boyleana reconoce con el experimento que hay dos grandes fuentes de conocimiento que el investigador natural debe poner en juego: *la experiencia y la razón*. El amplio sentido boyleano de “experiencia” -del que ya hemos hablado- comprende la percepción o testimonio personal, pasa por el testimonio ajeno, y llega hasta la revelación: “La experiencia, ‘el conocimiento que tenemos de cualquier Hecho’, podía ser personal, esto es, basada en la propia sensación de alguien; histórica, esto es, conocida por la relación o testimonio de alguien más; o teológica, esto es, conocida por revelación” (Brooke, 1998: 117).

Nuestra experiencia puede ser inmediata o mediata, una es experiencia personal adquirida directamente por los sentidos, y otra es a través de experiencias ajenas compartidas vía narración testimonial, o también elaboradas mediante los experimentos. A fin de cuentas, para Boyle los sentidos serán la fuente primaria de conocimiento, pero no actúan independientes de la razón, dado que ella contribuye a la valoración de los informes de la percepción sensorial, citando a Boyle: “Los Órganos de los Sentidos son sólo los Instrumentos de la Razón en la Investigación de la Verdad” (Van Leeuwen, 1970: 98).

Uno de los problemas epistemológicos para el filósofo natural de la época es la desconfianza que suscitan los sentidos y la razón como posibles vías seguras para la obtención de un conocimiento cierto de la naturaleza. Tanto la razón como los sentidos están limitados, y el conocimiento que ellos pueden brindar igualmente es limitado, así que la forma propuesta por Boyle para resolver este problema será sustentar toda explicación posible sobre el mundo en la evidencia que puedan arrojar las pruebas experimentales. Sólo la experimentación puede ofrecer la

evidencia que incrementa el grado de certeza de nuestras explicaciones. Las siguientes palabras de Boyle nos dejan apreciar cuál es el estatus epistemológico de la razón y de la experiencia en el proceso de investigación de la verdad sobre la naturaleza: “la experiencia es sólo un auxiliar para la razón, dado que en verdad proporciona información al entendimiento; pero el entendimiento permanece aún como el juez, y tiene el poder o derecho para examinar y hacer uso de los testimonios que son presentados ante él” (en Van Leeuwen, 1970: 98-99).

Esta relación entre experiencia y razón se entenderá en Boyle sólo a través de la evidencia aportada por los hechos a las hipótesis sobre los fenómenos. El “hecho”, para la filosofía natural inglesa del siglo diecisiete, será “no algo ya digno de creencia o verdadero sino más bien un asunto apto de prueba, preferiblemente por testimonio múltiple de testigos” (Shapiro, 2000: 110).

Barbara Shapiro nos dice, a este respecto, que el concepto de “hecho”, surgido del lenguaje jurídico, jugó un papel central en el desarrollo del empirismo británico puesto que “ayudó a formar y aguzar los supuestos epistemológicos y métodos de un amplio rango de ciencias intelectuales” (Shapiro, 2000: 3). De hecho, esta autora apunta que eso fue posible gracias al precedente abierto por Francis Bacon en la filosofía de la naturaleza al combinar “el ‘hecho’ histórico-legal de la acción humana con el hecho natural establecido por la observación y el experimento” (*Ibidem*: 109), lo cual era conocido como una manera de explicar los fenómenos naturales en términos de juzgar acciones humanas. A la luz de estas tesis, se entiende por qué el lenguaje del procedimiento experimental en Boyle está construido con términos usados por las leyes: “testimonio de la naturaleza”, “someter a juicio a los hechos naturales”, “opinión de testigos juiciosos e ilustres”,

etc. De la misma manera como sucede en un tribunal, así sucede en la experimentación: se presentan los hechos, se rinde declaración, se da testimonio, se presentan pruebas, se valora y se discute la evidencia y se da un veredicto. Así, los hechos y los testimonios naturales dependerán de un conjunto de criterios evaluatorios como: oportunidad, capacidad, probidad, habilidad, fidelidad, estatus, experiencia y reputación (*Ibidem*: 112), y en donde la *credibilidad* es el principal porque, desde mi punto de vista, integraría a todos los demás criterios.

5.2.2 Falibilismo, Certeza Moral y Probabilismo en Boyle.

La búsqueda de conocimientos ciertos en el estudio de los fenómenos físicos había orillado a los filósofos naturales a proponer diversos modos de obtenerlo. En el caso de Boyle, su propuesta metodológica se definió siempre en torno a los rasgos de su práctica experimental, la cual no estableció una serie de reglas fijas y criterios de gran rigor a seguir en la investigación física porque la actitud de Boyle hacia un método semejante estuvo determinada por una especie de *falibilismo*, posición que -como señala Sargent- es entendida "fundamentalmente como una práctica sujeta al error humano, pero uno no debería rechazarla a causa de su infalibilidad" (Sargent, 1995: 164). Así, la experimentación no es excluyente del manejo de ciertas verdades establecidas, siempre que se les considere susceptibles de ser ulteriormente modificadas según los resultados y la evidencia experimentales.

Las razones de la actitud falibilista boyleana para considerar la posibilidad de que las verdades naturales bien establecidas puedan ser falsas, serían las siguientes: (1) "la Caída de Adán que sujeta a todos los hombres al error, y la

propensión al prejuicio, la pasión, y el vicio los cuales pueden afectar los procesos de pensamiento”; y (2) “dado que el curso de la naturaleza depende completamente de la voluntad de Dios, el hombre hizo leyes que pueden ser inaplicables desde el mismo momento en que son formuladas” (Van Leeuwen, 1970: 93). Estas razones explican la postura de Boyle de asumir tanto la visión baconiana de la limitación y falibilidad humana de los sentidos y de la razón, como la visión voluntarista teológica de la intervención divina en el curso de la naturaleza. En este sentido, en Boyle se revela nítidamente el tránsito constante entre los lenguajes religioso y filosófico-natural, donde el problema de la verdad y de la certeza se apoya fuertemente en su soporte teológico, y donde sus consecuencias serán aplicaciones a la investigación y explicación de la naturaleza. Por ello, Boyle afirma que el conocimiento revelado es esencialmente verdadero, y que no somos, las más de las veces, capaces de entender de modo inmediato esas verdades reveladas.

Esto nos ayuda a entender más precisamente la actitud metodológica de Boyle, respaldada en esa visión teológica y fundada –además– en las palabras de Bacon: “la verdad más fácilmente emerge del error que de la confusión” (Boas, 1965: 124). En ello es donde cimienta el carácter falible de su procedimiento experimental. Sin embargo, Boyle considera que si bien la práctica experimental nos lleva por la senda de la corrección constante de nuestros ensayos, esto es indicativo del carácter temporal y mutable de nuestras demostraciones naturales. Así, para Boyle “la verdad se obtendría por un método experimental que hiciera uso de hipótesis como medidas temporales” (Sargent, 1986: 485).

En ese sentido, Boyle establece manifiestamente cuál es el objetivo que persigue el experimentador en la filosofía natural: "el filósofo experimental no busca 'axiomas metafísicos o universales' sino más bien 'axiomas reunidos o emergentes, por los cuales signífico el resultado de comparar juntos muchos casos particulares' " (Sargent, 1989: 32).

En la práctica experimental, las pruebas presentadas como evidencia no significan ni se usan como parte de una verificación absoluta, pues si fuera éste el caso, tendríamos que una hipótesis o explicación establecería conocimientos absolutamente verdaderos de fenómenos naturales -que en su desarrollo van presentando nuevos aspectos para estudiar- y ello sería un contrasentido respecto al carácter hipotético de las explicaciones boyleanas, y no habría lugar para el "instructivo error experimental". A este respecto, Larry Laudan nos presenta la forma cómo -según él- concibe en Boyle la relación entre una hipótesis experimental, la utilidad de sus pruebas y su carácter de verdad, lo dice así: "Boyle es cuidadoso para no confundir verificación con prueba. Si una hipótesis ha explicado todos los fenómenos, entonces ha demostrado su *utilidad*, pero su *verdad* es todavía una cuestión abierta y por siempre permanece así" (Laudan, 1981: 39). De esta manera, una hipótesis o demostración experimental boyleana es sólo una explicación útil, cuyo carácter falible es una muestra de su "verdad"; esto nos lleva -antes de señalar ciertos rasgos de escepticismo en Boyle- a una inevitable situación que enfrenta a la práctica experimental, lo que ha sido denominado por el filósofo contemporáneo H. M. Collins (Collins,1992) como el "regreso del experimentador" ("*the experimenter's regress*") resumido por Jan Golinski así: como "una consecuencia de la imposibilidad de especificar por

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

adelantado todas las condiciones que debe enfrentar un experimento para ser conducido exitosamente" (Golinski, 1998: 29), puesto que los criterios de replicación exitosa son discutibles y rebatibles. Pero este "regreso" no lo vería Boyle como un obstáculo para la práctica y el conocimiento experimentales, sino como la afirmación del carácter dinámico y temporal ("incompleto") del conocimiento resultante de su práctica experimental. Más que un vicio, es una virtud.

En razón de esto, se comprende por qué Boyle, al asumir el error (en la experimentación) como una fuente central de conocimiento y al no concebir una posición -en términos experimentalistas- metodológica ni epistemológicamente ortodoxa, él mismo se considerará no un constructor de sistemas teóricos, sino más bien un modesto constructor en permanente revisión de su obra: "Pero estoy contento, que el conocimiento experimental proporcionado sea realmente promovido, para contribuir incluso en el modo menos plausible a su progreso; y habría de ser más bien no sólo un constructor en obra [*under-builder*], sino incluso extraer...materiales para una estructura tan útil, como un sólido cuerpo de filosofía natural, que no hace cosa alguna para su edificación" (Boas, 1965: 126).

Aunada a esta posición "anti-sistema" de Boyle, ya antes mencionada, parte de su estrategia metodológica estará caracterizada por el uso del lenguaje jurídico de su época y con que se refrendará el carácter falible de su procedimiento, Sargent lo explica así: "Es una estrategia de adjudicación racional por la cual la evidencia es cuidadosamente reunida, ponderada, y verificada. Basada en esta evidencia, la razón entonces decide sobre la verdad del asunto. El método es falible. Las verdades obtenidas de ello no poseerán la necesidad metafísica de los

primeros principios cartesianos, sino que estarán limitadas a un conocimiento de cómo las cosas son efectivamente producidas en el mundo como está ahora constituido” (Sargent, 1989: 32).

Por otro lado, las coincidencias que presenta la filosofía experimental de Boyle con otros integrantes de la tradición inglesa de filosofía natural (p.ej. Hooke), se encuentran en su carácter empírico y en el traslape entre los lenguajes teológico, epistemológico y jurídico que hacen uso de sus conceptos en sus respectivas explicaciones. De este modo, la filosofía natural tiene una base epistemológica y discursiva común con las concepciones teológicas, epistemológicas y jurídicas de ese tiempo; como lo establece Barbara Shapiro a este respecto: “Los científicos empíricos, como los abogados, necesitaban considerar el carácter y el estatus de las inferencias que ellos extraían de los hechos de la naturaleza y de la evidencia experimental” (Shapiro, 1991: 228). Esa nueva filosofía natural tendrá una nueva cimentación en hechos naturales, los cuales necesitan someterse -como las acciones humanas- a consideración y juicio; así, la filosofía natural inglesa se erige “sobre una nueva y firmemente construida historia natural, esto es, una colección de ‘hechos’ bien establecidos, algunas veces creados experimentalmente, y personalmente observados o creíblemente reportados” (Shapiro, 2000: 114-115). Este sometimiento a juicio de los hechos por parte del experimentador requerirá de *imparcialidad*, característica de todos los “discursos fácticos”.

5.2.2.1 Testimonio y Certeza Moral en Boyle.

En la visión epistemológica de Boyle, el conocimiento de los hechos proviene de la experiencia y del testimonio brindado por otras personas. El testimonio dejó de ser

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

un asunto de mera fidelidad incuestionable a cierta autoridad intelectual y se convirtió en una cuestión de evidencia fáctica. Esto significaba que las explicaciones tenían que proceder de los hechos efectivos y no sólo de las simples historias naturales, como sucedió en el caso de Boyle, Hooke, y otros experimentadores que sometieron los hechos observados a la razón. En estos naturalistas encontramos una combinación de "historia natural baconiana basada en 'hechos' moralmente ciertos con más o menos hipótesis probables" (Shapiro, 1991: 154).

En esta combinación, la razón juega el papel de juez que evalúa, acepta y rechaza la información empírica discutible o controversial que se le presente, pues en ella hay "una luz innata por la cual ella ve ciertos principios como verdaderos o falsos....La mente es análoga al ojo: justamente como el ojo algunas veces ve sus objetos directamente, así la mente usa reglas de razonamiento para llegar a conclusiones, pero alguna vez debe juzgar directamente las reglas mismas" (Van Leeuwen, 1970: 99-100). Así pues, la razón juzgará también, en última instancia, tanto sus principios como sus conclusiones.

Esta capacidad racional de evaluación y valoración, Boyle la entiende como esa luz natural puesta por Dios en la mente del hombre, cuyo uso correcto la llevará a emplear el máximo criterio de verdad o falsedad en sus juicios. El razonamiento humano para pensar utiliza cierto procedimiento, pero si este procedimiento no lo conduce al conocimiento de la naturaleza, entonces está la revelación divina como la vía posible y más segura. En cierto sentido, Boyle reconoce la posibilidad real de que totalmente nuestro conocimiento pudiese ser falso.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Por tanto, un problema epistemológico para Boyle es si debido a las limitaciones de los sentidos y de la razón es (casi) imposible alcanzar un conocimiento absolutamente cierto, entonces ¿qué tipo de “conocimiento intermedio” entre lo absolutamente cierto y la mera opinión podría establecerse?

Para responder a esta pregunta, diremos que el procedimiento experimental boyleano se apegaba a la línea de demostración jurídica testimonial del derecho común inglés, puesto que un requisito para encontrar la verdad era la aportación de las pruebas y el informe de los testimonios con qué obtener (o aproximarse a) un alto grado (el más alto) de certeza sobre un hecho (p.ej., un crimen: indagar quién lo ha cometido y cómo ocurrieron los hechos; o el aparente vacío por encima de la columna de mercurio en el barómetro: indagar si efectivamente se da y cómo es posible) que no deje lugar para las dudas, que “no haya razón para dudar”, esto es: tener *certeza moral*⁶.

Según Barbara Shapiro, son dos las ideas que presiden el desarrollo de la certeza moral: la primera, afirma que hay dos ámbitos del conocimiento humano donde: en uno, “es posible obtener la certeza absoluta de la demostración matemática” y en el otro que “es el ámbito empírico de los eventos, la certeza absoluta de esta clase [matemática] no es posible”; y la segunda idea es que en este ámbito de eventos “justamente porque la certeza absoluta no es posible, no deberíamos tratar todas las cosas como meramente una suposición o un asunto de opinión....en este ámbito hay niveles de certeza, y alcanzamos niveles más altos

⁶ Esta *certeza moral*, junto con el concepto de “más allá de toda duda razonable”, es “una amalgama de epistemología y metodología religiosa y filosofía empírica lockeana” (Shapiro, 1991: 246). Shapiro señala que la certeza moral para John Locke es una especie de probabilidad del nivel más alto para establecer una aseveración general.



de certeza en tanto la cantidad y cualidad de la evidencia disponible a nosotros se incrementa” (Shapiro, 1991: 41). Con esto, tenemos que la certeza moral se entiende como conocimiento con un altísimo grado de certeza y como una prueba “más allá de toda duda razonable”. Lo que se entiende por el término “más allá de toda duda razonable” -como señala Shapiro- “no...era un reemplazo de la contrastación de toda duda sino que se añadió para clarificar las nociones de certeza moral y creencia satisfecha” (Shapiro, 1991: 21). Así, en la medida que el concepto de “certeza moral” se fue extendiendo, la “duda razonable” contribuyó a ampliar las explicaciones jurídicas y legales.

Más arriba hemos explicado algunos problemas filosóficos relacionados con la noción de “hecho”, y ha sido precisamente sobre el tema de la valoración de la evidencia que la filosofía empírica inglesa del siglo diecisiete toma a la certeza moral y a la doctrina de “más allá de toda duda razonable” como la base para sus demostraciones, sobre todo, las experimentales.

De acuerdo con la caracterización de Robert Boyle (en Van Leeuwen: 1970: 101-102), hay tres tipos de demostración correspondientes a un grado de certeza:

(1) *la demostración metafísica* “que está basada en axiomas generales los cuales no pueden ser otros que verdaderos, por ejemplo, nada puede al mismo tiempo ser y no ser y las no-entidades no son propiedades reales”;

(2) *la demostración física* “está construida sobre la suposición de que ciertos principios son verdaderos, pero dado que Dios puede realizar milagros que violan tales principios, las leyes y teorías pueden posiblemente ser falsas”; y

(3) *la demostración moral* “ocurre ‘cuando la conclusión está construida ya sea sobre alguna semejante prueba sólida en su clase, o alguna concurrencia de

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

probabilidades, que no puede permitirse sino suponer la verdad de la mayoría de las reglas aceptadas de prudencia y principios de filosofía práctica', es la clase de certeza obtenible en la mayoría de los asuntos de a vida".

Debido a que la demostración moral no tenía el carácter de exactitud de la demostración matemática, la filosofía experimental de Boyle -que seguía el camino de la experiencia basada en los hechos- la tomó como una forma práctica para juzgar y valorar racionalmente la evidencia aportada por los experimentos. Sólo la demostración moral permitiría -pensaba Boyle- no dejar lugar a dudas, como ya se señaló antes, la pertinencia de una hipótesis dependía de un alto nivel de probabilidad: "Si hay una concurrencia de probabilidades donde toda la evidencia está a favor de una hipótesis, entonces, para ser racional, uno debe asentirse a su verdad" (Sargent, 1989: 39). Así, la certeza moral sería la única vía mediante la cual podemos llegar a entender nuestras creencias en los hechos naturales y experimentales.

Hay tres consejos que da Boyle y que nos clarifican su posición respecto al asunto de la certeza en la filosofía natural:

(1) "que 'no admitamos cualquier aseveración (afirmativa), sin pruebas, para demostrarla, en tanto sean suficientes en su clase'. Cualquier prueba propuesta como suficiente para lograr asentimiento debe ser de una cierta clase"; (2) "no apresurarse en formar proposiciones negativas o en rechazar la explicación de una cosa privilegiada porque parezca absurda. En el caso donde la evidencia no es tal como para garantizar asentimiento a una proposición positiva, la suspensión del juicio es el curso aconsejado"; y (3) "(l)a existencia de cualquier cosa es anterior a e independiente de la relación de la mente con ella; justamente como la visibilidad al ojo no es condición de la existencia de un átomo o de un campo magnético, así la inteligibilidad para el entendimiento no es condición de la existencia de cosas por encima de la razón, ya sean teológicas o científicas" (en Van Leeuwen, 1970: 103-104).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

De acuerdo con lo que afirma Boyle, obtener la certeza respecto de un hecho implica que no sea aceptable en su demostración cualquier tipo de prueba, una prueba que sea relevante para establecer una certeza sería aquella que fuese fácticamente suficiente; ahora bien, si no hay una prueba semejante no debe descalificarse el hecho ni establecer un juicio negativo sobre él, lo más apropiado – como en un tribunal- es suspender temporalmente el juicio hasta no que se cuente con mejores y suficientes pruebas. De las citadas palabras de Boyle, podemos inferir que la clase de prueba suficiente que busca para demostrar y aseverar una certeza, se encuentra en el ámbito de los hechos que perfectamente delimita cuando afirma que si bien existe el entendimiento, de esto no depende la existencia de las cosas, esto es, las cosas tienen una existencia fáctica. Esto define el propio espacio en que se mueven los procedimientos, ensayos y demostraciones de su práctica experimental.

Con todo y que Boyle es precavido para diseñar los criterios para las pruebas y su certeza, en el plano de la práctica experimental, el testimonio será una de las grandes acciones “sociales” con que se contrastarán los diseños y pruebas experimentales. Los testigos y sus testimonios serán una fuente relevante de conocimiento, además de los problemas de su autenticidad y confiabilidad, dado que ello formaba parte -necesariamente- de un procedimiento donde se buscaba obtener la mejor y más amplia evidencia posible. En este sentido, el testimonio de un testigo era aceptado como confiable si reunía tres requisitos: *tener conocimiento acerca de lo que testifica, ser confiable en informar lo que sabe, y tener un buen carácter moral* (Van Leeuwen, 1970: 98).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Estos tres requisitos sirvieron para que los miembros de la Royal Society establecieran sus criterios de ingreso a la comunidad y para que fundaran sus propios procedimientos de discusión y demostración experimental, lo cual les valió ser criticados –sobre todo de Hobbes, como veremos más adelante en el capítulo 7– por el gran número de testigos y testimonios (eran entre sesenta y cien miembros) reunidos en cada una de sus presentaciones semanales, dado que, por una parte, ese espacio de discusión no era público tal como lo pregonaban sus socios, y por otra, los resultados de una evidencia valorada tan ampliamente no podían alcanzar una alta certeza moral como en las cortes judiciales donde el testimonio de dos o tres testigos era suficiente para juzgar. Con todo y esto, Boyle (y alguno de sus colegas) afirmaría que las hipótesis sólo pueden establecerse como moralmente ciertas y estar sujetas a modificaciones siempre y cuando la nueva evidencia lo requiriera. Y puesto que los experimentos estaban sujetos a modificaciones mediante la evidencia y el testimonio proporcionados, ello indicará su nivel u orden epistemológico: "Los experimentos deberían estar organizados en varios órdenes de grados: en cada uno de dichos lugares ellos pueden encontrarse como tantos testigos al dar testimonio de esta verdad o contra aquel error....Y un examen más severo de estos testigos debe hacerse ante un jurado que pueda justificadamente dar su veredicto o un juez que pronuncie sentencia para declarar una proposición o hipótesis como errónea....o para establecer otra para la verdad o axioma" (Shapiro, 2000: 115). Para Boyle, empero, el que una hipótesis estuviera racionalmente establecida no dependía de la multitud de testimonios, sino de una gran cantidad de evidencia independiente para el asunto en cuestión.

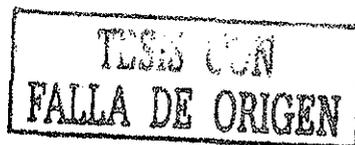
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Finalmente, la certeza moral en Boyle es un tipo de acción responsable fundada en la prudencia humana y contraria a la especulación y contemplación filosófica. Será esta certeza moral la que dé forma al concepto boyleano de *razonabilidad*, como su principal criterio normativo para establecer creencias. Es la razonabilidad, y no la razón, lo que da sustento tanto a su falibilismo (conocimiento temporal) y su probabilismo (conurrencia de probabilidades).

5.2.2.2 Probabilismo y Razonabilidad en Boyle.

Hemos visto que Boyle creía que las hipótesis o generalizaciones de la filosofía natural, al estar siempre sujetas a modificación, eran sólo probables. Él insistió siempre en no establecer principios o axiomas universales en el estudio de la naturaleza. Desde este carácter falibilista de la filosofía experimental boyleana se concebía a toda posible teoría o hipótesis como *necesariamente* probable. Para entender en su justa dimensión esta naturaleza probabilística de las hipótesis boyleanas, diremos que cuando Boyle se refiere a que el grado de certeza de una hipótesis es una *conurrencia de probabilidades*, esto no lo entiende en el sentido matemático de probabilidades, como lo indica Lorraine Daston, sino que es “la convicción adicional llevada por evidencia convergente” (Daston, 1988: 63). Dicha conurrencia de probabilidades apunta a establecer una certeza moral que, como veíamos, genera la idea de racionalidad boyleana bajo el concepto de *razonabilidad* como criterio para establecer nuestras creencias.

Debido a esto, Boyle será considerado como uno de los más importantes personajes del siglo diecisiete dentro del movimiento filosófico-natural que



desarrolla una concepción falibilista y probabilista del conocimiento de la naturaleza (Shapin & Schaffer, 1985: 23).

Robert Boyle pertenece a una línea de pensamiento probabilista que emerge al lado de la línea de probabilidad matemática, y que proviene de las explicaciones ofrecidas por la teología racional y la nueva filosofía natural inglesa de mediados del siglo diecisiete. Junto a John Wilkins, Joseph Glanvill, Marin Mersenne, Pierre Gassendi y Hugo Grotius, entre otros, Boyle enfatiza la permanente incertidumbre y límites del conocimiento humano buscando un nivel intermedio de conocimiento entre el escepticismo y el dogmatismo.

Este grupo de probabilistas aseguraba que si no podía aspirarse a una certeza completa en los estudios naturales, sí había acceso a una certeza moral, esto es, a una certeza razonable. Esta concepción desarrollaría una nueva noción de racionalidad basada en aspectos de la vida diaria, donde no se necesitaba la rigurosa demostración matemática, sino "sólo ese umbral de certeza suficiente para persuadir a un hombre razonable para actuar en la vida diaria" (Daston, 1988: 57). Este hombre razonable era aquel que aceptaba riesgos, pérdidas y ganancias, era un hombre arriesgado que probaba una y otra vez y aprendía de esa experiencia. Este tipo de hombre razonable identificará la actitud del experimentador.

De acuerdo con Lorraine Daston, en el significado de la palabra "probabilidad" se resume el principal argumento de la posición probabilista de Boyle: (a) "probabilidad" tiene un sentido de "opinión" opuesto a "certeza": " 'aunque cada testimonio simple sea sólo probable' "; y (b) las probabilidades "pueden añadirse juntas hasta que ellas 'asciendan a una certeza moral',

subyaciendo en alguna parte entre la certeza perfecta y la total ignorancia” (Daston, 1988: 64).

Aunque de esta noción probabilista boyleana derivó una noción de razonabilidad, para el otro grupo de probabilistas matemáticos la coexistencia de las dos nociones (matemática y moral) representó un problema de ambigüedad, que finalmente impactó, enriqueciéndolas, tanto a la razonabilidad como a la expectación matemática.

Tanto las aplicaciones metodológicas como las cuestiones epistemológicas derivadas de la filosofía experimental (falibilismo, certeza moral, probabilismo, razonabilidad) servirán para reforzar la peculiar identidad de la concepción boyleana de la naturaleza, así como las bases epistemológicas de su experimentación, especialmente la pneumática.

Capítulo 6: Experimento XVII, *Vacío Boyleano* y las Bases Epistemológicas de la Experimentación Pneumática de Boyle.

6.0 Introducción.

La práctica experimental boyleana es entendida como un procedimiento demostrativo que pretende explicar con claridad la interrelación existente entre la hipótesis mecánico-corpúscular y sus pruebas experimentales, cuyo caso ejemplar es su experimentación neumática. Las razones de ello descansan en su capacidad para dar cuenta y enfrentar las dificultades teóricas y prácticas planteadas por el experimento torricelliano sobre la naturaleza y propiedades del aire y, sobre todo, de la cuestión en torno a la supuesta existencia o inexistencia efectiva del vacío en la naturaleza.

En el presente capítulo analizamos las que consideramos son las bases epistemológicas de la experimentación neumática de Boyle, a saber: el experimento, las hipótesis y la certeza moral. Para tal efecto partimos de un estudio de las principales tesis esgrimidas en el debate plenismo-vacuismo por sus distintos representantes, luego analizamos las tesis boyleanas que demuestran las posibilidades experimentales del vacío con vistas a dirimir las consecuencias ontológicas y epistemológicas del vacío torricelliano. Después pasamos a afirmar que la experimentación neumática de Boyle se vuelve un adecuado procedimiento de prueba porque aprovecha las posibilidades prácticas y técnicas que le brindaron el experimento de Torricelli y la invención de la bomba de vacío para mejorar su trabajo experimental; esto hizo posible que Boyle analizara y examinara el papel

del peso y de la elasticidad del aire atmosférico para ofrecer una explicación física de cómo es posible la creación de un vacío operativo mediante el uso y manejo experimental de la bomba de vacío.

Finalmente, examinamos el experimento más representativo de la investigación neumática de Boyle para comprender cómo la explicación de un fenómeno neumático es viable mediante su hipótesis corpuscular y el desarrollo de una técnica experimental que ningún otro experimento ofrecía –hasta entonces– para enfrentar los desafíos ontológicos, epistémicos y técnicos que objetaban su eficacia como procedimiento demostrativo, nos referimos al Experimento XVII de 1660, conocido también como el *experimento del vacío en el vacío*.

6.1 Vacuismo versus Plenismo y las Bases Experimentales del Vacío.

De entre la múltiple actividad experimental de Boyle, sus experimentos neumáticos destacan, por encima del resto (químicos, médicos, ópticos, etc.), debido a que presentan –con una claridad mayor– la interrelación de su hipótesis mecánico-corpuscular y su práctica experimental, es decir, pueden mostrar más fehacientemente esa característica peculiar de la filosofía natural experimental boyleana. El sentido de ello está en que los experimentos neumáticos ponen en el escenario de la discusión filosófica, tanto cuestiones ontológicas como epistemológicas esenciales para la vida y el futuro de la filosofía experimental, pues: “La neumática fue para el siglo diecisiete lo que la teoría de la luz y los colores fue para el siglo dieciocho: el supremo ejemplo de la ciencia...y la base filosófica de la nueva filosofía natural mecánica experimental” (Boas, 1976: 185). En este contexto, los estudios boyleanos de la elasticidad del aire, que conducirán

sus indagaciones acerca de la existencia del vacío, adquirirán con la construcción de la bomba de vacío su máximo desarrollo técnico y el reto epistemológico de la viabilidad experimental, donde su Experimento XVII (experimento del vacío en el vacío) llegará a constituirse en un paradigma de sus trabajos neumáticos.

Para que la experimentación neumática de Boyle se convirtiese en un modelo de práctica experimental de su época, tuvo que resolver las cuestiones y dificultades planteadas por el experimento de Torricelli, sobre todo y de gran importancia, la cuestión filosófico-natural en torno a la existencia real y efectiva o la inexistencia del vacío en la naturaleza. Las distintas respuestas a esta cuestión dieron lugar al debate en la filosofía natural que generaron las concepciones *plenistas* y *vacuistas*, cuyas tesis se proponían dirimir las implicaciones ontológicas y epistemológicas del supuesto y afirmado vacío del experimento torricelliano. Una presentación de las tesis básicas de estas concepciones, como la que se ofrece continuación, nos ubica en el centro mismo del debate y su referencia específica al espacio vacío torricelliano.

La posición tradicional, integrada por las interpretaciones de la filosofía aristotélica, nos muestra a *los escolásticos* sosteniendo que el espacio en el tubo de Torricelli no está realmente vacío y que la altura de la columna de mercurio está determinada por el límite necesario para la expansión del aire que queda por encima del mercurio. Luego, se encuentra *René Descartes*, quien por su parte afirma que la columna de mercurio está sostenida por el peso de la atmósfera, y el espacio se encuentra lleno de alguna clase de *materia sutil*. En cambio, para *Gilles Personne de Roberval*, gran oponente de Descartes, el espacio en el tubo está

efectivamente vacío, mas el peso del mercurio depende del límite de un natural *horror vacui*. Por otro lado, tanto *Evangelista Torricelli* como *Blaise Pascal* afirman que el espacio por encima de la columna de mercurio está vacío y que el mercurio se encuentra sostenido por el peso atmosférico. Finalmente, para *Robert Boyle* el vacío en el tubo torricelliano es un espacio *casi* totalmente vaciado de aire.

Esta posición sostenida por Boyle respecto al vacío torricelliano, es decir, su no absoluta afirmación de la existencia efectiva del vacío, muestra la congruencia de su actitud experimental aceptando que no es posible establecer *definitivamente* la existencia del vacío por *dos razones*: en primer lugar, debido a las dificultades técnicas de construcción y manejo que podrían encontrarse en la bomba de vacío para obtener una total evacuación del aire del contenedor (como se expone más adelante) y, en segundo lugar, debido a que en sus estudios del vacío “él había explícitamente declarado su ignorancia sobre el tema y había identificado la cuestión como metafísica en carácter” (Shapin/Schaffer, 1989: 168). Esto último se refiere, sobre todo, a su pertinente aclaración de que él no se pronuncia a favor o en contra del vacío, por ser ello una cuestión de doctrinas metafísicas, sino que simplemente le interesa dar cuenta experimental de un fenómeno natural, por ello dice “yo no sólo me abstengo de declararme Vacuista, o Plenista, sino que he, en otro lugar adecuado de mi Escrito, expresamente dicho que me reservé la declaración de mi propia Opinión tocante a este Punto para otro Discurso” (Boyle, 3-1999: 117); y también se refiere a la demarcación boyleana, tratada en la parte final del capítulo 2 de este trabajo, entre el ámbito de la naturaleza (lo físico como conocimiento de las causas de las cosas) y el dominio de Dios (lo sobrenatural de

la causa suprema de todas las cosas). Por estas razones, a Boyle le parece más, pues, una cuestión de orden metafísico (una "cosa por encima de la razón") que propiamente un asunto de filosofía natural.

Por esta razón, Boyle sostenía que la experimentación era un medio y un recurso para la investigación causal y empírica de los fenómenos naturales, y que requería de la intervención concurrente de los hombres para disponer de imágenes, diseños y concepciones elaborados por ellos con el fin de poder estudiar y entender dichos fenómenos (Boas, 1965: 381). Su imagen corpuscular de la naturaleza (expuesta en el capítulo 2) le será útil para responder adecuadamente a las dificultades presentadas por sus planteamientos neumáticos sobre el vacío y sobre la naturaleza y propiedades del aire como su peso y su fuerza elástica.

Boyle ha aseverado que podemos, a partir de la estructura de los corpúsculos elásticos del aire, diseñar diversas concepciones o "*conjeturas probables*" que nos sirven para dar cuenta de los fenómenos neumáticos. Sostiene que los podemos pensar, imaginar o representar ya sea como: (a) "los resortes de relojes, enrollados, y siempre esforzándose por desplegarse"; o (b) "una guedeja o mechón de pelos rizados de lana; los cuales estando comprimidos por una fuerza externa, o por su propio peso, pueden tener un esfuerzo continuo para estirarse por sí mismos, y arrojar las partículas cercanas, y cualesquiera otros cuerpos que les impidiesen recobrar su estado anterior, o alcanzar su completa libertad"; o (c) "alambres extremadamente delgados, como los de oro y plata, que los mercaderes desenredan de algunos cuerpos cilíndricos de diferentes tamaños, en donde fueron enrollados; cuyas piezas de alambre espiral o rizado pueden ser,

tanto de diferentes substancias y consistencias, así como de muy diferentes longitudes y espesores, y tener sus rizos más grandes o más pequeños, más cercanos unos de otros, o más distantes, y estar diversificados de otro modo, y aún todos tener fuerza elástica en ellos, y (no obstante) ser, en razón de su forma, rápidamente expandibles en la línea de su estructura nativa, así también por el calor, los giros, y otros movimientos, y comprimibles por una fuerza externa en un espacio muy pequeño"; o (d) "las virutas muy delgadas de madera, que carpinteros y ensambladores están acostumbrados a quitar con sus garlopas; pues, además que éstas pueden estar hechas de diferentes maderas, como roble, fresno, abeto, etc. y por ello ser diversas en cuanto a su substancia, ellas son usualmente de muy variadas anchuras, longitudes y espesores" (Boas, 1965: 381-383).

De entre estas útiles representaciones para explicar la naturaleza elástica del aire, la imagen preferida de Boyle será la última, porque le puede servir -según su consideración- para probar "la producción de las partículas elásticas del aire" y para explicar la composición corpuscular y el movimiento del "aire atmosférico" a partir de identificar en su estructura distintos tipos de corpúsculos. Boyle establece que, para la producción de las "virutas elásticas", "no hay arte ni se requieren curiosos instrumentos", pues se producen de los cuerpos como "rayos y bloques" suficientemente delgados y flexibles, aún de aquellos cuerpos sólidos insospechadamente "elásticos en su volumen", pues como él mismo lo menciona: "que diversos cuerpos sólidos (e incluso minerales), no sospechosos de elasticidad, al ser puestos en menstros corrosivos, privados de esa cualidad, ahí, en la conveniente fragmentación de las partes siguiendo la acción y la reacción que pasa entre ellas en la disolución, resultará o emergerá una mediana cantidad

de aire permanentemente elástico” (Boas, 1965: 381-382). Para complementar esta caracterización corpuscularista del aire, Boyle asume la existencia de *tres clases diferentes de corpúsculos* en la composición del “aire atmosférico”: (1) *la primera clase* es “esa innumerable multitud y gran variedad de partículas, las cuales, bajo la forma de vapores, o exhalaciones secas, asciende de la tierra, agua, minerales, vegetales, y animales, etc. y, en una palabra, de cualesquiera substancias que son elevadas por los calores celestes o subterráneos, y hechas para difundirse ellas mismas en la atmósfera”; (2) *la segunda clase* “pueden ser aún más sutiles que las anteriores, y consisten de excesivas partes diminutas tales, que forman las corrientes magnéticas de nuestro globo terrestre, y las innumerables partículas, que el sol y otras estrellas, que parecen brillar por sí mismas, emiten desde sus propios cuerpos, o por su presión lanzan contra nuestros ojos, y con ello producen lo que llamamos luz; la cual, si la explicamos por la hipótesis epicúrea o cartesiana, arguye una gran abundancia de una materia celeste (o alguna otra muy sutil), que está dispersa a través de, o albergada en, los intervalos de los corpúsculos más estables o más grandes de la atmósfera”; y (3) *una tercera clase* de partículas atmosféricas: “aquellas que no están sólo por un rato, por manifiestos agentes externos, hechas elásticas, sino están permanentemente así, y de esa manera pueden ser nombradas *aire perenne*” (Boas, 1965: 380-381).

Una descripción de la composición corpuscular del aire como ésta, sólo puede comprenderse plenamente si se encuentra ligada a la imagen mecánica de los fenómenos naturales, tal como la concibe Boyle. Como hemos visto, serán las

virtudes que ofrece la concepción mecánico-corpúscular lo que permite a Boyle utilizarlas en buena parte de sus explicaciones neumáticas con el fin de mostrar lo inadecuado y ambiguo de las concepciones “vulgares” que “adscribían cualidades de sensibilidad y volición a la mera materia”, o atributos que eran solamente de Dios (Shapin/Schaffer, 1989: 202-203). De este modo, una comprensión mecánica de la naturaleza delinea teóricamente, con hipótesis y “*explicaciones deseables*” - como dice Boyle-, la práctica experimental como auténtica propuesta de un modelo viable para el descubrimiento de las verdades de la naturaleza.

6.2 Bomba Boyleana y Creación del Vacío: El Experimento XVII (1660).

Como se ha explicado, Boyle aprovechó las posibilidades prácticas que brindaba el experimento de Torricelli para crear el vacío y, así, explotarlo experimentalmente al máximo. De ello dependió, en gran medida, el desafío epistemológico que entrañaba su propia concepción experimental, pues si lograba explicar y probar efectivamente el fenómeno del vacío, su hipótesis mecánico-corpúscular de la estructura de la naturaleza se vería corroborada, y, además, obtendría un importante triunfo para que su técnica experimental usada y diseñada para ello lograra aceptación entre la comunidad de filósofos naturales de su tiempo.

Con esta expectativa y la firme convicción de que “ninguna filosofía de la naturaleza podía esperar establecer un fundamento sólido para el asentimiento a menos que estuviera basada en las prácticas experimentales” (Shapin/Schaffer, 1989: 110), las investigaciones de Boyle tomaron un nuevo rumbo hacia el año de 1657 cuando recibió noticias acerca de ciertas experiencias con una nueva bomba de vacío, llevadas al cabo en Magdeburg por Otto von Guericke (ver *Figura 6*).

Esto fue motivo suficiente para que Boyle dirigiera su atención, específicamente, hacia la pneumática como una rama de su interés dentro de la filosofía natural. El nuevo método para producir vacío fue descrito por Gaspar Schott (1608-1666), jesuita y escritor peripatético sobre mecánica, en su obra *Mechanica Hydraulico-Pneumatica* (1657), la cual estaba dirigida a refutar la afirmación de Von Guericke de que había producido realmente el vacío. Von Guericke había llegado a la conclusión de que la presión atmosférica jugaba un papel determinante en los fenómenos pneumáticos, además de que rechazaba el *horror vacui* en la naturaleza, ya que “él estaba convencido de que en la naturaleza efectivamente ocurría un vacío, a saber, en todo el espacio interestelar, y que los recipientes evacuados por él con su bomba, sin estar vacíos en todo el sentido absoluto, todavía contenían sólo una cantidad extremadamente pequeña de aire” (Dijksterhuis, 1969: 455).

Con esta nueva información y la viabilidad de incorporar un instrumento como la bomba de vacío a los estudios experimentales sobre el aire, presentaron a Boyle la oportunidad de reforzar y ampliar uno de los aspectos técnicos de su práctica experimental, a saber: el uso de instrumentos y aparatos en la investigación de la naturaleza (ver capítulos 1 y 3).

Las posibilidades del experimento torricelliano ya las había usado Pascal anteriormente para ver que “el experimento ofrecía la posibilidad de comprobar la hipótesis de que la presión del aire, y por tanto la altura de la columna de mercurio, deberían ser menores en la cima de una montaña que en la base”; éste fue el experimento de Puy-de-Dôme de 1648 (ver *Figura 5*).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Como ya se ha dicho, el uso de instrumentos y aparatos (telescopio, microscopio, etc.) sirvió para ampliar el dominio y el alcance de los sentidos humanos para el estudio y comprensión filosófico-natural de los fenómenos físicos. Los instrumentos hicieron visibles y manejables aquellos fenómenos que permanecían en el espacio de un mundo invisible y fuera del alcance de los limitados órganos sensoriales humanos. Fenómenos y hechos como las manchas solares, los ojos de una mosca, los espermatozoides, la presión y elasticidad del aire, etc., se convierten -con el uso de los instrumentos- en fenómenos cada vez más familiares para el investigador; pues otro papel que juegan los instrumentos y aparatos en la filosofía natural experimental es el de contribuir a disciplinar los sentidos -ante una "nueva realidad"- para transformarlos en vías adecuadas y efectivas de acceso cognoscitivo a la estructura de la naturaleza.

En ese sentido, la integración de los resultados experimentales torricellianos y del uso técnico de una bomba de vacío realizada por Boyle en sus investigaciones, representará uno de los más grandes esfuerzos por encontrar y darle a la experimentación boyleana el estatus de legítima vía epistemológica en los estudios de la filosofía natural.

Todo ello había conducido a Boyle para que, a partir de 1657, viera como necesario y urgente -para sus fines- diseñar el instrumento clave de su práctica experimental en pneumática: la *bomba de aire o de vacío* (véase más adelante la *Figura 10*). La bomba boyleana de vacío (bomba de aire o pneumática) fue construida entre 1658-59 por Ralph Greatorex (m. 1712?), químico, constructor de instrumentos y ayudante de Boyle, y Robert Hooke (1635-1703), asistente de Boyle y luego Curador de experimentos de la Royal Society. El objetivo de Boyle, con la

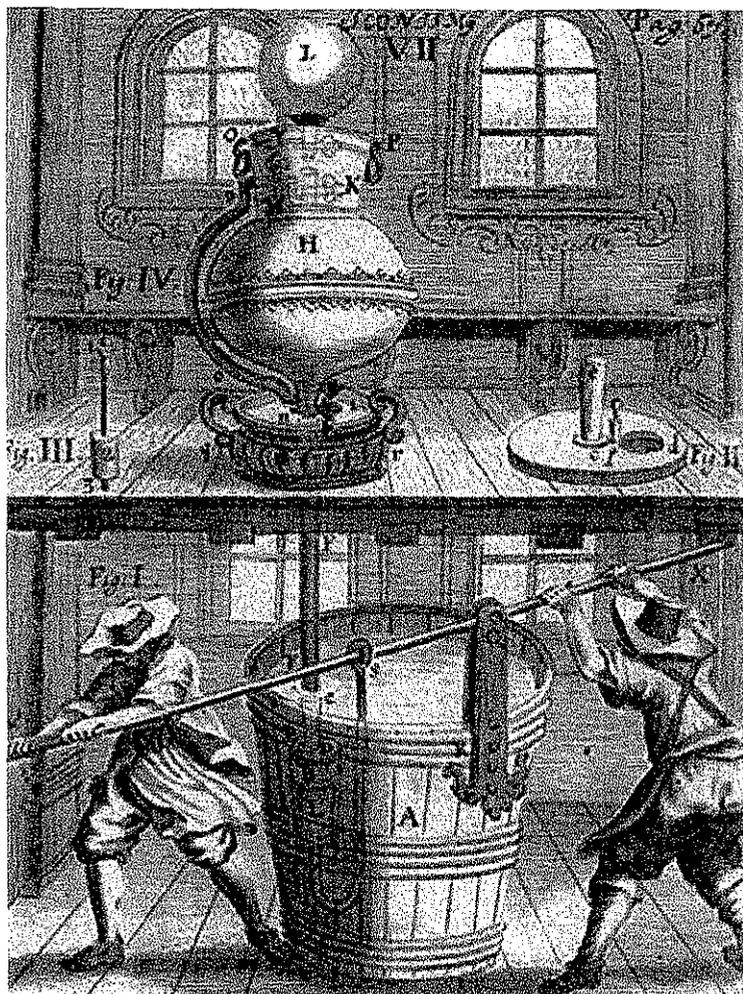


Figura 9. Ejemplo de las dificultades operativas de las bombas creadas por Otto von Guericke que permitieron la revisión técnica de Boyle para diseñar su propia bomba de vacío.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

183

experimental. Así, desde su terminación en 1659, la primera versión de la bomba boyleana de vacío fue concebida como un aparato donde hechos naturales experimentalmente reproducidos, pudiesen corroborar las hipótesis elaboradas sobre los hechos mediante una evidencia incrementada por sus resultados. De hecho, la bomba de vacío se constituyó en “la primera máquina compleja de laboratorio y acostumbró a los científicos a trabajar en condiciones totalmente artificiales, y el consiguiente enriquecimiento de la información fue una prueba más del gran valor de aparatos e instrumentos para extender el campo de la evidencia científica” (Crombie y Hoskin, 1979: 107).

En el año de 1660, Boyle publica una primera obra donde aparecen registrados y presentados públicamente, cuarenta y tres experimentos realizados con la bomba de vacío y otros asuntos relativos a la pneumática: los *New Experiments Physico-Mechanicall, Touching the Spring of the Air, and its Effects, (Made for the most part, in a New Pneumatical Engine)*. Esta obra incluye el Experimento XVII, conocido también como *experimento del vacío-en-el-vacío*. Este experimento será considerado –por Boyle– ejemplar de su filosofía experimental porque constituye una muestra de la unión efectiva de su explicación corpuscularista con su práctica experimental. Además, porque es un procedimiento diseñado para crear el fenómeno del vacío a nivel de la tierra, es decir, permite generar un vacío operable con el concurso de la experiencia y de la pericia humanas en el manejo de la bomba y su extracción del aire; tomando en cuenta que su valor experimental práctico, como apunta Shapin, era substituir-en aquellos días- “la imposible tarea de viajar a la parte superior de la atmósfera” (Shapin,

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1996: 98) para trabajar en el vacío. Por esta razón, el de la bomba era un vacío prácticamente manejable.

Boyle esperaba que de sus experimentos efectivamente se pudiese crear un vacío, el cual -según él- se logró con un experimento que, por ser técnicamente exitoso y meridianamente explicativo de la relación del peso y la elasticidad del aire, logró la aprobación plena de los miembros de la Royal Society al ser presentado en una de sus sesiones. Dicho experimento consistía en colocar el aparato torricelliano en la bomba y en evacuar el aire del contenedor. Más adelante ofrecemos una descripción más amplia y detallada de todo este procedimiento experimental.

En su citada obra Boyle presenta experimentos mucho más obvios, sencillos y de fácil manejo como por ejemplo, el *experimento de la cohesión* (Experimento XXXI) que se muestra más ostensivo y "natural", y técnicamente menos complicado, sin embargo, Boyle considerará que el *experimento del vacío en el vacío* (Experimento XVII) al ser más elaborado, más "artificial" y más "demostrativo" representa un desafío mayor tanto para su hipótesis como para su técnica experimental. En una descripción breve, el Experimento XXXI -o de la cohesión- se refiere al hecho (usado para demostrar el vacío desde tiempos de Lucrecio) de que dos discos de mármol o de vidrio perfectamente pulidos se cohesionan naturalmente cuando se presionan, deslizándolos, uno contra el otro; la conjetura de Boyle era que, colocando los discos unidos en el contenedor de la bomba de vacío y cuando el aire fuese evacuado, los discos se separarían al disminuir la presión del aire. El resultado fue que los discos no se separaron, y la

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

explicación que dio Boyle ante este “fracaso” experimental, fue que “la bomba tenía filtraciones” (Shapin/Schaffer, 1989: 47-48).

A este respecto, recordemos que en el capítulo anterior se explicó cuál era el papel y el significado de los “fracasos experimentales” en la experimentación boyleana. En ese sentido, para Boyle, el fracaso de un experimento, como el de la cohesión, no era motivo o razón para mostrar la ineficacia epistemológica de la experimentación en la producción de conocimientos sobre los fenómenos naturales; todo lo contrario, eso mostraba límpidamente la naturaleza esencial y propia del procedimiento experimental: ser una vía específica de conocimiento en un proceso de mejoramiento teórico y práctico permanente, de donde derivan su falibilidad y certeza probable.

Así pues, el propósito de Boyle por caracterizar a su práctica experimental neumática como una actividad especial, apremió la construcción, mejoramiento y uso experto de la bomba de vacío. La primera versión construida de la *machina Boyleana* resultó muy grande para los fines operativos de la experimentación neumática, lo cual obligaría a realizarle modificaciones subsecuentes al diseño original. Para dar una descripción de esta *primera versión* de la bomba (ver *Figura 10*) se toma como referencia la expuesta en Marie Boas (Boas, 1965: 101):

“A es el contenedor de vidrio, suficientemente grande para contener 30 ‘cuartos de vino’, con su tapón de latón K colocado para ajustarse en un agujero HI en el tapón de latón más grande FG el cual, a su vez, se ajusta al anillo de 4 pulgadas DE de la cubierta BC. K tiene un pequeño agujero, 8, el cual puede usarse ya sea para dejar entrar pequeñas cantidades de aire o para sostener una cuerda, 8, 9,10, que permita la suspensión y movimiento de objetos en el vacío.

“El contenedor está conectado al cilindro de bombeo de latón (14 pulgadas de largo y 3 pulgadas de ancho) a través de una espita N,S con la válvula R. Dentro del cilindro está el “chupón” 4,4,5,5; la parte superior se ajusta al cilindro laxamente y se hae ajustar firmemente por medio de un trozo de piel curtida; la parte inferior es una larga y

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

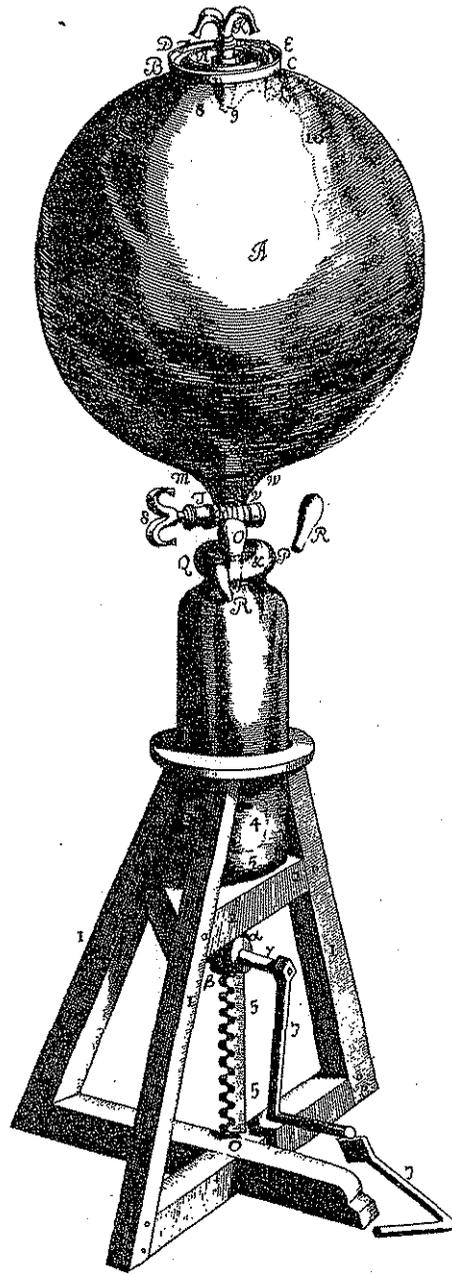


Figura 10 Primera versión de la bomba boyleana de vacío.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

186-a

estrecha pieza de hierro con un borde dentado, el cual está hecho para retraerse al manipular el mango 7.

“La armazón es de madera”.

Asimismo, se cuenta también con una descripción más moderna en el lenguaje, ofrecida por de Shapin y Schaffer (1989), referida ya a los experimentos del vacío, y quienes la presentan del siguiente modo:

“La máquina consistía de dos partes principales: un globo de vidrio (o “contenedor”) y el aparato de bombeo mismo....El contenedor albergaba el espacio del cual el aire atmosférico sería removido....El aparato experimental podía colocarse en el contenedor a través de una abertura de aproximadamente 4 pulgadas de diámetro en la parte superior (“B-C”), y podían hacerse adaptaciones especiales para instrumentos, como el experimento torricelliano, los cuales eran más altos que incluso el gran contenedor, en cuyos casos parte del aparato se prolongaba, a través de la abertura sellada, por encima del contenedor.

“El contenedor se estrechaba en su base de modo que se ajustara dentro de un dispositivo de latón (“N”) que contiene una espita (“S”). Éste a su vez estaba conectado a un cilindro hueco de latón (“3”) de aproximadamente 14 pulgadas de largo y aproximadamente tres pulgadas de diámetro interno. En el borde superior del cilindro había un pequeño agujero dentro del cual una válvula de latón (“R”) podía insertarse como se requiriera. Dentro del cilindro estaba un pistón de madera (o “chupón”) que topaba con ‘una pedazo de buen espesor de piel curtida’ (“4”), la cual proporcionaba un ajuste sumamente apretado entre el pistón y la parte interior del cilindro. El pistón funcionaba de arriba a abajo por medio de un dispositivo de cremallera (“5”) y piñón (“7”) de hierro, la máquina completa descansaba en un armazón de madera (“1”) (Shapin/Schaffer, 1989: 26-28).

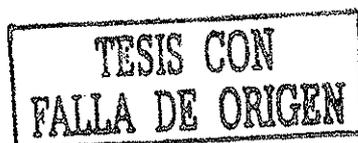
Como he venido insistiendo, la construcción de esta máquina neumática fue para Boyle la primera oportunidad de probar, revisar y consolidar las posibilidades epistemológicas de su experimentación, así como encarar las emergentes dificultades para afinar los procedimientos usados y obtener una mejor técnica experimental. Los problemas prácticos y técnicos que tuvo que enfrentar Boyle en sus demostraciones experimentales dependían (como se explica más adelante), en gran medida, tanto de la habilidad del experimentador para el manejo de los dispositivos y artefactos usados en ellas, como de la utilización de materiales adecuados en la elaboración de los instrumentos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La intención de Boyle era que la instrumentación experimental extendiera su capacidad y viabilidad hacia otros estudios físicos, químicos y médicos, como lo muestra el propio caso del Experimento XVII, en donde dos instrumentos experimentales como el barómetro torricelliano y la bomba de vacío, son utilizados para demostrar fenómenos naturales más complicados como el vacío en el vacío, la cohesión, o el papel del aire en la respiración animal y humana.

Las dificultades y críticas que se le presentan a la labor experimental de Boyle, lo obligan a desplegar sus capacidades inventivas con la finalidad de lograr reproducir y manipular mejor las condiciones de algunos fenómenos de la naturaleza para explicarlos con suficiente certeza. Este es el objetivo que persigue Boyle con su serie de cuarenta y tres experimentos en su citada obra de 1660: que los experimentos con la bomba de vacío sean lo suficientemente fructíferos en sus resultados para sugerir y justificar aquellas nociones o hipótesis explicativas que construimos acerca de ellos (Boas, 1965: 326). De hecho, Boyle esperaba, de algún modo, lograr que los experimentos realizados con su bomba fuesen ejemplares para su práctica y explicación experimentales. Este es el caso del experimento del vacío en el vacío, como se explicará a continuación. Para efectos meramente descriptivos y de síntesis, se tomará como base la versión abreviada del Experimento XVII ofrecida por Shapin y Schaffer (1985: 42-43) ⁷ :

⁷ La descripción original y completa de este Experimento se encuentra en el Volumen 1 de Boyle, Robert, (1999-2000), *The Works of Robert Boyle*, (Eds. Michael Hunter y Edward B. Davis) London: Pickering & Chatto, pp. 192-201.



(1) Tomar un tubo de vidrio de 3 pies de largo, un cuarto de pulgada de diámetro, lleno de mercurio e invertido en un plato de mercurio, teniendo cuidado de remover las burbujas de aire contenidas en la substancia.

(2) Al realizar la inversión del tubo, la columna de mercurio baja a una altura aproximada de 29 pulgadas sobre la superficie del mercurio en el plato, dejando el espacio torricelliano en la parte alta.

(3) Luego se procede a pegar un trozo de papel reglado en la parte de arriba del tubo y, usando varias cuerdas, se baja el aparato torricelliano dentro del contenedor. Se deja parte del tubo prolongado por encima de la abertura del receptor y se llenan las uniones con diaquilón [un cemento especial, posiblemente una mezcla de aceite de oliva con otros jugos vegetales fundidos junto con óxido de plomo] derretido. Notar que no hay cambio en la altura del mercurio antes de que la evacuación comience.

(4) Se inició el bombeo. Con la primera extracción se produjo una baja inmediata de la columna de mercurio, y en las subsecuentes extracciones se sucedieron ulteriores caídas de la columna.

(5) Después de un bombeo de extracción por cerca de un cuarto de hora (no se registró el número de extracciones realizadas en este lapso), el mercurio cesó de caer.

(6) El experimento se repitió en presencia de testigos y se obtuvo el mismo resultado.

(7) Se observó que la caída del mercurio podría revertirse dando vuelta a la válvula (espita) para dejar entrar un poco de aire. Sin embargo, la columna no recuperó

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

totalmente su altura previa, incluso cuando el aparato regresó a las condiciones iniciales.

(8) *Variantes del protocolo experimental básico:*

(a) se hizo la prueba con un tubo de vidrio que contenía mercurio, sellado en la parte de arriba con diaquilón para someter a prueba la porosidad de ese emplasto (Boyle concluirá que el diaquilón no proporcionaba un sello totalmente ajustado);

(b) se probó con un receptor más pequeño para ver si se podía o no obtener una evacuación de aire más completa y eficiente, y obtener una caída más completa de la columna de mercurio;

(c) se intentó al revés (el aire en el receptor estaba condensado al hacer funcionar la bomba inversamente) para ver si se podía que el mercurio alcanzase una altura de más de 29 pulgadas.

Boyle con este experimento, como ya se dijo antes, pretendía lograr que, con la completa evacuación de aire del contenedor en la bomba, se generase un vacío efectivo que provocase la caída casi total del nivel de mercurio en el barómetro. La gran diferencia con el experimento de Pascal era que, éste en sus tubos, había expuesto el mercurio al aire, mientras que en la bomba de Boyle se había colocado dentro del contenedor con el aire extraído en su totalidad. De esta manera, Boyle creía que "si pudiésemos perfectamente sacar el aire del contenedor, ellos nos conduciría tan bien a nuestro propósito como si se nos concediera probar el experimento más allá de la atmósfera" (Boas, 1965: 329). Así tenemos que el vacío buscado por Boyle es un vacío reproducible y operable en condiciones terrestres. Su afirmación de la obtención exitosa de este vacío será uno de los principales motivos para las críticas desarrolladas por filósofos naturales

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

como Thomas Hobbes, Franciscus Linus y el propio Henry More (colega de Boyle y miembro de la *Royal Society*), las cuales se exponen en el siguiente capítulo de este trabajo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 7. Tres Desafíos a la Experimentación Boyleana: las Críticas de Thomas Hobbes, Franciscus Linus y Henry More.



7.0 Introducción.

A lo largo de este trabajo, hemos expuesto que la experimentación boyleana siempre suscitó críticas por parte de algunos filósofos naturales de mediados del siglo diecisiete. La razón consistía en que, para ellos, ese procedimiento experimental no era seguro como una vía legítima para conocer, explicar y demostrar los hechos naturales. De esas críticas, argumentos y retos a favor o en contra de la experimentación neumática boyleana, sobresalen las tres críticas principales a quienes el propio Boyle los aceptó como interlocutores para explicarles cuáles eran las características de la práctica experimental, ellos son: Thomas Hobbes, Franciscus Linus y Henry More.

Este capítulo está dedicado a analizar cómo en las controversias que Boyle sostiene con estos filósofos son cuestionados distintos aspectos relevantes para su experimentación neumática: la eficacia del procedimiento experimental para demostrar la verdad sobre los hechos de la naturaleza, la afirmación de un *horror vacui* en la naturaleza, y la existencia de una materia sutil o un principio semejante que explique los fenómenos neumáticos.

En la primera sección, analizamos cómo la crítica de Thomas Hobbes se funda en considerar a la experimentación boyleana como una mera colección de hechos particulares que, junto a sus dispositivos experimentales (como la bomba de vacío), no puede ofrecer verdaderas explicaciones físicas de los fenómenos

naturales, más aparte Hobbes asume la concepción cartesiana del espacio como un *plenum* en donde no existe la posibilidad para afirmar la existencia fáctica del vacío, la cual usa como argumento contra Boyle. La respuesta de Boyle es que ambos hablan lenguajes distintos porque Hobbes no entiende el lenguaje experimental.

En la segunda sección, analizamos la crítica de Franciscus Linus (ontológica en carácter) y la propuesta de su “hipótesis funicular” que afirma la existencia de una substancia o “funículo” (una especie de hilo o filamento) que actúa en el espacio torricelliano y está encargada de mantener la columna de mercurio en posición, pues su “función natural” es impedir que haya vacío. La respuesta de Boyle a la hipótesis de Linus es demostrar experimentalmente que la causa fáctica de los fenómenos neumáticos es la presión atmosférica y que, además, en la condensación y rarefacción del aire, hay una relación proporcional directa entre el peso y la fuerza elástica del aire; esto último es conocido como la “ley de Boyle”.

En la tercera sección, analizamos la crítica metafísica de Henry More (que no descarta a la experimentación como procedimiento confiable en los estudios naturales) que se funda en su rechazo al materialismo hobbesiano, su reticencia hacia las explicaciones mecánicas, y su creencia en un “principio hilárquico” de la naturaleza, el cual explicaría los fenómenos neumáticos afirmando que hay una materia sutil cuyas partículas no poseen gravitación, y que existen algunas partículas atmosféricas que sólo descienden. La réplica de Boyle a More es mediante su explicación mecánica y experimental del vacío.

Finalmente, en la cuarta sección, concluimos cómo estos diversos desafíos fortalecen al procedimiento experimental, cuya naturaleza de perfeccionamiento y

constante ajuste teórico, técnico y metodológico revela un “escepticismo constructivo” (planteado por Van Leeuwen) que afirma que la estructura real de la naturaleza es incognoscible, pero que, sin embargo, puede ofrecer alguna evidencia de ella.

7.1 La Crítica Plenista de Thomas Hobbes al Vacío Boyleano.

Para Descartes, los experimentos en general, no podían tener una utilidad filosófico-natural plena porque se circunscribían a describir sólo fenómenos particulares y específicos desde los cuales no se alcanzaban a establecer sólidos principios generales de explicación física; en sus palabras, los experimentos “son la mayoría tan complicados con detalles innecesarios e ingredientes superfluos que sería muy difícil para el investigador descubrir su núcleo de verdad” (Shapin, 1996: 109-110). Mientras que para Hobbes, de un modo semejante al cartesiano, la experimentación de Boyle la consideraba una mera colección de hechos particulares no podía ofrecer auténticas explicaciones naturales de las causas de los fenómenos. Hobbes “insistía en la construcción tradicional de la *filosofía* natural como la búsqueda del conocimiento seguro de las causas de la naturaleza...y no veía modo seguro de procedimiento de una pila de hechos particulares hacia el conocimiento causal que poseyera la certeza apropiada para la filosofía” (*Ibidem*: 111). Para Hobbes era indudable que el procedimiento filosófico-natural de búsqueda de la estructura causal de los fenómenos tenía que ser uno de corte parecido a la deducción matemática, es decir, “proceder *del* conocimiento correcto de las causas, racionalmente establecido, *al* conocimiento de los efectos” (*Ídem*: 111). Proceder y actuar de otra manera, consideraba Hobbes, era sólo describir

algo ficticio acerca de la naturaleza, nada parecido a la actividad filosófica, la cual exigía “[e]stablecer sobre ciertas bases cuál es la causa real, y entonces estarás actuando como un filósofo. Declina hacerlo así y serás un mero contador de cuentos sobre los fenómenos naturales” (*Ídem*: 111).

A pesar de que, en un sentido general, Robert Boyle compartía con Descartes y Hobbes una visión mecanicista de la naturaleza, en lo particular diferían sus modos y formas de concebir la obtención del conocimiento de los fenómenos físicos, así como de su propia visión de la naturaleza (especialmente, en fenómenos como el vacío), por tanto la de Boyle era una concepción distinta. De todos los críticos mencionados hasta ahora, será Hobbes quien aseste las más severas y contundentes críticas contra la práctica experimental inglesa, será considerado, en palabras de Shapin y Schaffer como “*la bestia antiexperimentalista*”.

La serie de objeciones y críticas que exhibe Hobbes contra la experimentación boyleana las expone, en lo fundamental, en su *Dialogus Physicus* (1661), escrito que es una respuesta directa a las tesis sostenidas por Boyle en sus *New Experiments* de 1660, y su cuestionamiento es básicamente al procedimiento y al aparato experimentales como vemos a continuación:

- (1) La bomba boyleana no podía producir un vacío de hecho porque tenía filtraciones de aire;
- (2) Los experimentos “sofisticados” producían fenómenos artificiales manipulados por la mano humana, no eran naturales;
- (3) Existe un aire tan puro que se le compara con el éter, de tal modo que aún las partes más pequeñas, sutiles y puras de aire son todavía aire o éter; por lo tanto, el receptor de la bomba no se encuentra efectivamente vacío;

(4) La luz, los colores, el magnetismo pasan por el "vacío" del receptor de la bomba, entonces está lleno.

(5) La experimentación es ociosa, pues si uno puede inferir causas desde los efectos, un solo y único experimento es suficiente;

(6) El tal carácter hipotético de las explicaciones experimentales en realidad son efectivos enunciados de causas reales, no de causas posibles;

(7) El lugar de los experimentos (la Royal Society) no es público como dicen los experimentadores, son de cincuenta a cien testigos de los experimentos, y esto no puede generar consenso, ni acuerdos metodológicos;

(8) El experimentalismo no puede considerársele filosofía, porque la filosofía es la demostración de cómo los efectos se siguen desde las causas o es la inferencia de las causas desde los efectos; y

(9) No existe suficiente manifestación divina en el mundo para asegurar la existencia y providencia de una deidad.

Estas objeciones Hobbes las enarbola por considerar –aunque Boyle luego lo desmentirá- de que son la práctica común y general que realiza el grupo de filósofos naturales de la *Royal Society*, a quienes denomina "filósofos experimentalianos" (*experimentarian philosophers*) (Boyle, 3-1999: 111); para él, "toda la Sociedad del *Gresham College*" (*Ídem*: 117) realiza este trabajo, ante lo cual Boyle responde que esto es *el primer error de Hobbes* que pudo haberlo evitado, puesto que, por una parte, el libro de los experimentos de Boyle se publicó en 1661 y la *Royal Society* se oficializó como institución hasta 1662, esto nos advierte que, como lo indica Boyle, "algunos meses antes de que la Sociedad iniciara actividades" (*Ídem*:117) sus experimentos ya eran conocidos por la comunidad filosófica; y por otra parte, esos experimentos –por tanto- habían sido realizados, presentados y discutidos ante sus colegas, e inclusive, ante el propio Carlos II, mucho antes de que el libro se publicase; además, la bomba de vacío boyleana, convertida en el aparato experimental *par excellence* de la

experimentación neumática en ese tiempo (ver *Figura 11*), fue presentada en su sesión del 15 de mayo de 1661. Estos datos indican que el señalamiento de Boyle es correcto, aunque cabe recordar que la práctica experimental boyleana no era homogéneamente aceptada en el seno de la *Royal Society*. Pero sin lugar a dudas, la consecuencia práctica más importante de las críticas hobbesianas para la experimentación neumática de Boyle fue el diseño de una nueva versión de la bomba de vacío (ver *Figura 12*).

Un segundo error que Boyle señala a la réplica de Hobbes se refiere a su afirmación de que los experimentos publicados fueron diseñados y empleados “para probar un *Vacío*” (Boyle, 3-1999: 117), cuando ni la *Royal Society* -hasta ese momento- se había pronunciado a favor o en contra de la existencia efectiva del vacío, ni tampoco el propio Boyle lo había hecho, quien lo expresa en estos términos: “No, yo no sólo me abstengo de declararme Vacuista o Plenista, sino que he, en un lugar adecuado de mi Escrito, expresamente dicho que me reservé la declaración de mi propia Opinión tocante a ese Punto para otro Discurso (el cual aún no está publicado)” (Boyle, 3-1999: 117). Por esta razón, Boyle denuncia que Hobbes se equivoca al representarse los experimentos “como Demostraciones sostenidas por Vacuistas declarados para desaprobar la Plenitud del Mundo” (Boyle, 9-1999: 118).

Boyle está claro respecto a lo que desea *probar* con su obra experimental. No se trata de aceptar o no el vacío, sino más bien rechazar el supuesto hobbesiano (metafísico) de un *plenum*, el cual Boyle refutará razonablemente, al valorar incluso si los propios cartesianos pueden ofrecer “una Explicación más

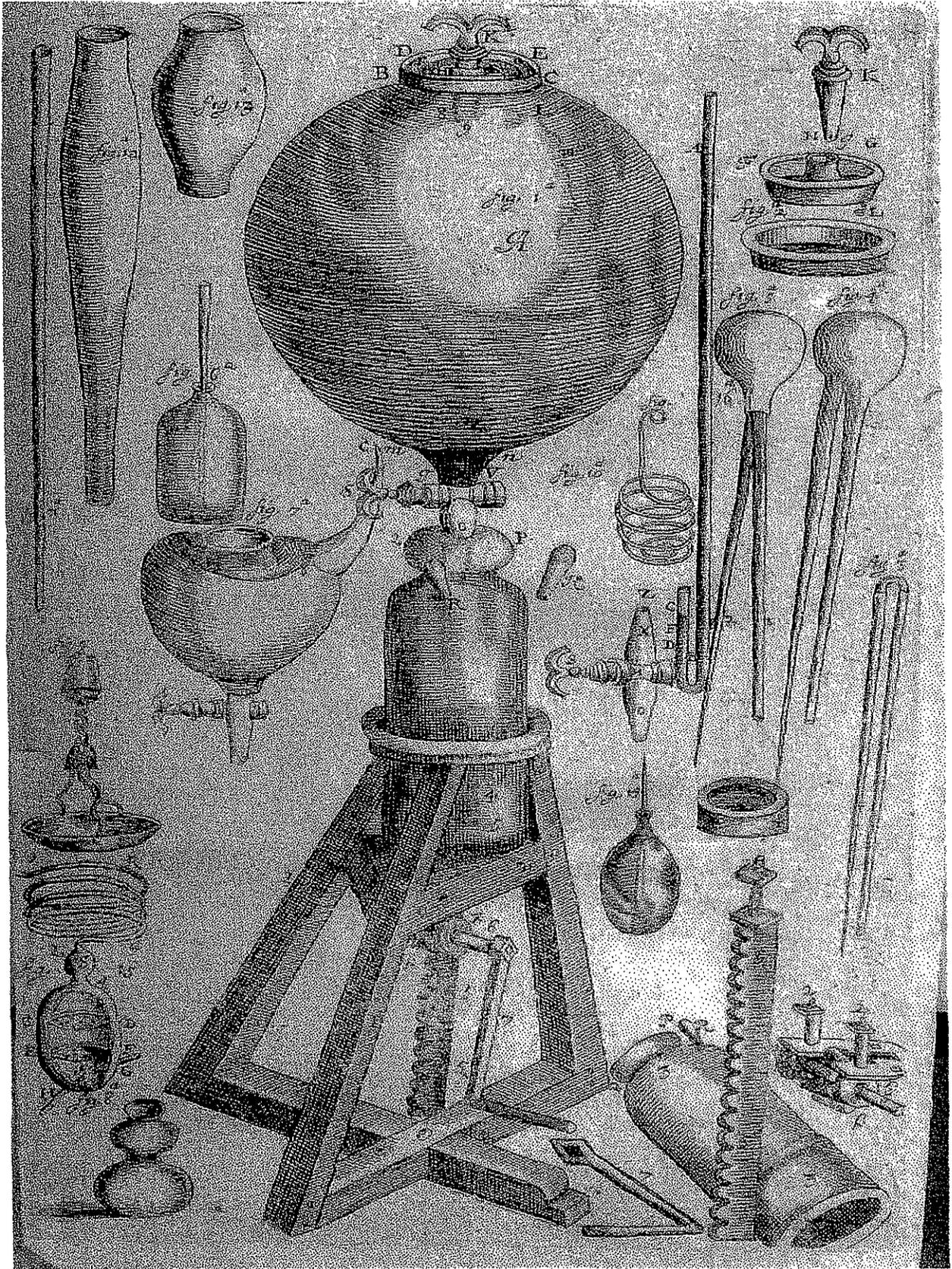


Figura 11. Segunda versión de la bomba boyleana de vacío.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

197-a

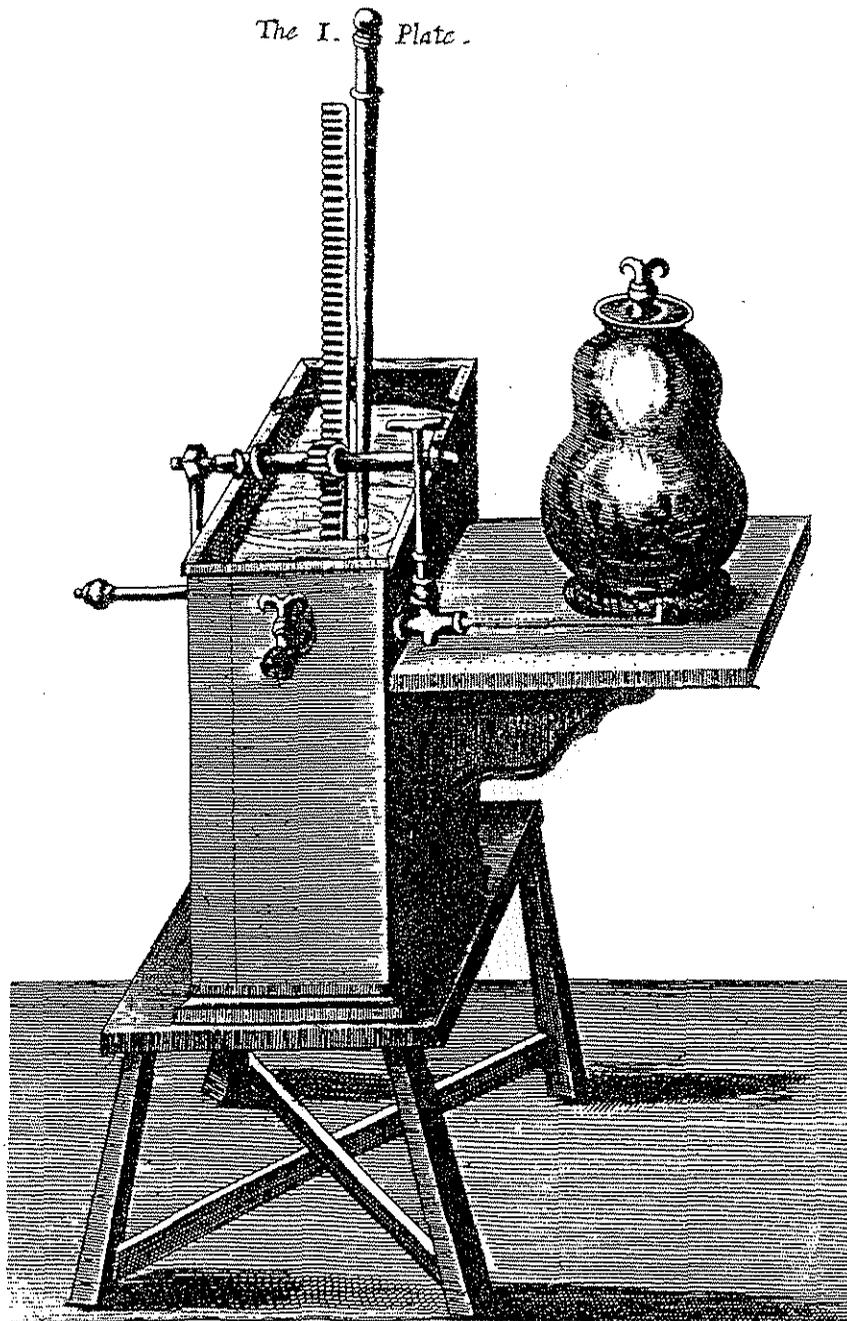


Figura 12. Tercera versión de la bomba de vacío de Boyle.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

plausible (sea verdadera o no)” para los experimentos hechos con la bomba de vacío, basados en la hipótesis de la fuerza elástica del aire; todo lo cual implica considerar –inclusive- la viabilidad de la hipótesis cartesiana de que “la Materia Celeste de la cual el aire consiste en gran parte, es suficientemente sutil para pasar libremente a través de los Poros de los Cuerpos más cerrados, e incluso el Vidrio mismo”(Boyle, 1998: 118). De este modo, si fuera el caso, habría que concluir que efectivamente no podría haber ningún vacío.

El argumento principal de Hobbes (que él considera irrefutable) contra aquellos vacuistas, se refiere a señalar cuál es la causa real de la suspensión del agua en una regadera de jardinero cuando a ésta se le tapa la abertura superior por donde se llena de agua, Hobbes lo describe de la siguiente manera: “(1) que el Agua no puede expulsar el Aire. 2. Y no puede expulsarlo a menos que el Aire logre entrar en su lugar. 3. Pero el Aire no puede entrar en su lugar, a menos ya sea que entre por el Orificio superior, o por los Agujeros que perforan el Fondo” (Boyle, 3-1999: 117-118). Ésta supone ser la conclusión de un experimento descrito en su *De Corpore* (1655), el cual es citado por Boyle del siguiente modo:

“Que si una Regadera de Jardinero es llenada con Agua, al taparse el agujero de arriba, el Agua no fluirá hacia fuera en ninguno de los agujeros de abajo: Pero si el Dedo se quita para dejar entrar el Aire arriba, saldrá por todos ellos; y, tan pronto como el dedo sea colocado nuevamente, el agua repentina y totalmente dejará de salir otra vez. La causa de lo cual (él [Hobbes] sobreañade) no parece ser otra sino ésta, que el Agua no puede por su natural esfuerzo descender más abajo del Aire, porque no hay lugar para que entre; a menos que ya sea por empujar el próximo Aire contiguo proceda por esfuerzo continuo hacia el agujero de arriba, donde puede entrar y obteniendo el lugar del Agua que sale; o también por resistir el esfuerzo del Agua hacia abajo que penetra al mismo, y pasa hasta arriba a través de él” (Boyle, 3-1999: 118).

Para Boyle, este experimento es *tan obvio* que lo considera ya suficientemente respondido por él, con los resultados arrojados por su Experimento XXXIII (1660), y

por Seth Ward (miembro de la *Royal Society*) en su *In Thomae Hobbii philosophiam exercitatio epistolica* de 1656, como el mismo Boyle lo menciona. La explicación y respuesta a la réplica de Hobbes, Boyle la elaboró como sigue:

“la Suspensión o Descenso del Agua depende de la Proporción entre el peso de la Columna Acuosa que tiende hacia abajo, y la Resistencia o Presión del Aire que puede ejercer contra ella...[así] por un lado, cuando la altura de esa Columna se incrementa, en tanto puede pesar más que la *Columna Atmosférica* que se opone a su Descenso, fluirá hacia fuera hasta que esas dos Columnas lleguen a un *Equilibrio*: así por otro lado, si en lugar de incrementar la longitud de la Columna de Agua, disminuyes la presión y resistencia del Aire, el agua descenderá de modo semejante, aunque la Columna sea muy corta, como he mostrado en el Experimento diecinueve; donde, al sacar algo de Aire del Contenedor, y así debilitando su Fuerza Elástica, el Agua en un Tubo Herméticamente sellado en un extremo de aproximadamente cuatro pies de largo bajó aproximadamente tres pies, sin embargo Que el espacio dejado por el Agua no se llenó de Aire, como el Sr. *Hobbs* en su Argumentación requiere que deba ser, puede probarse por qué se ha añadido, *Que al dejar entrar el Aire exterior cuando el Agua estaba tan hundida tan bajo era inmediatamente empujada hacia arriba otra vez hacia las partes superiores del Tubo*” (Boyle, 3-1999: 119).

Pero para Boyle el problema no estriba únicamente en argumentar y probar con *un solo y único caso experimental* la existencia o inexistencia del vacío. La contrargumentación fundamental de Boyle a Hobbes es que éste no habla el “lenguaje experimental” y, por ello, es muy difícil que pueda entenderse adecuadamente la dimensión experimental de los hechos. Recuérdese que uno de los más importantes señalamientos críticos a la vía experimental de conocimiento es su pretensión de construir explicaciones generales desde una serie de eventos particulares. No obstante esto, la tesis de Boyle apunta hacia un punto más central para la defensa de la experimentación: *una sola y única ejecución experimental es imposible que baste para establecer la certeza o la falsedad de un fenómeno o un hecho de la naturaleza*. Esto es precisamente lo que él sostiene en su réplica antihobbesiana sobre el vacío: “Que mientras sólo se expongan Experimentos

particulares para afirmar la Imposibilidad de un *Vacío*, quizás los Vacuistas tendrán la Ventaja de su lado” (Boyle, 3-1999: 120). Para él, esto no da lugar a ninguna duda.

Por esa razón, la renuencia o la falta de habilidad en el sólido manejo experto de la técnica experimental para elaborar explicaciones y construir hipótesis sobre los fenómenos naturales (como, por ejemplo, la posibilidad del vacío) permitió que el mismo Boyle entendiera que, debido a esa falta hobbesiana de una experimentación, los vacuistas acusados por Hobbes se viesen beneficiados con una mayor plausibilidad para su hipótesis porque “en algunos *Fenómenos del Experimento Torricelliano*, y en muchos de aquellos de nuestra Máquina, el Sr. *Hobbs* [sic] prueba que el espacio dejado por el Mercurio o el Aire no tiene Vacuidad, porque según su Suposición el Mundo está lleno” (Boyle, 3-1999: 120). En tanto que los vacuistas sí intentan *probar empíricamente* con su hipótesis experimental, no que el espacio esté lleno, sino que por “*Fenómenos sensibles*, que el Mercurio vacía la parte superior del Tubo, y que mucho Aire es extraído de nuestro Contenedor” (Boyle, 3-1999: 120). Esto es, pues, un asunto empírico y no sólo de suposiciones teóricas, cosa que al parecer Hobbes no comprende o trata de insertar en un marco distinto del experimental.

Pero lo más importante de esto es que Boyle está consciente de que la manera de Hobbes de llevar al cabo el debate es sumamente inapropiada porque “parece probablemente deducible, Que es una cosa muy difícil, por el modo del Sr. *Hobbs* [sic] de manejar la Controversia, probar que no puede haber *Vacío*. Pero en

cuanto al modo más sutil y plausible de afirmar un *Pleno* de los Cartesianos, no me interesa aquí Disputar contra él, o Declarar a favor de él" (*Ibidem*).

Por esta razón, si se comprende la naturaleza característica de los experimentos, entonces se puede entender que, para todos los hechos que puedan someterse al tratamiento experimental (como el caso del vacío), epistémicamente hablando, las certezas o verdades que lleguen a establecerse mediante explicaciones mecánicas, sólo muestran su carácter probable y falible, pues como lo asienta Boyle: "hay Razón para sospechar que los Fenómenos que ellos [los experimentos] exhiben puedan proceder de más Causas que una, y esperar que un Juicio más Artificial puede determinar cuál de ellas es la verdadera" (Boyle, 3-1999: 121).

Con esto, Boyle se propone dejar bien definida la naturaleza del procedimiento experimental en la explicación natural: no se trata de que los resultados experimentales sean presentados y sometidos a meras discusiones especulativas, sino que debe tratárseles en sus propios términos, esto es, la valoración de una hipótesis en relación con la cantidad de evidencia empírica obtenida por medio del experimento. Con esto bien asentado, Boyle es muy claro al insistir en cuál es el objetivo expreso de sus experimentos neumáticos: "el Título de mi Libro promete algunos *Experimentos* referidos a la Fuerza Elástica del Aire y sus Efectos, no Especulaciones de las Causas de las Fuerzas Elásticas en general" (*Ibidem*). Este señalamiento lo complementa Boyle con una fuerte crítica a la posición hobbesiana aseverando que, si por Hobbes fuera, gustosamente impediría la comunicación de todo aquel experimento u observación que cuya

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

causa verdadera no pudiese ser establecida "por deducción desde los Primeros y Universales Principios de la Filosofía" (*Ibíd.*).

Aunque Boyle -como se ha dicho- no está interesado en seguir ese método deductivo de la búsqueda de las causas físicas, confiesa por qué tomó esta determinación: "yo tendría que haber tenido alguna duda para arriesgar la asignación de la verdadera Causa de las Fuerzas Elásticas en general" (Boyle, 3-1999: 121). Pero no se arriesgó, debido a su afán de buscar mayor evidencia y corroborar empíricamente con el experimento, la asignación sólo de causas probables, y no de *una causa verdadera*.

Como anteriormente lo indicamos, a Hobbes lo que le interesa es demostrar que el procedimiento experimental no es una segura y adecuada vía epistemológica, porque no alcanza a determinar las causas verdaderas de los fenómenos con la certeza plena que ofrecen las conclusiones de la deducción en geometría. Por ejemplo, en el caso del movimiento, para Hobbes "lo que está en reposo no puede ser movido sino por un Móvil en movimiento y contiguo", mientras que para Gassendi, los epicúreos antiguos y modernos, y muchos naturalistas, entre ellos, Boyle, "piensan que el Movimiento, o al menos, *conatus ad motum*, es una propiedad fija, congénita a la Materia" (Boyle, 3-1999: 122). De esta consideración puede entenderse porqué las explicaciones pneumáticas hobbesianas para negar el vacío asumen la necesidad de un agente externo para describir el fenómeno elástico del aire, es decir, por qué "las Partes del Ambiente no poseen esfuerzo que contribuya a su Compresión o Extensión, ni a colocarlas en Libertad o Restitución" (Boyle, 3-1999: 122), lo cual -según Boyle- dice mucho pero no *prueba* nada. Ahora bien, si el aire no posee ese "esfuerzo" propio,

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

entonces Hobbes fácilmente asumirá la hipótesis cartesiana de la existencia de una "materia sutil o etérea" que explique la restitución del movimiento elástico en los fenómenos de contracción y expansión del aire, que actúa "a través de los Poros del Cuerpo Elástico, el cual lucha para obtener su acostumbrada Libertad de paso, los restaura a la forma y tamaño desde los cuales fueron forzados" (Boyle, 3-1999: 122). Así, todo cuerpo elástico se restituye en su forma inicial por "un cierto Esfuerzo o Movimiento en su Partes internas (sin considerar el tiempo de su Compresión o Extensión)....hace que el Todo se restaure" (Boyle, 3-1999: 122-123).

Ahora, respecto a la cuestión acerca del origen del movimiento y especulaciones similares, Boyle reitera su posición y declara enfáticamente que "yo decliné comprometerme en Controversias acerca del Origen del Movimiento, y otras semejantes altas Especulaciones, pues...ni mi Plan lo exigía, ni mi ocio permitía que debiera proseguirlas" (Boyle, 3-1999: 123).

Prosiguiendo Boyle su examen de los argumentos hobbesianos, señala que Hobbes ha entendido mal la mismísima noción boyleana de *aire*, por lo que no puede haber una argumentación consistente si hay fallas en la comprensión de los conceptos básicos con que se construye, y por esta razón nuestro autor le ofrece una definición que aclare su significado en el contexto de su práctica experimental neumática: "cuando digo, que el Aire posee Gravedad y un Poder Elástico, o que el Aire es, en gran parte, extraído del Contenedor, es suficientemente simple que tomo el Aire en la obvia Aceptación de la palabra, en tanto la *Atmósfera* que respiramos, y donde nos movemos" (Boyle, 3-1999: 124). Por eso, si Hobbes no lo ha comprendido de este modo, es explicable que todas sus pretendidas

refutaciones de los resultados experimentales no demuestren ni prueben nada, como lo ha dicho Boyle. Ahora que si como Hobbes menciona, ha realizado *ciertos* experimentos, insiste en *aprobar (mas no probar)* la existencia de una “substancia etérea” (cuya existencia empírica es dudosa) que interviene como el factor decisivo –en última instancia- en la producción de los fenómenos pneumáticos. Estas aseveraciones no probadas (experimentalmente) de Hobbes, se ven reforzadas con las siguientes palabras de Boyle: “si en algunos casos él ha probado (que si lo ha hecho bien o no, aquí no será examinado) que hay una substancia sutil, la cual él llama *Éter*,....en algunos lugares que yo no considero llenos de Aire; y que el *Éter* tenga o no tenga algunos Accidentes que niego o adscribo al Aire”; dice Boyle que él para comenzar no considera al aire un “Cuerpo Homogéneo” (Boyle, 3-1999: 124), como pretende adscribirse esa característica a la supuesta substancia sutil de Hobbes, pues es una mera especulación que, desde su punto de vista, no puede ser explicada con suficiencia y aceptabilidad por la vía su afirmación deductiva como primer principio.

Marcando su definitiva diferencia de procedimiento demostrativo frente a Hobbes, Boyle ofrece las que considera son *pruebas suficientes* para afirmar fácticamente la fuerza elástica y el peso del aire. De este modo, sus *conclusiones* a ese respecto son (Boyle, 3-1999: 124-125):

(a) *el aire tiene peso*: es resultado del Experimento de las vejigas que donde se prueba la existencia de la gravedad del aire cuando “encontramos una Vegija llena de aire cuidadosamente ponderada en un exacta Balanza, es manifiestamente más pesada cuando está llena de Aire, que cuando el Aire se deja salir”;

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

(b) las conclusiones sacadas del Experimento 36 con una *Eolopila*⁸ donde se afirma de otra manera que el aire tiene peso, "que una *Eolopila*, estando bien calentada, y tapando el agujerito dejado en la parte alta de la Pipa, cuando está caliente; en la abertura de ese agujero, cuando la *Eolopila* se estaba enfriando otra vez, el Aire externo entró precipitadamente con un ruido silbante en el Orificio antedicho, hizo que la *Eolopila* pesase mucho más que antes de que el Aire externo entrase, que ascendió, según cálculo, cerca de una milésima parte del Peso de una cantidad igual de Agua";

(c) en el resultado del experimento de Magdeburgo, el peso del aire fue establecido por sus autores "habiendo pesado antes el gran Contenedor que habían vaciado, y habiendo hecho lo mismo después de la extracción del Aire, encontraron que pesaba una Onza completa y $3/10$ "; y finalmente,

(d) el Experimento 36 donde con dos cuerpos distintos, pesados dentro del contenedor de la bomba de vacío resultó que: "habiendo pesado el Aire, y encerrados completamente los Cuerpos en nuestro Contenedor vaciado, donde dos Cuerpos de diferentes Naturalezas (uno, una Vejiga llena de aire, y el otro, una Burbuja de Vidrio) eran equiponderantes cada uno respecto a un Peso más sólido antes de que el Aire fuera extraído, que incluía una buena cantidad de Aire hizo que manifiestamente preponderara después de la extracción".

Ante estos fehacientes resultados experimentales que confirman al peso y a la elasticidad del aire como causas físicas de estos fenómenos neumáticos,

⁸ Instrumento neumático que muestra la fuerza con la cual el vapor generado por calor en una esfera sale precipitadamente de una estrecha abertura; es un instrumento muy parecido a la "máquina" de Herón de Alejandría (Boyle, 3-1999: 563) (ver Figura 1).

Hobbes en su afán de echar por tierra esos resultados señala –dice Boyle- que realmente “hay mezcladas con el *Éter* muchas Partículas acuosas y terrestres (y consecuentemente pesadas)” (Boyle, 3-1999: 128) para “probar” que “el aire pesa”; esto lo afirma para que no haya necesidad de recurrir a lo que él llama “*el sueño*” de la elasticidad del aire. La respuesta de Boyle es en términos parecidos a los arriba mencionados y que confirman el carácter empírico de la “deducción” experimental, pues dice que: “nosotros podemos probar la Fuerza Elástica del Aire mediante muchos de los *Fenómenos* de nuestra Máquina, los cuales hemos deducido de ella” (Boyle, 3-1999: 129). Para mostrar que no es necesario usar experimentos tan complicados para probar la fuerza elástica y el peso del aire, sino que esto puede hacerse con experimentos más sencillos, Boyle presenta dos: *el de la succión de los dedos en el tubo y su Experimento IV*, descritos a continuación:

El primero consiste en que hagamos el experimento torricelliano con un tubo de entre dos y medio y tres pies de largo, de tal modo que el mercurio contenido en él alcance su nivel acostumbrado para que después, con destreza, tapemos con uno de nuestros dedos el orificio del tubo para luego levantarlo lo más cerca de la superficie del mercurio restante sin dejar pasar el aire externo; y si luego levantamos el tubo tapado de ese modo al aire libre, sentiremos en la yema de nuestro dedo poca o ninguna gravitación o presión del peso de la columna de mercurio distinta del peso del tubo. Esto sucede debido a que, como dice Boyle, “la gravedad del Mercurio es equilibrada por la del Aire externo que empuja el Dedo contra él” (Boyle, 3-1999: 129).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Ahora, si invertimos el tubo, dejando entrar el aire por el orificio, y lo tapamos otra vez con nuestro dedo, dejando de nuevo que la columna de mercurio descansa sobre ese dedo, entonces sentiremos que nuestro dedo estará fuertemente presionado para ser empujado fuera. Esta nueva presión no proviene del mercurio, ni del peso del aire admitido, por lo cual "podemos racionalmente adscribirla sólo a la Fuerza Elástica del Aire encerrado, cuya fuerza será manifiesta tanto al Ojo como al Dedo, si el Tubo se destapa bajo la superficie del *Mercurio* restante" (*Idem*: 130). Ahora que si lo hacemos con un tubo más corto sin sellar, sólo tapando sus dos extremos de arriba y de abajo con nuestros dedos, al destapar el orificio de arriba sentiremos un nueva y fuerte presión en el otro dedo que tapa al orificio de abajo, producto de la gravitación del aire externo. Esto para Boyle es una evidencia "tanto de la Fuerza Elástica del Aire y la Gravedad de la *Atmósfera*" (*Ibidem*).

Por lo que respecta al *segundo*, el *Experimento IV*, éste se refiere a la hinchazón y encogimiento sufridos por una vejiga de cordero colgada dentro del contenedor de la bomba boyleana de vacío, que según sea extraído o inyectado el aire ambiente, su presión provoca que la vejiga se hinche o se encoja. Para poder observar este fenómeno, tomamos una vejiga de cordero perfectamente seca y muy flexible dejando en ella cerca de la mitad del aire que pueda contener, luego tomamos su cuello para atarlo fuertemente de modo que nada del aire encerrado en ella pudiese salir, incluso por presión directa. Después llevamos la vejiga al contenedor de la bomba, sellamos con *luten* (una mezcla de claras de huevo, argamasa u otra substancia, usada para sellar aberturas y juntas de los

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

recipientes químicos) la cubierta del contenedor, ponemos a funcionar la bomba, y luego de dos o tres extracciones del aire ambiente y para debilitarle su fuerza elástica, el aire encerrado en la vejiga comenzó a hincharla en la misma medida en que el aire del contenedor era extraído, provocando la expansión de la vejiga que parecía estar inflándose por una canilla. Boyle explica que esta expansión de la vejiga "proviene de la superación de la Fuerza Elástica del Aire ambiente que queda en el Recipiente, debilitada por la Fuerza Elástica más fuerte del Aire que queda en la Vejiga" (Boyle, 1-1999: 174). Después de hacer esto, abrimos poco a poco (por grados) la espita o llave de paso de la bomba para dejar entrar el aire exterior, sucediendo que cuando el aire entra, el aire distendido en la vejiga se comprimió proporcionalmente cada vez más hasta ocupar un espacio muy reducido, quedando las paredes de la vejiga flácidas, hasta que en el contenedor se admitió su acostumbrada cantidad de aire, la vejiga volvió a aparecer como antes.

La importancia de estos esfuerzos de Boyle por mostrar que, en el caso de la elasticidad del aire, ésta es una *propiedad intrínseca* suya, nos permite apreciar que su explicación apunta a una superación de la mera explicación mecánica cartesiana *por contacto necesario entre cuerpos*; para lo cual establece que existen fenómenos que no necesariamente dependen de nuestra intervención (o contacto) para otorgarles ciertas propiedades, como es el caso de la fuerza elástica. Boyle lo expresa en los siguientes términos: "nuestra Doctrina puede ser probada por Experimento, donde el Aire en su estado natural y acostumbrado opera sin ser forzadamente comprimido o puesto en movimiento por nosotros" (Boyle, 3-1999: 131).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En resumidas cuentas, las tesis utilizadas por Boyle en toda su réplica a Hobbes, pueden sintetizarse en los siguientes tres incisos:

- (a) Hobbes *no prueba* que no haya un vacío, pues tratar de probar con un solo experimento, es lo mismo que *probarlo* tanto a favor como en contra;
- (b) su explicación *no elimina* la necesidad de un vacío; y
- (c) “un Plenista sin haber recurrido a la precaria *zambullida* del Aire del Sr. Hobbs, puede más probablemente declinar la necesidad de admitir un *Vacío* al decir, de acuerdo con los Principios de los *Cartesianos* (los más sutiles y prudentes Defensores de un *Pleno* que he conocido), que el *Éter* está por el impulso del Chupón deprimido y la resistencia de los Cuerpos ambientes comprimidos en los poros del Vaso o Columna en la cavidad del recipiente, tan ligero como el espacio hecho para él” (Boyle, 3-1999: 138).

A pesar de todo esto, las afirmaciones hobbesianas para negar el vacío continúan. Finalmente, sólo se destacarán dos intentos antiexperimentalistas más de Hobbes: uno, referente al remolino de aire formado al vaciar agua en un recipiente de vidrio, y otro, referido al Experimento 31 de Boyle de los discos de mármol cohesionados.

Hobbes llama la atención acerca de que en un hecho tan común como el vaciado de agua se puede afirmar la actividad de la materia sutil: cuando al vaciar agua en un recipiente de vidrio, hay un movimiento circular de aire producido con seguridad por algún móvil contiguo y no por el agua, sino por sus átomos terrestres junto a la materia sutil. Para Boyle este torbellino o remolino de aire formado al escanciar el agua, llamado por Hobbes *fortissimus conatus circularis*, es algo

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

impensable en términos de una materia sutil y experimentalmente explicable, al decir que “no hay en nuestros Contenedores vaciados un tal movimiento peculiar del Aire como él le adscribe al *Fenómeno*; no, cuando hay manifiestamente un remolino alrededor del Aire en el Vaso por la admisión de Aire externo, la producción de numerosas burbujas en el agua efectivamente cesa” (Boyle, 3-1999: 146-147).

Ahora, insistiendo en reforzar sus aseveraciones, Hobbes echa mano de lo que sucede con los discos de mármol adheridos del Experimento 31 de Boyle ⁹, afirmando que la cohesión de ambos discos se debe no a la existencia de un vacío, sino a la existencia de una *finísima capa de partículas* que los mantienen adheridos. Esto es precisamente lo que Boyle le replica: que son meras especulaciones afirmar la existencia de esa capa finísima de partículas de materia sutil mientras no sea posible probarlo experimentalmente; por tanto, mientras Hobbes no aporte ninguna evidencia material sobre la existencia y el papel de esas partículas de materia sutil como la causa determinante en el fenómeno de cohesión, no se podrá establecer nada cierto al respecto. La respuesta precisa de Boyle es en un tono probabilista e inclusive aportando ciertos elementos cuantitativos de medición de lo que considera la causa de la adhesión de los discos de mármol, dice: “la causa puede ser probablemente la presión del Aire que

⁹ El *Experimento 31* consiste, a grandes rasgos, en unir dos piezas de mármol perfectamente pulidas, mediante el contacto directo de sus superficies, sin ningún líquido de por medio, quedando muy bien unidas, “pegadas”, entre ellas; después, así unidos, se suspendieron con una cuerda de la parte superior del contenedor de la bomba de vacío, colgándole un peso de cuatro onzas al mármol de abajo, procediendo a extraer el aire ambiente de su interior, se observó que no se separaron. La conclusión de Boyle fue: “Que el Aire presiona mucho más fuerte sobre las superficie inferior del Cuerpo de abajo, que sobre la superficie superior del mismo” (Boyle, 1-1999: 238-239. En la siguiente sección 7.3, con motivo de la crítica de More a Boyle, se da una descripción más detallada de este mismo experimento.

permanece en el Contenedor no suficientemente vaciado....[y] no es de ningún modo improbable que el Aire residual tuviera que ser capaz de sostener un peso de cuatro o cinco Onzas que penden en el Mármol inferior, puesto que el Aire libre era capaz de soportar entre 400 y 500 Onzas que penden del mismo” (Boyle, 3-1999: 156).

Hasta aquí hemos visto que la crítica de Hobbes a la experimentación boyleana adolece de una comprensión esencial de lo que significa la práctica experimental como otro modo de realizar la investigación natural. La explícita idea de Hobbes es que toda investigación filosófica tiene que seguir el camino de la deducción desde primeros principios para ser considerada como tal. Su renuencia a que los estudios experimentales de Boyle tengan el estatus y carácter de ser *auténticamente filosóficos*, y además, sus señalamientos críticos de que la bomba pueda tener dificultades técnicas en su construcción y manejo, son signos claros de que las tensiones metodológicas y epistémicas de la filosofía natural de mediados del siglo diecisiete, no pueden ser simplemente explicadas en los términos de una sola perspectiva histórico-filosófica, Boyle es una muestra de ello.

Y para probar eso, ahora expondremos la crítica enderezada por el jesuita inglés Franciscus Linus (1595-1675) contra Robert Boyle, controversia que tendrá como rasgo distintivo la respuesta de Boyle con la hipótesis por la que es mejor conocido por la posteridad y quien le ha dado en llamar “Ley de Boyle”, donde se establece una relación más precisa (cuantitativa) entre el peso, el volumen y la presión del aire frente a las especulaciones substancialistas de Linus.

7.2 Franciscus Linus versus Vacío Boyleano: la "Ley de Boyle" como Respuesta.

Si, como se ha descrito, la crítica hobbesiana a Boyle fue antiexperimentalista en un sentido principalmente metodológico y epistemológico, la réplica de Franciscus Linus fue una crítica más bien de carácter ontológico (aristotélico) que rechazaba, sobre todo, las bases *mecanicistas* de la explicación boyleana del vacío. Linus apoyaba por completo la tesis del *plenismo* afirmando que la naturaleza poseía un *horror al vacío*; de tal modo, era imposible que existiera el vacío en el espacio torricelliano dado que estaba lleno de aire común y corriente porque las partes más sutiles del éter penetran por los poros del vidrio del contenedor, además de afirmar que también está lleno de un cierto "*espíritu mercurial*", que impide la formación del vacío.

Con este tipo de afirmaciones, la ya señalada actitud antipolémica de Boyle ("tengo una natural Indisposición a la Contienda", Boyle, 3-1999: 116) aflora nuevamente cuando, al tener que ofrecer una respuesta a las críticas de Linus, Boyle advierte a sus conocidos que "(e)llos que saben cuán indispuerto soy a la Contenciosidad, se admirarán, presumo, de verme públicamente comprometido en dos Controversias a la vez" (Boyle, 1-1999: 9). Estas dos controversias a que se refiere Boyle son con Hobbes y con Linus, separadamente, pero relacionadas con el mismo asunto neumático.

Su involucramiento en estas controversias se debe, como lo señala abiertamente, a que fue "desafiado por una persona, que llevó al cabo desaprobando no una o dos de mis Conjeturas, sino tanto de todo el Cuerpo de mi Tratado como el que concierne a la Fuerza Elástica del Aire, la cual la mayoría de mis

Explicaciones supone. Y siendo esto hecho por un Hombre Culto, quien escribe muy confiabilmente de la bondad de sus *Hipótesis* y Argumentos, y su Libro estando poco después seguido por otro escrito por el Sr. *Hobbs*, un hombre de Nombre en el Mundo; parecería haber algún peligro de que una Oposición tan temprana pudiera oprimir la Doctrina que he propuesto, antes de que fuera bien entendida y debidamente ponderada” (*Ídem*: 9). Su intervención es, pues, para explicar su doctrina lo más claramente posible, así como despejar aquellas dudas que puedan surgir debido a una incomprensión de su proceder experimental. Por este motivo, considera Boyle que “dejar los Estudios Experimentales por los Controversiales era una vía inapropiada para el principal objetivo de mis Escritos” (*Ídem*: 12), o dicho de otro modo: una controversia filosófica sin un apoyo en la evidencia de los resultados experimentales es un camino que no conduce a ningún lado. Por eso, su insistencia con Hobbes para darse entender en términos experimentales. Cosa contraria sucederá con Linus, porque éste de entrada no descalifica a los experimentos, pues su discusión se centra en otro punto.

Este otro punto, lo constituye una explicación alternativa a la de Boyle, la cual Linus propuso en su *Tractatus de Corporum Inseparabilitate* (1661), donde estableció una “*hipótesis funicular*” para explicar los fenómenos que suceden en el barómetro de mercurio, la cual -según él aseveraba- podía ser demostrada *experimentalmente* (ver *Figura 13*). Su principal argumento se apoya en el experimento torricelliano, porque dice que cuando se tapa con uno de nuestros dedos el orificio superior del tubo que contiene mercurio, se siente cómo el dedo es “chupado” hacia el interior del tubo, lo cual -según Linus- contradice la afirmación

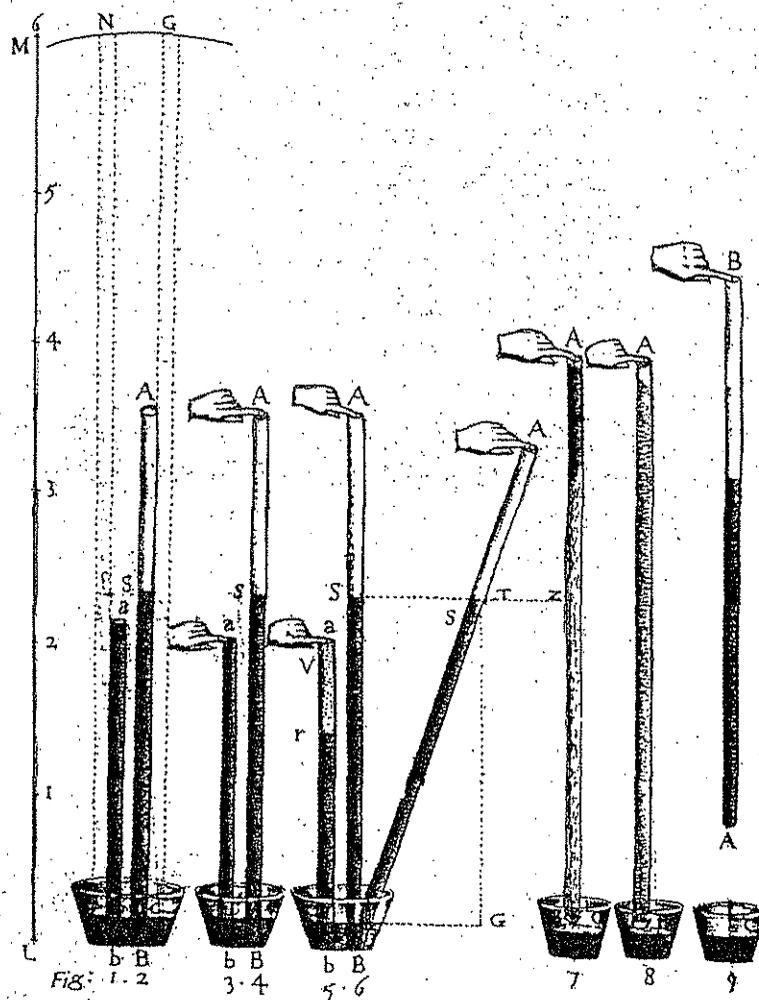


Figura 13. Experimento de Linus para mostrar evidencia acerca del *funiculus* en el tubo torricelliano.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

de Boyle de que la presión externa del aire empujaba efectivamente hacia arriba la columna de mercurio. En su explicación, Linus sostiene que esa fuerza que se siente en el dedo, no es externa, sino se debe a una especie de "hilo" que corre a lo largo de la columna de mercurio, y eso es lo que provoca dicha sensación.

Esta fuerza no era elástica y propia del mercurio, sino que Linus aducía que "había una substancia en el espacio torricelliano y que esta substancia realizaba el papel de mantener la columna de mercurio en posición. Era un cierto filamento (*funiculus*) cuya extremidad superior estaba pegada al dedo y cuya extremidad inferior estaba pegada a la superficie de mercurio" (Shapin/Shaffer, 1989:157). Linus sostenía que la característica principal del *funículo* o *filamento*, tal como lo entiende Boyle, es ser una "substancia extremadamente fina, proporcionada en tales casos por la Naturaleza, *para que no exista un vacío*, la cual estando excesivamente rarificada por una fuerte distensión se esfuerza perpetua y fuertemente para contraerse ella misma en dimensiones más acordes con la naturaleza del cuerpo distendido; y consecuentemente atraer violentamente todos los cuerpos en donde es contiguo, si ellos no son demasiado pesados para ser removidos por ella" (Boyle, 3-1999: 30)

En realidad, esta hipótesis de Linus no representaba -estrictamente hablando- una relevante alternativa que explicara la elasticidad del aire en los experimentos de Boyle, pues -por ejemplo- para explicar la fuerza de retracción en el émbolo de la bomba de vacío lo hacía con base en dos tesis: "(1) la retracción del émbolo rarificaba el aire en el contenedor, y (2) el aire más rarificado era la fuerza más poderosa de su contracción funicular" (Shapin/Schaffer, 1989: 159). De ese modo, esta visión de la fuerza contráctil del funículo le sirvió a Linus para dar

su interpretación del Experimento XVII de Boyle de la manera siguiente: después de colocar el barómetro torricelliano dentro del contenedor, se extrae el aire, y sucede que la columna de mercurio cae casi hasta el nivel del mercurio del recipiente inferior, lo cual -según él- no era provocado por la fuerza elástica del aire, puesto que “[e]l mercurio desciende en el tubo a causa de esa exhaución, puesto que lo hace bajar el aire que queda en el mercurio restante. Así, ese aire incumbente, estando muy rarificado y extendido por su exhaución, vehementemente se contrae él mismo y por esta contracción se esfuerza para elevarse del mercurio desde su vasija, así que (el mercurio restante ahora pesa menos en el fondo de su vasija) el mercurio en el tubo tiene que descender” (Shapin/Schaffer, 1989: 159).

En opinión de Linus, la falla experimental no se encuentra en la máquina boyleana, sino en el respaldo teórico sobre el cual se realiza esta experimentación. Esto significa que Linus no niega ni el peso ni la fuerza elástica de la atmósfera, sino lo que él discute —estrictamente— es el carácter limitado que la fuerza elástica del aire ofrecía en los experimentos. No negaba la gravedad, ni la elasticidad, sino que sólo cuestionaba su suficiencia explicativa y su naturaleza como fuerzas físicas.

¿Cuál fue la respuesta de Boyle frente a esta réplica de Linus? La respuesta la ofrece en un escrito cuyo título es *Defence of the Doctrine touching the Spring and Weight of the Air, Propos'd by Mr. R. Boyle in his New Physico-Mechanical Experiments; Against the Objections of Franciscus Linus* (1662) incluido en la edición de sus *New Experiments* de ese mismo año. Para comprender la respuesta de Boyle a Linus es necesario considerar dos cosas que señalan Shapin y Shaffer:

“Primero, Linus no buscaba negar el papel y el rol del experimento mismo, ni impugnar el estatus el conocimiento experimentalmente producido. Segundo, Linus nunca dudó de la integridad física de la bomba de vacío” (Shapin/Schaffer, 1989: 160). Así, Boyle rechazó la hipótesis funicular por dos razones que evocaban negativamente los requisitos que debía cubrir una hipótesis boyleana, según se analizó en el capítulo 3, a saber: por su ininteligibilidad, “como eran todos los recursos explicativos escolásticos”, y por ser innecesaria, “puesto que la fuerza elástica y el peso del aire eran todopoderosos” (Shapin/Schaffer, 1989:169). Pero como este asunto es más que sólo una controversia argumentativa, Boyle maneja todos sus argumentos vinculándolos estrechamente con los resultados arrojados por uno de sus experimentos, realizado con ese propósito, el cual confirma (o pretende de hacerlo) su hipótesis frente a la de Linus. Boyle afirma que la hipótesis funicular es una “hipótesis improbable” porque “es muy *difícil para ser entendida*; necesariamente supone una Rarefacción y una Condensación tales, que es, confieso, para mí, así como también para muchas otras personas, *ininteligible*” (Boyle, 3-1999: 41). En otro lugar la tacha de *innecesaria*, debido a que si Linus no cuestiona el funcionamiento de la bomba, ni niega peso y elasticidad al aire (aunque los considere insuficientes como fuerzas físicas), entonces –según Boyle– no hay ninguna necesidad de elaborar una hipótesis más complicada.

Precisamente, el cuestionamiento de Linus de que la fuerza elástica del aire no es suficiente para sostener la columna de mercurio del experimento torricelliano en 29 pulgadas, motiva a que Boyle exponga “*Dos nuevos experimentos tocantes a la medida de la Fuerza de la Elasticidad del Aire comprimido y dilatado*” con el

único fin de “salvar los Fenómenos del Experimento Torricelliano” (Boyle, 3-1999: 57) en el sentido de remediarlos y evitar dificultades y riesgos, y de esta manera, demostrar *-experimentalmente-* que la fuerza elástica del aire posee una capacidad mayor de la que solemos adscribirle. El resultado que obtendrá Boyle de este esfuerzo, será lo que él insiste congruentemente en llamar *hipótesis*, que posteriormente será más conocida como la “*Ley de Boyle*” y formará parte del legado que la ulterior química física asumirá como una de las más importantes aportaciones boyleanas a la ciencia.

Esta hipótesis de Boyle, en sus palabras, consiste en probar lo siguiente: “que el peso mayor es el que descansa en el Aire, el más fuerte es su esfuerzo de Dilatación, y consecuentemente su poder de resistencia, (como otras Fuerzas Elásticas son más fuertes cuando son vencidas por pesos más grandes)”. Esto significa que hay una relación proporcional directa entre la densidad o peso del aire y su fuerza elástica, puesto que: a mayor densidad, mayor elasticidad. Según esta hipótesis: “el Aire en ese grado de densidad y correspondiente medida de resistencia al cual el peso de la Atmósfera ambiente le había expuesto, era capaz de contrabalancear y resistir la presión de una Columna de Mercurio de cerca de 29 pulgadas, como nos enseñó el Experimento *Toricelliano*; por tanto aquí el mismo Aire al ser expuesto a un grado de densidad aproximadamente dos veces tan grande como el que tenía antes, obtiene una Fuerza elástica dos veces tan fuerte como antes” (Boyle, 3-1999: 58). Esto significa que la fuerza elástica tiene capacidad para sostener o resistir esa columna de mercurio junto con el peso de la columna atmosférica.

Para comprender más detalladamente lo que pretende explicar esta hipótesis, se expone a continuación el procedimiento experimental con un *sifón* (ver *Figura 14*) mediante el cual se llevó al cabo el experimento de Boyle para demostrarla:

Tomamos luego un largo tubo de vidrio, el cual por una mano diestra y la ayuda de una Lámpara fue de una manera tal doblado en la parte inferior, que la parte volteada hacia arriba era casi paralela al resto del Tubo, y el Orificio de este brazo más corto del Sifón (si puedo llamar así a todo el Instrumento) estando sellado Herméticamente, la longitud de ella fue dividida en Pulgadas, (cada una de las cuales fue subdividida en ocho partes) por una tira recta de papel, la cual contiene aquellas Divisiones fue cuidadosamente pegada a lo largo de él: luego vertiendo tanto Mercurio como sirva para llenar el Arco o parte doblada del Sifón, que el *Mercurio* quedándose en un nivel pudiera alcanzar en uno de los brazos hasta el fondo del papel dividido, justamente hasta la misma altura o línea Horizontal en el otro; tuvimos cuidado, por frecuentemente inclinar el Tubo, de que el Aire pudiese libremente pasar de un brazo al otro por los lados del *Mercurio*, (tuvimos (digo) cuidado) de que el Aire al final incluido en la Columna más corta debería ser de la misma laxitud que el resto del Aire encima de ella. Hecho esto, comenzamos a escanciar Mercurio en el brazo más largo del Sifón, el cual por su peso presionando hacia arriba en el brazo más corto, lo hizo por grados forzando al Aire incluido: y continuando este escanciamiento de Mercurio hasta que el Aire en el tubo más corto fuese por condensación reducido hasta ocupar sólo la mitad del espacio que poseía (digo, *poseía*, no *llenaba*) antes; dirijimos nuestra vista al tubo más largo del Tubo, en el cual estaba también pegada una tira de Papel cuidadosamente dividida en Pulgadas y partes, y observamos, no sin deleite y satisfacción, que el Mercurio en esa parte más larga del Tubo era 29 Pulgadas más alta que la otra (Boyle, 3-1999: 57).

El registro de las sucesivas observaciones realizadas en este experimento, Boyle las presenta en la *Tabla de la Condensación del Aire* (véase *Figura 15*) en donde el registro de datos de cada listado, se refiere a cada aspecto considerado dentro de esta práctica experimental y representan, en la explicación de Boyle:

“AA. El número de espacios iguales en el brazo más corto, que contenía la misma porción de Aire diversamente extendido.

B. La altura de la Columna de Mercurio en el brazo más largo, que comprimió el Aire en aquellas dimensiones.

C. La altura de una Columna de Mercurio que contrabalanceó la presión de la Atmósfera.

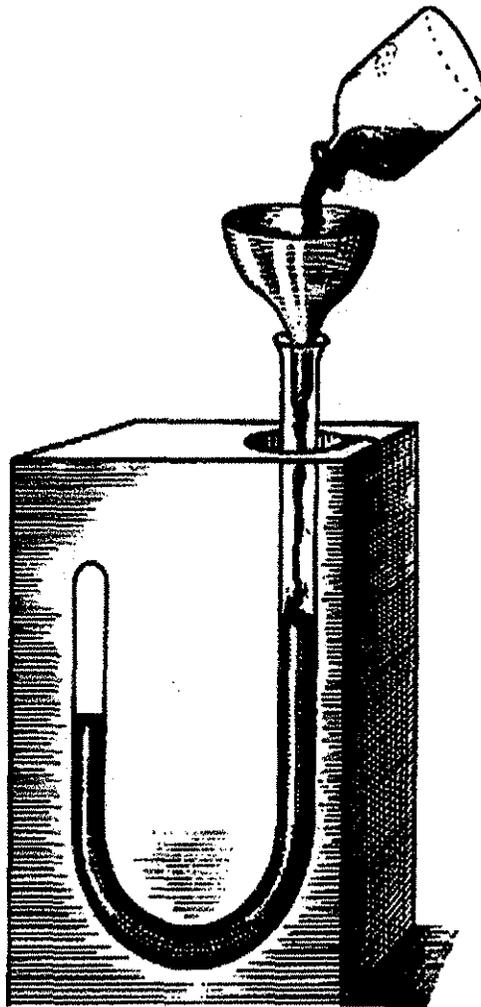


Figura 14. Experimento de Boyle usado en su réplica a Linus, del cual se derivó la famosa "ley de Boyle".

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabula Condensationis Aëris.

A	A	B	C	D	E
18	12	00		29	29
46	11	01 $\frac{7}{16}$		30 $\frac{5}{16}$	30 $\frac{6}{16}$
44	11	02 $\frac{13}{16}$		31 $\frac{11}{16}$	31 $\frac{12}{16}$
42	10	04 $\frac{27}{16}$		33 $\frac{23}{16}$	33 $\frac{11}{7}$
40	10	06 $\frac{33}{16}$		35 $\frac{29}{16}$	35
38	9	07 $\frac{39}{16}$		37	36 $\frac{15}{16}$
36	9	10 $\frac{45}{16}$		39 $\frac{41}{16}$	38 $\frac{27}{16}$
34	8	12 $\frac{45}{16}$		44 $\frac{10}{16}$	41 $\frac{12}{16}$
32	8	15 $\frac{51}{16}$		47 $\frac{16}{16}$	45 $\frac{16}{16}$
30	7	17 $\frac{51}{16}$		50 $\frac{18}{16}$	46 $\frac{22}{16}$
28	7	21 $\frac{57}{16}$		54 $\frac{24}{16}$	50 $\frac{18}{16}$
26	6	25 $\frac{63}{16}$		58 $\frac{30}{16}$	53 $\frac{24}{16}$
24	6	29 $\frac{69}{16}$		61 $\frac{36}{16}$	58 $\frac{30}{16}$
22	5	32 $\frac{75}{16}$		64 $\frac{42}{16}$	60 $\frac{36}{16}$
21	5	34 $\frac{81}{16}$		67 $\frac{48}{16}$	63 $\frac{42}{16}$
20	5	37 $\frac{87}{16}$		67 $\frac{54}{16}$	66 $\frac{48}{16}$
19	4	41 $\frac{93}{16}$		70 $\frac{60}{16}$	70
18	4	45 $\frac{99}{16}$		74 $\frac{66}{16}$	73 $\frac{66}{16}$
17	4	48 $\frac{105}{16}$		77 $\frac{72}{16}$	77 $\frac{72}{16}$
16	4	52 $\frac{111}{16}$		82 $\frac{78}{16}$	82 $\frac{78}{16}$
15	4	58 $\frac{117}{16}$		87 $\frac{84}{16}$	87 $\frac{84}{16}$
14	3	63 $\frac{123}{16}$		93 $\frac{90}{16}$	93 $\frac{90}{16}$
13	3	71 $\frac{129}{16}$		100 $\frac{96}{16}$	99 $\frac{96}{16}$
12	3	75 $\frac{135}{16}$		107 $\frac{102}{16}$	107 $\frac{102}{16}$
11	3	83 $\frac{141}{16}$		117 $\frac{108}{16}$	116 $\frac{108}{16}$

Additur ad 29, facti

AA. Numerus equalium spatiorum in breviori cruce, quod continebat eandem portionem Aëris diversimode extensi.

B. Altitudo Cylindri *Mercurialis* in longiori cruce, qui Aërem comprimebat in istas dimensiones.

C. Altitudo Cylindri *Mercurialis*, qui equi ponderabat pressionem *Atmosphære*.

D. Aggregatum duarum proximarum columnarum B & C, pressionem exhibens ab incluso Aëre sustentatum.

E. Quanta illa pressio esse debebat juxta *Hypothesin*, que supponit, Pressiones & expansiones in proportione esse reciprocas.

Ec 2 Ad

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Figura 15. Tabla de condensación del aire.

D. El Agregado de las dos últimas Columnas B y C, exhibiendo la presión sostenida por el Aire incluido.

E. La presión que debería ser acorde a la *Hipótesis*, que supone las presiones y expansiones que estarían en proporción recíproca" (Boyle, 3-1999: 59).

En su afán por que el experimento fuese comprendido y convencer a sus lectores de que la evidencia presentada en la Tabla probaba de manera suficiente y necesaria, para él, su hipótesis, Boyle hace una invitación al lector para que considere otros aspectos no registrados en la Tabla, pero que de todas maneras son relevantes dentro de ese experimento. Dichos aspectos están referidos a los problemas de instalación, operación y observación experimentales como los siguientes:

(a) la dificultad para maniobrar con un tubo muy largo que rebasaba la altura de una habitación y que fue necesario trasladarlo a un par de escaleras en el exterior y sostenerlo con cuerdas; así como asegurar la ubicación de la parte doblada del tubo para evitar accidentes, la cual fue colocada dentro de una caja de madera amplia y profunda con el fin de evitar la pérdida de mercurio y, en caso de romperse, el mercurio cayese dentro de la caja;

(b) la necesidad de que hubiese por lo menos dos personas para distribuirse los trabajos de observación y registro en la parte baja, y de vaciado del mercurio en la parte alta, pues una sola persona no podría haber hecho este trabajo;

(c) la habilidad para escanciar poco a poco el mercurio evitando al máximo la formación de burbujas de aire, y la observación de las diferentes alturas del mercurio utilizando incluso una lupa para hacer mediciones más precisas; y

(d) la aplicación de variaciones, para ver si se modificaba la altura estacionaria del mercurio, como el uso de un lienzo de agua fría y la flama de una vela.

Esta preocupación de Boyle forma parte del tipo de consideraciones que son asuntos ordinarios de la práctica experimental, como veremos en las partes finales de este capítulo. Tanto las dificultades técnicas como los ajustes en los procedimientos son características esenciales de la experimentación y una manifestación práctica de su propio carácter falibilista y probabilista.

En este sentido, con el fin de aportar mayor evidencia experimental para estructurar una explicación pneumática más cierta, la realización del "*Experimento de la fuerza debilitada del Aire expandido*" (Boyle, 3-1999: 63-64), se propone -de manera similar que el anterior- no dejar lugar a dudas respecto de la relación entre el peso y la elasticidad del aire, así como tomar en cuenta otras variaciones en su ejecución experimental. Dicho experimento consistía en emplear un tubo de vidrio de aproximadamente seis pies de largo y sellado en uno de sus extremos, más el uso de una delgada pipeta de vidrio como del tamaño de una pluma de cisne, abierta en ambos extremos y a la cual se le pegó una angosta tira de papel graduada en pulgadas y octavos. Esta pipeta delgada se introdujo en el tubo casi lleno con mercurio, éste al entrar por el orificio inferior de la pipeta, la llenó hasta que el mercurio en la pipeta alcanzó casi el mismo nivel que el mercurio circundante dentro del tubo. Cuando sobresalió poco más de una pulgada de la pipeta por encima del mercurio del tubo, el orificio superior de la pipeta fue sellado cuidadosamente con cera hasta registrar, de acuerdo con las medidas de la tira graduada de papel, una pulgada de aire en la pipeta. Luego la pipeta fue levantada gradualmente observándose que el aire se fue dilatando una pulgada, una pulgada

y media, dos pulgadas, y así sucesivamente, mientras que la columna de mercurio de la pipeta era empujada hacia el mercurio del tubo.

Después de estas observaciones, se realizó el experimento torricelliano con el tubo de seis pies de largo, resultando que para el día y hora en que se efectuó, la altura de la columna de mercurio fue de $29 \frac{3}{4}$ pulgadas. Con base en estas observaciones, Boyle elaboró la tabla (ver *Figura 16*) donde se registró la relación entre la fuerza elástica del aire y su peso, con lo que él pudo afirmar respecto a este fenómeno neumático que "en cuanto a su Fuerza Elástica y Peso, estos Experimentos no los cuestionan, sino los prueban" (Boyle, 3-1999: 64).

De esta narrativa experimental, se desprende que los resultados que arroja son para Boyle la prueba más contundente de que sus nociones de "condensación" y rarefacción" son las más adecuadas -hasta el momento- para dar cuenta de los fenómenos neumáticos que le interesan. Refuerzan, en grado sumo, la probabilidad de su hipótesis, así como su inteligibilidad para explicar las relaciones entre el peso y la elasticidad del aire. Con esto, podemos afirmar que la definición precisa de un fenómeno -en el ámbito de la experimentación- descansa sobre la prueba experimental que ofrece evidencia empírica suficiente y necesaria para corregir, corroborar o replantear nuestras definiciones del fenómeno. Así, tenemos que con Boyle, sus ideas respecto de los fenómenos de la condensación y de la rarefacción, se ven suficientemente corroboradas como para no dudar en comprender que "un cuerpo...está rarificado o dilatado...cuando adquiere dimensiones más grandes que el mismo cuerpo tenía previamente; y está condensado, cuando es reducido en menores dimensiones, esto es, en un espacio más pequeño del que él contenía anteriormente" (Boyle, 3-1999: 23).

Tabula de Rarefactione Aeris.

A	B	C	D	E	
1	60	Subtractione 429,4 remanet	29,3	29,3	A Numerus equalium spationum in summitate tubi, qui continebat eandem portionem Aeris.
2	30		19,3	19,3	B. Altitudo Cylindri <i>Mercurialis</i> , qui una cum inclisi Aeris Elatere aequiperabat pressioni <i>Atmospherae</i> .
3	20		9,3	9,3	C. Pressio <i>Atmospherae</i> .
4	15		7,3	7,3	D. Complementum B. ad C. exhibens pressionem ab incliso Aere sustentatam.
5	12		5,3	5,3	E. Quanta esse debebat alia pressio secundum <i>Hypothesin</i> .
6	10		4,3	4,3	
7	9		4,3	4,3	
8	8		3,3	3,3	
9	7		3,3	3,3	
10	6		2,3	2,3	
11	5		2,3	2,3	
12	4		1,3	1,3	
13	3		1,3	1,3	
14	2		1,3	1,3	
15	1		1,3	1,3	

Ad

Figura 16. Tabla de rarefacción del aire.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Por otra parte, Boyle está convencido de que la explicación de la condensación y rarefacción del aire, sólo acepta tres modos posibles:

(a) el de los *atomistas y vacuistas*, donde “los Corpúsculos de que consiste el cuerpo rarificado se apartan unos de otros, que ninguna otra substancia entra entre ellos para llenar los espacios vacíos que se dejan entre los Corpúsculos separados”;

(b) el de los *cartesianos*, quienes dicen que “estos nuevos Intervalos producidos entre las Partículas del cuerpo rarificado son sólo Poros dilatados, rellenos, de manera semejantes como los de la Esponja túmida están por el agua embebida, por alguna sutil substancia Etérea, que se insinúa ella misma entre las Partículas separadas”; y finalmente,

(3) el de *Aristóteles* y sus seguidores, para quienes “el cuerpo mismo no únicamente *obtiene* un espacio más grande en la Rarefacción, y uno menor en la Condensación, sino que adecuadamente ya sea dejando cualesquiera vacíos entre sus Corpúsculos componentes, o admitiendo cualquiera nueva o extraña substancia que sea” (Boyle, 3-1999: 42).

Por tanto, tenemos que con estas tres formas de explicación, no es necesario imaginar más hipótesis poco probables o fantasiosas para este fenómeno neumático, pues la evidencia empírica tan sólo de su propia hipótesis le es suficiente para tener una descripción lo bastante convincente del fenómeno estudiado. Por esta razón, en su defensa del Experimento XVII y contra la opinión de Linus, Boyle dice que es un ejemplo de cuál es la relación entre la fuerza elástica y la presión del aire, “que la suspensión de la Columna de Mercurio, y su altura, dependía de la mayor o menor presión del Aire”. Hace dos observaciones a

las impugnaciones de Linus respecto a este Experimento: una, "aunque el Mercurio estuviese encerrado exactamente encerrado en nuestro Contenedor después de la manera nuevamente declarada, con todo el Mercurio suspendido no descendería"; y dos, que Linus "recita nuestra Explicación del descenso y ascenso del Mercurio en el Tubo, por la debilitada y fortalecida Fuerza Elástica del Aire" (Boyle, 9-1999: 71-72).

De acuerdo con Shapin y Schaffer, la respuesta que Boyle brinda ante la crítica de Linus se estructura sobre cuatro elementos: "(1) un restablecimiento de las reglas del juego experimental, incluyendo la manera correcta de conducir disputas; (2) un restablecimiento de las condiciones de delimitación de la filosofía experimental, incluyendo las demarcaciones entre conocimiento natural y teología y entre cuestiones de hechos e hipótesis; (3) una defensa de sus interpretaciones mecánicas contra la hipótesis funicular de Linus; y (4) una defensa particular de la fuerza de la elasticidad del aire para describir los productos de la bomba de vacío y fenómenos neumáticos relacionados" (Shapin/Schaffer, 1989: 162-163). En su respuesta a Linus, Boyle concluye solamente con dos cosas: una, que "[l]os Argumentos por los cuales nuestro Autor [Linus] se esfuerza por probar su *Funiculus* son incompetentes para ese fin...[su premisa es] Que no haya vacío, es requisito para producir su Funiculo" (Boyle, 3-1999: 30-31); y otra, que "no era mi idea principal establecer teorías y principios, sino idear experimentos, y enriquecer la historia de la naturaleza con observaciones fielmente hechas y narradas" (Shapin/Schaffer, 1989: 166). Y Boyle firmemente apunta "yo no me aventuraré a determinar si sí o no la Teoría insinuada se sostendrá universal y precisamente, ya sea en la Condensación del Aire, o en la Rarefacción" (Boyle, 3-1999: 60).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Aun cuando Linus no cuestiona las operaciones experimentales de la bomba boyleana de vacío, ni niega la existencia del peso y de la fuerza elástica de la atmósfera, su cuestionamiento del respaldo teórico de la experimentación neumática y de la limitada y débil naturaleza de la fuerza elástica del aire en los experimentos, su explicación de la presión atmosférica mediante el funículo que succiona o empuja al dedo o a la columna de mercurio, representa para Boyle el manejo de una hipótesis tan innecesaria que no se precisa de otra más complicada porque es difícil de probar. Esta dificultad que presenta la hipótesis funicular se debe a que Linus intenta explicar un efecto neumático mediante una entidad ininteligible e invisible como lo es el funículo, el esfuerzo que Boyle realiza para eliminar semejante explicación parte de considerar que la presión y la elasticidad del aire son *causas fácticas* en los fenómenos neumáticos. En este sentido, Boyle explica que los fenómenos son *hechos observables*, producto de operaciones naturales, y que pueden demostrarse experimentalmente. Por esto, la llamada "ley de Boyle" constituye la respuesta integral de Boyle a la réplica de Linus porque fue la demostración experimental más consistente, hasta ese momento, de que los fenómenos neumáticos obedecen a la relación *efectivamente existente* entre el peso y la fuerza elástica del aire.

Y, en última instancia, esta respuesta boyleana ataca dos puntos básicos de Linus en esta controversia filosófica: uno, no hay tal horror al vacío de parte de la naturaleza; y dos, el peso y la fuerza elástica son hechos suficientes para explicar los fenómenos penumáticos conocidos sin necesidad de recurrir al *funículo* u otras entidades inventadas sin posibilidad de ser probadas empíricamente, como se verá a continuación en la polémica que sostiene con Henry More. Boyle está consciente

y seguro de lo siguiente: que su hipótesis sobre el vacío, el peso y la fuerza elástica del aire es inteligible y suficiente para resolver los problemas neumáticos en la filosofía natural, pues la de hipótesis funicular “parece ser en parte *precaria*, en parte *ininteligible*, y en parte *insuficiente*, y además *innecesaria*” (Boyle, 3-1999: 30).

7.3 La Crítica Metafísica de Henry More a Boyle.

Aunada a las críticas precedentes, Boyle tuvo que enfrentar una crítica más dirigida a la concepción teórica sobre la que se funda su explicación experimental, lo interesante es que provino de un integrante de la comunidad (*fellowship*) filosófico-natural de la Royal Society, y que, además, perteneció al círculo de los llamados *Platónicos de Cambridge*, su nombre: Henry More (1614-1687).

El tono de la polémica de More contra Boyle es diferente y está delineada de modo distinto de las de Hobbes y Linus, sobre todo, en torno a un asunto – considerado por Boyle- *metafísico y fundamental para las ideas filosófico-naturales* de More, a saber: la afirmación de la existencia de un *espíritu de la naturaleza o principium hylarchicum*. Esta noción se encuentra ya descrita por More desde 1659, año de publicación de su obra titulada *Immortality of Soul*, que no es sino la continuación de la argumentación ofrecida en su *Antidote against Atheism* de 1653 donde expone sus críticas más severas contra los mecanicistas hobbesianos, sectarios radicales y contra los entusiastas. Su objetivo central es contrarrestar las propuestas del ateísmo y del mecanicismo materialista, lo cual no implica –según él- descartar a la filosofía experimental como una manera confiable para estudiar a la naturaleza, sino más bien entender que “(l)a forma de persuasión usada en la

Universidad”, y dos, “trabajaban con Boyle en la recolección de testimonios espirituales confiables para usar contra los hobbesianos” (Shapin/Schaffer, 1989: 209).

Como lo indicamos, More tiene perfectamente claro que la filosofía experimental y su práctica son una opción en la indagación natural, pero que necesitan ser explicadas de acuerdo a ese “*espíritu de la naturaleza*” que él propone junto a “un sacerdocio proficiente en la filosofía experimental” (Shapin/Schaffer, 1989: 208), recuérdese esta imagen del filósofo natural como sacerdote del culto a la naturaleza muy propia de esa época. Con ello, la pretensión de More es hacerse entender con sus colegas en sus propios términos, es decir, “hablar con los Naturalistas en su propio Dialecto” (Shapin/Schaffer, 1989: 209), cosa que Hobbes, como se ha visto, no comprendía.

Boyle se queja de que More hace un uso inadecuado de sus experimentos, lo que es una de sus principales oposiciones a la visión naturalista de More. Será en la edición de 1662 de su *Antidote against Atheism* donde More haga ese uso inadecuado de los Experimentos II, XXXII y XXXIII de Boyle para apuntalar su argumentación en favor de una explicación de la presión del aire con base en su “*espíritu de la naturaleza*”. Hemos partido de que la característica básica de la crítica de More era ser ontológica, dado que argumenta desde tres consideraciones: su rechazo al materialismo hobbesiano, su creencia en una entidad metafísica (el *principio hilárquico*), y su reticencia a las explicaciones mecánicas, pues como el propio More afirmaba “(1) que la materia misma era pasiva, inerte y estúpida; (2) que su movimiento estaba guiado por ‘algún Ser Inmaterial que ejerce su Actividad directiva sobre la Materia del Mundo’; (3) que el

mecanicismo solo era un modo inadecuado de explicar los fenómenos de Boyle” (Shapin/Schaffer, 1989: 211). Sobre esta base, se fundará la réplica a las objeciones en esta controversia que expone Boyle en su *An Hydrostatical Discourse Occasioned by The Objections of the Learned Dr. Henry More, Against Some Explications of New Experiments made by Mr. Boyle* (1672), obra que centra su respuesta total contra las afirmaciones sostenidas por More en su citado *Enchiridium Metaphysicum*.

En la preparación de sus argumentos para defender su “substancia espiritual”, More describe primeramente la bomba boyleana de vacío y además, se refiere al ya también citado Experimento 33 de Boyle sobre la fuerza elástica del aire, respecto al cual señala que no puede haber tal vacío, pues “la causa Corpórea, si hay alguna, del ascenso del Chupón, debe estar, ya sea en el Chupón mismo, o en la cavidad casi vaciada de la Columna, o finalmente en el Aire externo” (Boyle, 7-1999: 147), pero por ningún motivo hay ausencia de cuerpo, ni – como dice Boyle- un “no-cuerpo”.

Para Boyle, la crítica de More puede reducirse a las siguientes cuatro objeciones:

(a) La *primera objeción* de More contra la explicación mecánica boyleana la expresa en los siguientes términos: “si esta solución fuera realmente mecánica, ¿qué causa mecánica, ruego, puede asignarse a la gravitación de las partículas individuales, y de toda la atmósfera, en su lugar? Por lo que toca a la materia sutil, etc.” (Boyle, 7-1999: 148). La respuesta de Boyle es la siguiente: “Respondo, que no intenté en ese Libro escribir un Sistema completo, o siquiera los Elementos de

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Filosofía Natural; sino que habiendo probado suficientemente, que el Aire, en que vivimos, no está privado de peso, y está dotado de un Poder Elástico o elasticidad, me esforcé por aquellos dos Principios para explicar los *Fenómenos* exhibidos en nuestra Máquina, y particularmente ahora bajo debate, sin recurrir a un *Fuga Vacui*, o al *Anima Mundi*, o cualquier Principio no físico semejante" (Boyle, 7-1999: 148). Esta respuesta es un ejemplo de la reiterada insistencia de Boyle mostrada en sus réplicas a Hobbes y a Linus: la naturaleza no tiene horror al vacío, ni tampoco hay una substancia sutil que anime a la naturaleza.

(b) La *segunda objeción* de More es, como lo indica Boyle, "una resuelta Negación, de que no hay una Gravitación tal, como pretendo, de Cuerpos, o sus Partículas, en sus propios lugares" (Boyle, 7-1999: 149), y

(c) la *tercera objeción* consiste en lo siguiente: "Fuerza elástica aparte, las partículas atmosféricas tienden hacia abajo. Hay, por tanto, alguna presión descendente junto y además de la fuerza elástica. La misma no es pues ascendente: aquí está sólo la elasticidad. Y en presión transversa y oblicua, la proporción es casi igual" (Boyle, 7-1999: 149). En estas objeciones, More habla de dos cosas: una, la imposibilidad de una gravitación "especial" para el aire fuera de la atmósfera, esto es, dentro del tubo en la columna mercurial; y dos, si hay alguna presión, ésta debe ser sólo atmosférica, es decir, las partículas atmosféricas son las que producen la tal presión pero únicamente es descendente. La contestación de Boyle se da en términos de señalar que los cuerpos poseen cualidades propias, que les permiten actuar de modos acordes a ellas, como es notable en su respuesta a ambas objeciones cuando dice: "Presumo, que él [More] no consideró

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

suficientemente nuestra Hipótesis y la naturaleza de la presión de los Cuerpos Fluidos que tienen peso: Así, el Agua, a la cual ninguna Elasticidad está adscrita, como lo está al Aire, pero la cual actúa por su propio peso y fluidez, es capaz sobre la marca de esas Cualidades de sostener grandes Barcos, que la Marea baja frecuentemente deja en la costa”(Boyle, 7-1999: 149).

(4) Finalmente, la *cuarta objeción* de More se presenta así: “Es, además, difícil entender por qué, si el peso de un cilindro atmosférico de igual diámetro que el tapón se deriva de su presión reflejada en la parte inferior del tapón, otras cinco columnas de aire que rodean al tapón no pueden actuar a la vez de la misma manera en su lado inferior, por lo que la fuerza ascendente en el tapón es seis veces tan grande como hasta ahora se pensaba por aquellos que favorecen esta teoría. Si este fuera el caso, entonces si pudiese por algún artifice efectuarse que la acción de una sola columna fuese permitida sobre el tapón, las otras cinco excluidas, y el tapón regresase arriba con igual facilidad, sería un signo claro de que inclusive una columna atmosférica no actúa sobre la parte inferior del tapón, y que toda la teoría es una ficción elaborada” (Boyle, 7-1999: 149). En esta objeción se exhibe la falta de comprensión de More respecto a lo que en los hechos significa la presión atmosférica, pues More sólo atina a imaginar como mero filósofo que deduce, algo que sólo es ideado por él, pero que no se compromete a refutar o probar experimentalmente. Por esto, la respuesta de Boyle a esta cuarta objeción la hace a nombre de los hidrostáticos: “no puede haber más de un fluido que presiona directamente hacia arriba contra el Orificio Cilíndrico de un Cuerpo inmerso en ese fluido, que una Columna de ese fluido del mismo diámetro que el Orificio (las presiones laterales resistiendo contra las partes laterales del Cilindro).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Y por tanto si tú inviertes, por ejemplo, una Pipa abierta en ambos extremos, y llena hasta cierta altura con Aceite, en agua común; el Aceite que se sostiene por la presión ascendente del agua, se quedará a la misma altura en tanto se percibe proporcionado, si el Recipiente que contiene el Agua es amplio o estrecho, será algo más grande que el Orificio de la Pipa...añadiré, que no necesita pensarse como increíble que la Atmósfera por su peso, o la Fuerza Elástica del Aire comprimido por ese peso, debería ser capaz de levantar ochenta o cien libras colgando del Chupón” (Boyle, 7-1999: 149-150). De tal modo, que esto le permite sostener con suficiencia a Boyle que “el Peso y la Presión de la Atmósfera, no es una mera *Hipótesis*, sino una verdad probada por diversos Experimentos, por los cuales incluso Opositores profesos de ella han públicamente reconocido ellos mismos estar convencidos” (Boyle, 7-1999: 151).

Con todo y esto, More insiste en proporcionar pruebas con experimentos ya conocidos y realizados por otros (tal vez él no los realizó) como los de Torricelli y Pascal, a los cuales apela para formular sus argumentos. Ahora More aduce que el *Experimento con los discos de mármol* (Experimento XXXI de Boyle) es explicable mediante la capa o lecho de partículas aéreas o atmosféricas que son las que hacen posible la cohesión de ambos discos (incluso con la variante de colocar un peso colgando del inferior), lo cual indica fehacientemente que un vacío es imposible: “Que habiendo tomado dos Mármoles redondos, cuyas superficies, estuviesen contiguas, así como también estuviesen tan planos como cuidadosamente pulidos; y habiéndolos colocado uno directamente sobre el otro, cohesionados en una postura horizontal muy firmemente, sin la ayuda de ningún Pegamento, o Cuerpo viscoso, que el Mármol superior siendo halado hacia arriba,

levantaría al inferior, aun suspendido con un peso de ochenta y tantas libras” (Boyle, 7-1999: 153).

Boyle explica que la cohesión en ambos discos con peso o sin peso colgante del disco inferior se debe a “la acción de la Atmósfera, la cual presionando igual y fuertemente contra las superficies de ambos Mármoles, excepto donde eran contiguos, el superior no podía despegarse directamente hacia arriba del inferior (y consecuentemente tiene que estar sostenido por él) por una menor fuerza que la que era equivalente al peso tan grande de una Columna de la Atmósfera como apoyada en el Mármol superior” (Boyle, 7-1999: 153).

Boyle critica una *variación* que More propone para favorecer su hipótesis antivacuista, y consiste en substituir uno de los discos de mármol, el inferior, poner uno de madera, para desafiar el resultado experimental acerca de la presión del aire. More cree que esto será suficiente para refutar ese resultado boyleano porque, según él, ello muestra que no hay un vacío completo, sino que hay un aire mínimo atrapado entre los discos que no permitiría el vacío total, pues “este Aire intermedio no podría conservar la presión de la Atmósfera soportando el disco de madera no suspendido, si hubiese estado Esa presión, la cual, cuando no hubiera tal Aire intermedio, hubiese sostenido el Mármol inferior con todo el peso añadido” (Boyle, 7-1999: 154). Es preciso mencionar aquí, que una de las “reglas” experimentales se refiere a la validez de las variaciones experimentales, sean en el procedimiento, o sean en los materiales. El propio experimento muestra cuáles son los límites en las variaciones de la práctica experimental, de acuerdo a su similitud y cercanía en diseño. Razón por la cual cuando Boyle atiende a esta susodicha variación experimental de More, considera que no es un “ejemplo suficientemente

cercano de parecido a nuestro caso” (154), de tal forma que Boyle aporta experimentalmente -en sus palabras- lo que su propia práctica supone y arroja:

que algunas partículas aéreas al estar colocadas de modo que un Cuerpo sólido les impida retraerse o expandirse, consideramos, que, como los corpúsculos contiguos de aire presionan contra ellas no sólo por su peso y presión propios, sino como transmiten la acción de todas las otras partículas del aire que por su peso o presión empujan sobre ellas; así las partículas aéreas, contiguas al Cuerpo sólido, simplemente no resisten por esa fuerza que ellas tendrían si estuvieran comprimidas, sino por virtud de la Elasticidad que adquieren con motivo de la fuerte inflexión que sostienen de la acción de los corpúsculos, que ya sea mediata o inmediatamente presionan contra ellas; y consecuentemente, en proporción a esa fuerza externa, la Elasticidad de estas Partículas comprimidas se incrementará, como vemos en un Arco u otro cuerpo Elástico, cuanto más se tensa por una fuerza externa, más grande es el poder que tiene para resistir una ulterior compresión. Sobre dichas bases no es de extrañar, que una pequeña porción de Aire, al estar casi encerrada en un Cuerpo sólido, habiendo estado expuesta por algún (aunque fuera muy poco) tiempo al aire externo, tendría que ser capaz de resistir la presión tanto de toda la Atmósfera, en tanto pueda llegar a presionar contra ella. Así, esta presión de la Atmósfera continuaría, si la Fuerza Elástica de las partículas aéreas no fuese ahora suficientemente grande para resistir esa presión, ellas tendrían necesariamente que haber estado de antemano dobladas o comprimidas por ella, hasta que los esfuerzos de una y otra estuviesen reducidos a una Equipolencia. De ésta te daré un ejemplo en un cuerpo tan obvio como una Burbuja en la parte superior del agua: Pues aunque haya sólo un poco de Aire encerrado en una película muy fina y transparente de agua; incluso este poco aire está tan bien capacitado para resistir el peso de toda la Armósfera que puede llegar a oponerse fuertemente a ella, que toda su presión no es capaz de encoger o arrugar a la película; lo cual sucedería, si los corpúsculos del Aire interno no estuviesen sometidos a una Elasticidad, que produce su poder de resistencia igual al esfuerzo de la Atmósfera Externa al comprimirla. Y para que veas, que bien podemos concebir una semejante Elasticidad del aire encerrada en las Burbujas, he relacionado en otra parte, cómo al simplemente quitar la presión del aire ambiente de las Burbujas de Vidrio herméticamente selladas con aire en ellas no comprimido más allá de su estado ordinario, la Fuerza Elástica del aire Interno haría volar las Burbujas en pedazos: Y esto le sucederá a Vidrios más fuertes que las Burbujas (Boyle, 7-1999: 154-155).

Con esta detallada descripción de su ensayo, Boyle pretende ofrecer elementos experimentales suficientes para cuestionar la afirmación de More: “he discurrido suponiendo, de que el Doctor [More] *experimentalmente* conoce, lo que ha ofrecido concerniente a la No-adhesión de un Disco de madera exactamente liso a un Mármol: Y en su concesión, de que,....hay un lecho de Corpúsculos Aéreos interpuesto entre ellos”. Y como una manera de cerrar su discusión con More,

recupera el argumento contra la tesis de Linus para ratificarlo: "yo experimentalmente mostré que el Mármol inferior sin la acostumbrada Carga, con el simple retiro del aire sustentante, caería del superior. Y en tanto que los dos Mármoles en nuestro Vacío no se cohesionasen; tan pronto como al Aire otroramente excluido se permitió entrar en ellos, por su presión sobreviniente hizo que se adhirieran juntos muy fuertemente" (Boyle, 7-1999: 157).

En lo que sigue Boyle resume definitivamente su posición y respuesta a More, al parecer a Henry Oldenburg, secretario de la *Royal Society*:

todo lo que me he esforzado hacer en la Explicación de qué sucede entre los Cuerpos Inanimados, es mostrar, que, suponiendo que el Mundo haya sido al principio hecho y continuamente preservado por el Poder y Sabiduría de Dios; y suponiendo su concurso General para el mantenimiento de las Leyes que ha establecido en él, los Fenómenos, procuro explicar, pueden ser resueltos Mecánicamente, esto es, por las afecciones *Mecánicas de la Materia, sin recurrir al horror de un Vacío de la Naturaleza, a Formas Substanciales, o a otras Creaturas Incorpóreas*. Y por lo tanto, si he mostrado, que los *Fenómenos*, que me he esforzado por explicar, son explicables por el movimiento, tamaño, gravedad, forma y otras afecciones mecánicas de las pequeñas partes de los líquidos, he logrado lo que pretendía; lo cual no era probar, que ningún Ángel, u otra Creatura inmaterial podía interponerse en estos casos; En lo concerniente a tales Agentes, todo lo que necesito decir, es, que en los casos propuestos no tenemos necesidad de recurrir a ellos. Y esto, estando acorde con la regla generalmente reconocida sobre la *Hipótesis*, que las *Entidades no tienen que multiplicarse sin Necesidad*, ha sido por casi todos los modernos Filósofos de diferentes Sectas considerada una razón suficiente para rechazar la agencia de Inteligencias, después de *Aristóteles* y muchos hombres Doctos, tanto Matemáticos como otros, los habían por muchas épocas creído los Motores de los Orbes Celestiales (Boyle, 7-1999: 159).

Como puede notarse en esta cita, Boyle resume no sólo su réplica a More, sino que hace un recuento en su argumentación de los aspectos básicos de su concepción, esto es, cómo esta explicación mecánica del vacío parte del supuesto de *entender a los fenómenos naturales como resultados de afecciones mecánicas en la materia y sujetos a las leyes de la naturaleza con la intervención directa de Dios, y sin tener que recurrir a entidades metafísicas inmateriales*.

Por otra parte, y finalmente, el esfuerzo argumentativo, probatorio y explicativo que supuso para Boyle la elaboración cuidadosa de sus respuestas a cada uno de estos filósofos naturales, reveló una buena parte de la naturaleza de la experimentación, específicamente, aquella relacionada con los problemas de construcción de los dispositivos experimentales, su manejo, el riesgo calculado supuesto en la conveniencia e inconveniencia del uso de ciertos materiales, el espacio donde se lleva a cabo la práctica, aspectos todos que no pueden entenderse y explotarse sino únicamente en el ámbito propio de la práctica experimental.

7.4 Dificultades Técnicas y Ajustes Metodológicos en la Experimentación Pneumática de Boyle.

Hemos establecido que las respuestas de Boyle a sus críticos lo orillaron a que mostrara la solidez técnica y la naturaleza dinámica de su práctica experimental, así como explicar el carácter falibilista y probabilista de la certeza de sus resultados. Efectivamente, como lo hemos venido exponiendo, Boyle aceptó que los experimentos están sujetos a circunstancias que los pueden llevar al fracaso, desde los señalados problemas técnicos y de materiales en el diseño de los instrumentos experimentales hasta la falta de habilidad técnica en su manejo por el experimentador. Las fallas e inexactitudes en los experimentos son la muestra práctica del falibilismo que caracteriza a su programa experimental, el cual exige a la práctica experimental el refinamiento y mejoramiento del experimento como una práctica aproximativa hacia un conocimiento más cierto y completo de los fenómenos.

Boyle acepta, por ejemplo, que la bomba de vacío tenga filtraciones, acepta que si bien no hay un vacío total, sí hay un vacío con el que puede realizar sus experimentos y demostraciones neumáticas; pero lo que no puede aceptar -concretamente, de Hobbes- es que, alguien sin ser experimentador y sin conocer, ni mucho menos asumir las reglas de la experimentación, se atreva a realizar una crítica tan severa (que se torna ciega y dogmática) de un procedimiento que sólo conoce teórica e indirectamente. Boyle considera que, en última instancia, el problema de Hobbes respecto al vacío es "más bien una cuestión metafísica, que una cuestión física (*physiological*)" (Boas, 1965: 357).

Por estas razones, Boyle no cree que todos los estudiosos de la filosofía natural, ni aún todos los practicantes del experimento, estén en posesión de esa habilidad para manejar la técnica experimental y realizar auténticos descubrimientos, dado que sólo "hay muy pocos hombres, si alguno en todo caso, en el mundo, que están enriquecidos con un suficiente acopio de experimentos y observaciones para probar clara y sólidamente, no digo todos los fenómenos de la naturaleza, sino todos aquellos que pertenecen a la química, la anatomía o cualquier tal considerable doctrina subordinada de la fisiología" (Boas, 1965: 121).

Para Boyle no hay problema si la bomba de vacío presenta filtraciones, esto no representa mayor obstáculo para eliminar la evidencia experimental de sus descubrimientos; más bien, él está obligado a rediseñar —perfeccionándola— la máquina neumática tal como lo hizo.

Finalmente, es cierto que frente a una posición deductivista de verdades completas y fijas, la posición falibilista y probabilista de la filosofía natural experimental boyleana puede tener cierta resonancia a *escepticismo*; sin embargo,

Boyle no propone -ni mucho menos está en su proyecto- una visión escéptica respecto al conocimiento de la naturaleza. Más bien reconoceremos, con Van Leeuwen, que la experimentación neumática de Boyle se asienta sólidamente sobre un *escepticismo constructivo*, esto es, “un reconocimiento de que la estructura real de la naturaleza es incognoscible y un proporcionamiento juicioso de asentimiento para la evidencia” (Van Leeuwen: 1970: 105). Como decía Seth Ward en 1654: “cuando los procesos de la naturaleza se sigan hasta sus causas estáticas (y mecánicas) se dejará de emplear la inducción para ser sustituida por el silogismo...mientras tanto, nos conformaremos con desear que el hombre sea paciente y no abandone la inducción antes de lo debido” (Crombie y Hoskin, 1979: 98).

Conclusiones

A lo largo de este trabajo he presentado cómo la experimentación neumática boyleana llegó a constituirse en un procedimiento experimental ejemplar, pretendidamente demostrativo y auténtico para la investigación filosófico-natural. Su constitución como procedimiento experimental resultó de la integración efectiva –que intentó probar Boyle en sus estudios naturales– entre una explicación mecánico-corpúscular de los fenómenos neumáticos y su demostración experimental por medio del diseño, invención, uso y operación de instrumentos y aparatos, considerados como dispositivos epistemológicos con los que se buscaba obtener la evidencia empírica que sustentara las hipótesis que explicaban mecánicamente los fenómenos del aire y del vacío, y, de ese modo, incrementar su grado de certeza. Concretamente, la experimentación neumática de Boyle se caracteriza por la relación entre una hipótesis y una cierta clase de evidencia experimental, producto de la ejecución y desarrollo de un procedimiento experimental, el cual está constituido por los experimentos, las técnicas y los instrumentos dispuestos para demostrar, probar y reproducir los fenómenos naturales y, así, obtener la evidencia suficiente para hacerlos inteligibles.

Precisamente, el objetivo último de la experimentación neumática boyleana es hacer inteligibles la estructura y el funcionamiento mecánico-causal de los fenómenos del aire y del vacío. Para lograrlo, necesita de un dispositivo experimental suficientemente confiable que le permita desarrollar un procedimiento experimental cuyos ensayos, pruebas y demostraciones aporten la evidencia adecuada para sus explicaciones físicas. La confiabilidad epistémica de la

experimentación y su instrumentación son dos elementos que generan controversias experimentales cuando se busca proponer un procedimiento seguro para la obtención de un conocimiento cierto de la naturaleza. Una controversia experimental conduce a un cuestionamiento de la validez del experimento como técnica demostrativa (de prueba) y como generador de conocimiento, así como de las capacidades epistémicas de los instrumentos empleados en la experimentación y del propio experimentador.

Es en esa pretensión de constituirse en un procedimiento de investigación y de demostración físico-experimental epistemológicamente aceptable, que la experimentación de Boyle enfrenta distintas *dificultades epistémicas, ontológicas y técnico-operativas* que definen sus límites, posibilidades y alcances epistémicos en su propósito de lograr una genuina explicación natural. Problemas como la relación entre una hipótesis y su evidencia, la validez epistémica del procedimiento experimental, el papel y confiabilidad de los instrumentos utilizados en la experimentación, la capacidad de reproducción experimental de los fenómenos naturales por parte del experimentador y sus aparatos, los criterios que utiliza el experimentador para saber si un fenómeno efectivamente fue reproducido en el laboratorio o si fue sólo un efecto generado por la operación y funcionamiento del aparato, las mediciones e interpretaciones de los datos como posibles "malas lecturas" de un fenómeno, entre otros, son ejemplos del tipo de dificultades que le dieron forma -pioneramente desde el siglo diecisiete- a la estructura fundamental de las diversas prácticas experimentales de la ciencia moderna. Estas dificultades nos revelan el carácter complejo que la experimentación encara como procedimiento estratégico que pretende dotar de evidencia aceptable para las

pruebas, la explicación o el descubrimiento de un nuevo fenómeno, o de aspectos nuevos de un fenómeno ya conocido.

La complejidad de la experimentación y el desarrollo de *estrategias epistemológicas*¹⁰ son dos características básicas de la experimentación pneumática boyleana; es un procedimiento que plantea claramente, tal como lo vimos, una peculiar estrategia epistemológica que pretende justificar sus resultados experimentales en el marco de una concepción mecánico-corpúscular que, como hipótesis, su validez y certeza se verían reforzadas y comprobadas por esos resultados. Boyle propone su hipótesis o teoría mecánico-corpúscular porque considera que la aristotélica no es adecuada y limita los alcances del estudio de la naturaleza, como se analizó en el capítulo 3, y fue en la visión mecánica del mundo donde encuentra la imagen natural que le permite hacer semejanzas con el funcionamiento del reloj y así ampliar sus enfoques sobre los fenómenos físicos, especialmente los pneumáticos; y será también que su práctica experimental se funde análogamente en el proceder de los artesanos que manipulan y producen nuevas formas con los materiales que la naturaleza les ofrece.

La introducción de aparatos e instrumentos en las prácticas experimentales del siglo diecisiete dio lugar al desarrollo y mejoramiento de las técnicas básicas de investigación natural que emplearon las prácticas científicas de épocas posteriores. Esta instrumentación experimental determinó de modo decisivo lo que es hasta nuestros días *realizar un experimento*, por un lado, reproducir miméticamente un

¹⁰ Estas estrategias son definidas como "argumentos diseñados para establecer o para ayudar a establecer, la validez de un resultado u observación experimental [donde] [é]stos pueden ser verbales, pero pueden también incluir trabajo experimental adicional" (Franklin, 1993: 438).

fenómeno natural y sus condiciones físicas en o con un dispositivo instrumental, y por otro, que un hecho experimental es susceptible de ser replicado por otros experimentadores de igual manera en sus propios laboratorios. La práctica experimental supone capacidad para reproducir instrumentalmente un fenómeno natural, y para ser replicado por otros experimentadores a través de un informe o una narrativa experimental que describa y registre fielmente los hechos sucedidos en el laboratorio con los instrumentos y aparatos.

Las características básicas y distintivas de *la experimentación como estrategia epistemológica de investigación natural* en los términos mencionados anteriormente, están definidas por el uso de instrumentos interactivos como el sifón, la bomba de agua y la bomba de vacío (por mencionar algunos) pretendidamente capaces de reproducir y controlar las condiciones de los hechos naturales¹¹. Esto puntualiza que la experimentación no es una práctica de investigación que se reduzca a la sola descripción pasiva de un fenómeno, pues la observación experimental precisa de los efectos producidos por el aparato experimental operado técnicamente por el experimentador para dar cuenta de las condiciones mostradas por un fenómeno en el laboratorio.

El necesario uso de instrumentos activos en una estrategia experimental presenta un desafío para el experimentador y sus aparatos, que consiste en saber si se encuentra ante la presencia de un fenómeno natural efectivamente

¹¹ La distinción hecha por W.D. Hackmann entre instrumentos *pasivos* (observacionales, como el telescopio, donde no puede haber una modificación práctica de un fenómeno) y *activos* (interactivos con los fenómenos, como la bomba de vacío, donde el funcionamiento del aparato permite manipular y modificar el fenómeno estudiado) utilizados en la investigación científica (Hackmann, 1993: 42), permite considerar a la bomba boyleana como uno de los instrumentos científicos más interactivos de su época, debido a su naturaleza plenamente experimental.

reproducido en y por el aparato, o si se está frente a un hecho ficticio, producto de las expectativas de su hipótesis y observación. Es, precisamente, la experimentación neumática boyleana la que enfrenta y se propone superar este problema epistemológico clave de la experimentación, a saber: ¿por qué creer o confiar en los resultados experimentales, si nada garantiza que estos resultados sean auténticos y reales o que sean sólo producto de las condiciones operativas y de manejo de un dispositivo experimental?

El esfuerzo que emprende Boyle para encarar esta cuestión se dirige en primer lugar a determinar que los tipos de experimento y el diseño de los dispositivos experimentales dependen de la clase de fenómeno que se estudie y de las posibilidades que presente para lograr su fiel reproducción experimental. Esto implica que no puede existir un solo tipo o modelo general de práctica experimental que abarque en su ámbito de estudio a todos los fenómenos de la naturaleza; aún en el caso de Boyle, su aspiración sí es llegar a establecer su práctica experimental como posible modelo de experimentación para *toda* la investigación natural, pero los fenómenos biológicos (como la reproducción) le mostraron los límites de ese pretendido modelo universal de demostración experimental.

Para poder considerarse un modelo viable de investigación física, la experimentación neumática de Boyle necesita dar respuesta a una cuestión filosófico-natural central, a saber: explicar los fenómenos neumáticos desde el conocimiento de las propiedades físicas del aire como sus causas efectivas y reales. En su respuesta enfrenta una serie de dificultades epistémicas, ontológicas y técnico-operativas vinculadas con las características propias de la experimentación como son: el tipo de conocimiento que puede generar un

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

experimento y su validez como tal, la validez de las observaciones y pruebas experimentales depende de su contrastación empírica y la posibilidad de un fenómeno para ser reproducido, la experimentación revela al experimentador sólo una imagen aproximada de cómo es el funcionamiento de los fenómenos naturales, las técnicas experimentales plantean un procedimiento inductivo que sólo aspira a una certeza probable y no a una verdad completa, y la comprensión de una cierta regularidad o recurrencia en los fenómenos motiva el desarrollo de la instrumentación experimental en la investigación natural.

Precisamente en torno a esto, la experimentación neumática de Boyle buscando ser una práctica experimental que proporcione soporte empírico y práctico a sus explicaciones mecánico-corpúsculares, requirió del diseño y empleo de artefactos experimentales con qué estudiar, probar y explicar los fenómenos naturales, y con ello ponerse a prueba como procedimiento confiable de investigación y demostración en la filosofía natural.

En el contexto de la práctica experimental boyleana, *explicar* es hacer claramente visible e inteligible un hecho natural a los ojos y a la mente del hombre. De este modo, si algún procedimiento, método o técnica consigue hacer inteligibles (revelar los mecanismos de) los fenómenos naturales, entonces puede resolver muchos de los problemas de investigación de la filosofía natural. Para explicar lo más claramente posible el funcionamiento mecánico-corpúscular de la estructura causal de la naturaleza, es necesario un procedimiento práctico y operativo que lograra incrementar la evidencia y certeza acerca de los hechos naturales, esto permite determinar cómo ocurren los fenómenos físicos, cómo se producen y cómo

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

explicarlos de una forma clara para poderlos entender experimentalmente como efectos de operaciones mecánico-copusculars.

Una de las condiciones necesarias que la instrumentación experimental debe cumplir para que ofrezca un uso confiable de sus dispositivos experimentales, es que haya un funcionamiento operativo adecuado del dispositivo y un manejo técnico con experiencia y pericia del experimentador. Todo ello depende de que el diseño y construcción de dichos instrumentos y aparatos sean material y técnicamente probados para lograr operaciones experimentalmente efectivas. Por esta razón, el diseño, la invención, la construcción, la operación y el mejoramiento de sus dispositivos experimentales hacen de la experimentación neumática boyleana una práctica técnica y operativamente más elaborada, resultante de las operaciones experimentales con la bomba de vacío.

La bomba de vacío coloca ante la experimentación boyleana una serie de factores experimentales -accidentales o provocados- que repercuten directamente en el diseño de los aparatos, instrumentos y experimentos, y que pueden alterar los registros e informes experimentales sobre las condiciones físicas mostradas por un fenómeno, provocando una distorsión en la descripción de un hecho experimental, o fallas en la ejecución de un experimento. Un aparato experimental solamente es confiable como medio de prueba, si logra comprobar una hipótesis aportándole evidencia suficiente y adecuada, y si además contribuye a hacer nuevos descubrimientos en la naturaleza, esto quiere decir, que un aparato experimental puede modificar epistémicamente las certezas filosófico-naturales establecidas respecto a un fenómeno.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En su esfuerzo por constituirse en una instrumentación epistémicamente confiable, la experimentación neumática y la bomba de vacío de Boyle se vieron cuestionadas en su afirmación de haber logrado producir experimentalmente un vacío efectivo, este problema sobre el estatus ontológico de un fenómeno producido experimentalmente y afirmado por el experimentador, lo coloca en la situación de no saber con certeza suficiente si es real ese vacío o sólo es un supuesto ficticio o imaginado por el experimentador, como mencioné antes. Esta misma dificultad se presenta en el esfuerzo boyleano para explicar que los fenómenos neumáticos obedecen a las propiedades físicas del aire como lo son su peso y su fuerza elástica, pero ¿cómo saber si el peso y la elasticidad del aire “existen realmente” y si son las causas efectivas de los fenómenos?

Boyle funda su procedimiento experimental haciendo una profunda revisión crítica de la noción “vulgar” (aristotélica) de naturaleza, -tal como fue expuesta en el capítulo 3- utilizada por algunos filósofos naturales en sus explicaciones de los fenómenos neumáticos. Esta revisión supone la creación y adopción de una útil imagen mecánico-corpúscular de la naturaleza que sirva de fundamento analógico para la argumentación boyleana sobre el funcionamiento corpúscular de los fenómenos neumáticos. El punto para Boyle en su argumentación no es si efectivamente en la naturaleza *existen* los corpúsculos y funcionan mecánicamente, más bien entiende que en tanto una hipótesis (como la mecánico-corpúscular) logre hacer comprensibles los fenómenos naturales al entendimiento humano, dicha hipótesis cumple su cometido epistémico, esto es, explicar suficientemente un fenómeno natural. En caso de que existiese una hipótesis igualmente plausible que la mecánica, debe predecir y mostrar su excelencia como

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

tal a través de la vía experimental, puesto que para Boyle el criterio experimental es central para mostrar la viabilidad explicativa de una hipótesis.

De la observación, interpretación y registro de los datos presentados por un fenómeno en su instancia experimental, depende que se restrinjan al máximo las posibles fallas provocadas por las limitaciones epistémicas del experimentador y sus aparatos, obteniendo de ese modo un tipo de evidencia experimental más sólida y consistente, y constituyéndose en una argumentación experimental que *analógicamente explica el funcionamiento mecánico de la naturaleza modelando los fenómenos naturales*, que hace de la experimentación un procedimiento que incipientemente elabora registros estadísticos basados en las mediciones y tabulaciones donde se relacionan las condiciones constantes y variables de los fenómenos, formando parte de su argumentación experimental. Un ejemplo de esto es la llamada "ley de Boyle", la cual no sólo es un esfuerzo por elaborar un argumento de esta clase, sino que también es una síntesis de toda la estructura de la experimentación instrumentalizada de Boyle.

Efectivamente, toda argumentación experimental aspira a dotar de una certeza física a las explicaciones de la investigación natural, la cual –en parte, debido a la naturaleza propia de los procedimientos experimentales- sólo puede ser establecida como certeza moral en los términos de una concurrencia de probabilidades, pues hasta ahora no existe -propiamente hablando- un "método experimental" que sea un modelo procedimental de aplicación universal.

Por esta razón, la experimentación neumática boyleana ve en la instrumentalización del procedimiento experimental un medio adecuado -aunque complejo- para establecer la verdad o certeza física de sus explicaciones

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

pneumáticas. Esta certeza física de los hechos naturales sólo puede entenderse, desde el punto de vista de Boyle, como una certeza moral que se ubica entre un pretendido conocimiento absolutamente cierto y una mera opinión incierta. Esta certeza moral descansa en el enlace que Boyle efectúa entre el lenguaje experimental y el lenguaje del derecho común inglés, donde el primero se funda lingüísticamente en el discurso del segundo. Es por esto que las demostraciones y validaciones experimentales son resultado de la aplicación de un tipo de procedimiento donde la evaluación de las pruebas, los testimonios observacionales y los argumentos experimentales son sometidos al juicio experto de una comunidad de experimentadores. De modo similar a como ocurre en un tribunal de justicia, así sucede en la experimentación: se exponen los hechos, se rinden declaraciones, se presentan testimonios y pruebas, se valora y discute la evidencia que aportan y, finalmente se ofrece un veredicto o dictamen. Así, los hechos y los testimonios naturales dependen de un conjunto de criterios evaluatorios como: oportunidad, capacidad, probidad, habilidad, fidelidad, estatus, experiencia y reputación, y en donde la *credibilidad* es el criterio principal porque, desde mi punto de vista, integra al resto de criterios. Aunque el testimonio dejó de ser un asunto de mera fidelidad incuestionable a una establecida autoridad intelectual, con la experimentación se convirtió en una cuestión de evidencia fáctica que también *buscó fundar una nueva autoridad basada ahora en la credibilidad mencionada*. El testimonio de un experimentador es similar al de un testigo en un tribunal respecto a los criterios de evidencia, y se acepta como confiable si reúne tres requisitos: tener conocimiento sobre lo que testifica, ser confiable en informar lo que sabe, y tener un buen carácter (o reputación) moral.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

De esa manera, una demostración experimental confiable y acreditada en esos términos de certeza moral (que no llega a ser una verdad física absoluta) resulta reveladora de que la práctica experimental sólo exige una evidencia sustentada por sólidas pruebas experimentales en el marco de una concurrencia de probabilidades. Que una hipótesis física esté racionalmente establecida no depende del número diverso de testimonios aportados por los experimentadores, sino de que una suficiente cantidad de evidencia independiente sea aportada para el problema de investigación. La demostración moral no tiene el carácter de exactitud de la demostración matemática, la filosofía experimental de Boyle la asume como una forma práctica para juzgar y valorar racionalmente la evidencia aportada por los experimentos.

Por consiguiente, obtener certeza de un hecho implica aceptar una prueba que sea relevante y confiable para demostrar y establecer una certeza fácticamente suficiente; ahora bien, en caso de que no exista una prueba tal, no debe descalificarse el hecho ni establecer un juicio negativo sobre él, lo más apropiado –como en un tribunal– es suspender temporalmente el juicio hasta no que se cuente con mejores y suficientes pruebas.

La certeza moral sobre la que Boyle hace descansar su práctica experimental, nos habla de un tipo de acción responsable fundada en la prudencia humana y contraria a toda especulación filosófica sin fundamentos empíricos. Es esta certeza moral la que da forma al concepto boyleano de *razonabilidad*, criterio principal que estructura las creencias, pruebas y demostraciones de un experimentador. Es esta razonabilidad (y no la razón) lo que da sustento al

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

falibilismo (conocimiento temporal) y al probabilismo (conurrencia de probabilidades) de la experimentación de Boyle.

Aunque la experimentación no es excluyente respecto del manejo de ciertas verdades establecidas, siempre éstas deben considerarse susceptibles de modificaciones ulteriores de acuerdo con la evidencia y los resultados experimentales. Es claro que un experimento no puede llevarse a cabo adecuadamente sin un cierto conocimiento teórico y sin una instrucción operativa que le permita al experimentador tener conocimiento acerca de cómo idear y plantear una hipótesis o de cómo mejorar -con nuevos resultados- ya sea una técnica experimental o alguna explicación física previamente establecida. En esta dirección, una hipótesis o demostración experimental es sólo un modo útil de explicar un fenómeno de la naturaleza, y cuyo carácter falible plantea el "regreso del experimentador" de H.M. Collins como una paradoja que enfrenta toda práctica experimental.

Precisamente, esta paradoja de Collins somete a discusión filosófica la cuestión acerca de las posibilidades que tiene un procedimiento experimental para lograr establecer conocimientos suficientemente ciertos (y acaso absolutamente verdaderos) y qué clase o tipo de generalizaciones tienen que proceder de hechos experimentalmente probados, lo cual -en último término- se refiere a cómo concebir la relación epistémica entre los hechos comprobados y sus correspondientes explicaciones.

Para un experimentador una teoría o hipótesis sólo está sujeta a aprobación, si es ella es consistentemente explicativa de la totalidad de fenómenos naturales caigan dentro de su ámbito, lo cual permite ver cumplidas dos de sus

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

finalidades: organizar los resultados experimentales y afirmar su propio papel predictivo.

Uno de los logros epistemológicos más notables del trabajo experimental de Boyle es su análisis de las hipótesis. El carácter de una *buena hipótesis* es inteligible, no supone ni asume aquello que sea absurdo o claramente falso, imposible o ininteligible, así es consistente y adecuada para explicar los principales fenómenos sin contradecir otros fenómenos o verdades naturales ya conocidos. Pero para que una buena hipótesis sea una *excelente hipótesis* debe contar con suficientes fundamentos en el hecho natural y poseer consistentes pruebas auxiliares para que sea la única hipótesis explique los fenómenos, y habilite al experimentador para predecir futuros fenómenos relacionados con ella, así como disponer de nuevos y mejores experimentos que permitan sustentarla cada vez más.

En vista de esto, el uso de experimentos como pruebas demostrativas de una explicación, debe auxiliar y corregir a nuestras observaciones, sugerir hipótesis tanto generales como particulares, ilustrar nuestras explicaciones de los fenómenos, determinar dudas, confirmar verdades, refutar errores, sugerir nuevas investigaciones y actualizar nuestra elaboración de experimentos; pero esto también requiere de que el experimentador posea la habilidad y el conocimiento para idear experimentos que dependan sólo y principalmente de principios, nociones y razonamientos, inventar y construir instrumentos mecánicos como de otro tipo que posibiliten nuevas indagaciones y pruebas para variar y mejorar los experimentos conocidos; ayudar a hacer estimaciones de lo que es físicamente posible y practicable, y hacer predicciones de eventos con experimentos no

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

realizados todavía sobre la base del conocimiento de las causas físicas de los fenómenos para determinar exactamente sus condiciones, variaciones y proporciones como peso, medidas, duración, etc., a través de los experimentos.

En este sentido, el hecho de que la experimentación neumática boyleana no admita la posibilidad de un sistema concluso de conocimientos naturales o de un método experimental infalible, revela la naturaleza falible de las hipótesis y los experimentos. Aparece como un procedimiento de constante prueba y demostración donde las hipótesis y los resultados experimentales pueden modificarse según las variaciones que presenten los fenómenos en estudio o según los ajustes instrumentales que el propio experimentador efectúe, dado que en la experimentación no siempre están garantizados los ensayos exitosos, pues el riesgo que se corre para que un experimento fracase es muy grande, debido a que está sujeto a factores accidentales o casuales, que nos pueden llevar, en algunas ocasiones, también a nuevos e inesperados descubrimientos. Así, pues, el seguimiento de un procedimiento experimental no nos conduce automáticamente a la obtención de resultados seguros, ni a la confirmación de hipótesis igualmente seguras. Inclusive Boyle mismo reconoce que existen dificultades experimentales que, en la interpretación de los hechos y en cuestiones metodológicas más generales, no conducen a que puede haber varias maneras distintas de entender un mismo fenómeno o de que intervengan algunas circunstancias imprevistas (accidentes, casualidades, fallas materiales y operativas, etc.) en una investigación experimental.

En sus intentos por superar esas dificultades, la experimentación neumática boyleana nos muestra cómo una hipótesis acerca de la naturaleza y

propiedades del aire o sobre el vacío, se fortalece y valida mediante la realización de series experimentales, donde las variaciones de un experimento se dirigen a evitar que se malinterprete a la propia práctica experimental en el sentido pretender que con la múltiple repetición de un mismo experimento se piense estar corroborando, confirmando o elaborando una hipótesis. Desde un punto de vista del desarrollo de la experimentación, la bomba de vacío se convierte en el instrumento experimental más adecuado para sustentar fácticamente los resultados experimentales en pneumática, debido a su capacidad para modelar complejamente los fenómenos del aire y del vacío más que cualquier otro dispositivo inventado hasta entonces.

El caso concreto del Experimento XVII de Boyle es representativo de que la creación de un vacío operativo por medios experimentales con vistas a proporcionar una explicación razonable de éste y otros fenómenos pneumáticos, sólo es posible gracias al desarrollo de una técnica experimental que ningún otro experimento o experimentador podía ofrecer o demostrar hasta entonces. Esto ocurrió por la adaptación operativa y las mejoras técnicas que Boyle realizó a los instrumentos de Torricelli, Pascal y von Guericke, lo cual le permitió no sólo crear ese complejo instrumento experimental que es la bomba de vacío, sino efectuar las primeras mediciones e incipientes registros estadísticos en tablas que muestran una relación entre los factores constantes y variables implicados en los fenómenos pneumáticos, y que fueron una pieza clave como complemento para la argumentación experimental en sus demostraciones físicas, lo cual es manifiesto en los resultados de su explicación pneumática llamada "ley de Boyle".

En general, Boyle nos muestra que la experimentación es también un medio de instrucción y educación que sirve para mostrar cómo con un determinado procedimiento experimental el experimentador es capaz de operar sobre las condiciones de un fenómeno y demostrar sus hipótesis. De esta manera, la experimentación cumple con la importante tarea de educar y entrenar al experimentador con vistas a desarrollar su capacidad, habilidad y disciplina teórico-prácticas para que sea capaz de idear, plantear y demostrar adecuadamente todas las hipótesis o explicaciones requeridas por sus investigaciones sobre los hechos de la naturaleza.

Además, la experimentación buscando constituirse en una nueva autoridad experimental, si el experimentador en su replicación, demostración y explicación de un fenómeno natural tenía éxito, entonces la autoridad experimental que lograba también se obtenía para el experimento, los instrumentos, las técnicas y los argumentos utilizados. Así, la experimentación y su instrumentación conseguían autoridad plena, pero sin olvidar que aún cuando todos aquellos conocimientos estén suficientemente bien fundados, son susceptibles de perder su verdad o certeza.

Finalmente, en una consideración general, si el fin de la experimentación neumática de Boyle es proponer soluciones prácticas a las controversias ontológicas, epistémicas y técnico-operativas suscitadas por el uso de la bomba de vacío -como dispositivo experimental modelo- para sus explicaciones neumáticas acerca de las propiedades y naturaleza del aire, así como del vacío creado con la bomba, esta experimentación nos muestra la complejidad que entraña explicar un procedimiento de prueba que se funda en la relación entre una hipótesis, un

dispositivo experimental, las observaciones y operaciones instrumentales del experimentador y la evidencia resultante de ello.

Buena parte de las controversias experimentales que se suscitan hasta nuestros días tienen que ver con la efectividad operativa y epistémica de los instrumentos y aparatos utilizados en los laboratorios con la intención de garantizar un conocimiento físico genuino. Todas dificultades teóricas y prácticas expuestas a lo largo de este trabajo conducen nuestra atención a que veamos la complejidad que enfrenta la práctica experimental de Boyle y que hereda a un buen número de prácticas experimentales contemporáneas. Podemos resumir una de las lecciones experimentales más importantes de Boyle del modo siguiente: en la investigación científica de la naturaleza no hay un método fijo y universal, hay sólo procedimientos-guía; no hay teorías completas, sólo hay hipótesis y explicaciones provisionales que precisan de mejor evidencia procedente de nuevos e incesantes descubrimientos en la naturaleza.

BIBLIOGRAFÍA

Las obras que aparecen señaladas con un asterico (*) fueron fundamentales para la elaboración de esta tesis.

Agassi, Joseph, (1977), *Robert Boyle's Anonymous Writings*, Isis 68: 184-287.

_____, (1977), *Who Discovered Boyle's Law?*, Studies in History and Philosophy of Science 8: 189-250.

Alexander Peter, (1974a), *Boyle and Locke on Primary and Secondary Qualities*, Ratio 16: 51-67.

_____, (1974b), *Curley on Locke and Boyle*, Philosophical Review 83: 229-237.

_____, (1977), *The Names of Secondary Qualities*, Proceedings of the Aristotelian Society 72: 203-220.

* _____, (1985), *Ideas, Qualities and Corpuscles*, Cambridge: Cambridge University Press.

Anstey, Peter, (1999), "Robert Boyle on occasionalism: an unexamined source", Journal of the History of Ideas 60: 57-81.

_____, (2000), *The Philosophy of Robert Boyle*, London and New York: Routledge.

Applebaum, W., (1964), *Boyle and Hobbes: A Reconsideration*, Journal of the History of Ideas 25: 117-119.

Baldwin, Martha, (1999), "Assaying Robert Boyle", Isis 90: 772-774.

Ben-Chaim, Michael, (2000), "The value of facts in Boyle's experimental philosophy" History of Science 38: 57-77.

Benjamin, A. E., G. N. Cantor y J. R. R. Christie, (1987), *The Figural and the Literal: Problems of Language in the History of Science and Philosophy 1630-1800*, Manchester: Manchester University Press.

Bennett, J.A., (1993), *A Viol of Water or A Wedge of Glass* en Gooding, 1993:105-114.

*Boyle, Robert, (1661), *The Sceptical Chymist*, (Reprint), Montana,USA: Kessinger Publishing Co.

* _____, (1985), *Física, Química y Filosofía Mecánica*, (Ed. Carlos Solís Santos), Madrid: Alianza Editorial (Col. El Libro de Bolsillo No. 1076).

* _____, (1996), *A Free Enquiry into the Vulgarly Received Notion of Nature*, (Ed. Edward B. Davis y Michael Hunter), Cambridge: Cambridge University Press.

* _____, (1979), *Selected Philosophical Papers of Robert Boyle*, (Ed. M.A. Stewart), New York: Barnes and Noble.

* _____, (1999/2000), *The Works of Robert Boyle*, (14 vols.), ed. by Michael Hunter and Edward B. Davis, London: Pickering & Chatto.

Boas [Hall], Marie, (1950), "Boyle as a theoretical scientist", *Isis* 41: 261-268.

_____, (1952), "The establishment of the mechanical philosophy", *Osiris* 10: 412-541.

_____, (1954), "An early versión of Boyle's Sceptical Chymist", *Isis* 45: 153-168.

_____, (1956), "La méthode scientifique de Robert Boyle", *Revue d' Histoire des Sciences* 9: 105-125.

_____, (1964), "Introduction' to facsimile edition of Boyle's Experiments and Considerations touching Colours", New York: Johnson Reprint Corporation, 1964.

* _____, (ed.), (1965), *Robert Boyle on Natural Philosophy*, Bloomington: Indiana University Press.

_____, (1967), "Robert Boyle", *Scientific American* 217: 96-102.

* _____, (1970-80), "Boyle, Robert", en C.C. Gillispie (ed.), *Dictionary of Scientific Biography*, 16 vols., New York: Scribners, II: 377-82.

* _____, (1976), *Robert Boyle and Seventeenth-Century Chemistry*, Millwood, N.Y.: Kraus Reprint, Co.

- _____, (1987), "Boyle's method of work: promoting his corpuscular philosophy", Notes and Records of the Royal Society 41: 111-142.
- * _____, (1991), *Promoting Experimental Learning*, Cambridge: Cambridge University Press.
- *Brooke, John Hedley, (1998), *Science and Religion. Some Historical Perspectives*, New York: Cambridge University Press.
- Buchanan, P.D., J.F. Gibson y M.B. Hall, (1978), *Experimental history of science: Boyle's colour changes*, Ambix 25: 208-210.
- Bud, Robert y Deborah Jean Warner (eds.), (1998), *Instruments of Science*, New York & London: Garland Publishing, Inc.
- Cambridge University Press, (1979), *Historia del Mundo Moderno*, 13 Vols., Barcelona: Ramón Sopena, S.A.
- Campodonico, Angelo, (1978), *Filosofia dell' Esperienza ed Epistemologia della Fede in Robert Boyle*, Firenze: Felice le Monnier.
- Carré, M.H., (1957), "Robert Boyle and English thought", History Today 7: 322-327
- Chalmers, Alan, (1985), "The lack of excellency of Boyle's mechanical philosophy", Studies and the History and Philosophy of Science 24: 541-564.
- Scribner's Sons, Charles, (2000), *Concise Dictionary of Scientific Biography*, New York: Charles Scribner's Sons/ Gale Group.
- Clericuzio, Antonio, (1985), "Le transmutazioni in Bacon e Boyle" en M.Fattori (ed.) *Francis Bacon. Terminología e Fortuna nel XVII Secolo*, Roma: Edizioni dell' Ateneo, pp. 29-42.
- _____, (1988), "Spiritus vitalis: studio sulle teoria fisiológica da Fermel a Boyle", Nouvelles de la République des Lettres 2: 33-84.
- _____, (1990a), "Robert Boyle and the English Helmontians" en Z.R. W. M. von Martels (ed.), *Alchemy Revisited*, Leiden: E. J. Brill, pp. 192-199.

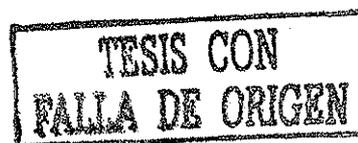
- _____, (1990b), "A redefinition of Boyle's chemistry and corpuscular theory", Annals of Science 47: 561-589.
- _____, (1993), "From van Helmont to Boyle: a study of the transmission of Helmontian chemical and medical theories in seventeenth-century England", British Journal for the History of Science 26: 303-334.
- _____, (1997), "L' atomisme de Gassendi et la philosophie corpusculaire de Boyle" en Sylvia Murr (ed.), *Gassendi et l' Europe (1592-1792)*, Paris: Vrin, pp. 227-235.
- _____, (1998), "The mechanical philosophy and the spring of the air. New light on Robert Boyle and Robert Hooke", Nunci 13: 69-75.
- _____, (2001), *Elements, Principles and Corpuscles*, Dordrecht: Kluwer Academia Publishers.
- Cohen, I. B., (1964), "Newton, Hooke, and 'Boyle's Law' (discovered by Power and Towneley)", Nature 204: 618-621.
- _____, (1956), "An evaluation of the classical candle-mouse experiment", Journal of the History of Medicine 11: 127-132.
- Conant, J. B. (ed.), (1957), "Robert Boyle's experiments in pneumatics" en *Harvard Case Histories in Experimental Science* (2 vols.), Cambridge, Mass.: Harvard University Press, en I: 1-63.
- Conry, Yves, (1980), "Robert Boyle et la doctrine cartésienne des animaux-machines", Revue d' Histoire des Sciences 33: 69-74.
- Cope, J. L., (1959), "Evelyn, Boyle and Dr. Wilkinson's 'Mathematico-Chymico-Mechanical School' ", Isis 50: 30-32.
- Crinó, A. M., (1960), "Robert Boyle visto da due contemporanei", Physis 2:318-320
- Collins, H.M., (1985), *Changing Order: Replication and Induction in Scientific Practice*, London: Sage.
- Cook, Margaret G., (2001), *Divine Artifice and Natural Mechanism: Robert Boyle's Mechanical Philosophy of Nature*, Osiris, 16: 133-150.

- Crombie, A.C. y M.A. Hoskin, (1979), "Cap.V: El Movimiento Científico y su Influencia, 1610-1650" en Cambridge University Press, 1979-IV:89-113.
- Crosland, Maurice, (ed.), (1976), *The Emergence of Science in Western Europe*, New York: Science History Publications.
- Crowther, J. G., (1960), *Founders of British Science*, London: Cresset Press, pp. 51-93.
- Curley, E. M., (1972), "Locke, Boyle, and the distinction between primary and secondary qualities", Philosophical Review 81: 438-464.
- *Daston, Lorraine, (1988), *Classical Probability in the Enlightenment*, Princeton: Princeton University Press.
- Daudin, H., (1948), "Spinoza et la science experimentale: sa discussion de l' experience de Boyle", Revue d' Histoire des Sciences 2: 179-190.
- *Davis, Edward B., (2000), "Robert Boyle" en Applebaum, Wilbur, (ed.), Encyclopedia of the Scientific Revolution. From Copernicus to Newton, New York & London: Garland Publishing, Inc.
- Dear, Peter, (1990), "Miracles, experiments and the ordinary course of nature", Isis 81: 663-683.
- * _____, (1995), *Discipline and Experience*, Chicago and London: The University of Chicago Press.
- _____, (ed.), (1997a), *The Scientific Enterprise in Early Modern Europe. (Readings from Isis)*, Chicago and London: The University of Chicago Press.
- * _____, (1997b), Totius in verba: *Rhetoric and Authority in the Early Royal Society*, en Dear, 1997: 255-272.
- Debus, A. G., (1949), "Robert Boyle and his Sceptical Chymist", Indiana Quarterly for Bookmen 5: 39-47.
- _____, (1987), *Chemistry, Alchemy and the New Philosophy 1550-1700*, London: Variorum Reprints.
- _____ y R.P. Multhauf, (1966), *Alchemy and Chemistry in the Seventeenth Century*, Los Angeles: William Andrews Clark Library.

- Dewhurst, Kenneth, (1962), "*Locke's contribution to Boyle's researches on the air and on human blood*", Notes and Records of the Royal Society 17: 198-206.
- Dilworth, C., (1985), "*Boyle, Hooke and Newton : some aspects of scientific collaboration*", Rend. Accad. Naz. Sci. XL Mem. Sci. Fis. Natur. (5) 9: 329-331.
- *Dijksterhuis, E.J., (1969), *The Mechanization of the World*, Oxford: Oxford University Press.
- Eamon, William, (1980), "*New light on Robert Boyle and the discovery of colour indicators*", Ambix 27: 204-209.
- Edwards, J.G., (1999), "*Robert Boyle's unsociable truths*", Research in Philosophy and Technology 18: 289-293.
- Emerton, Norma, (1984), *The Scientific Reinterpretation of Form*, Ithaca: Cornell University Press.
- Feisenberger, H. A., (1965), "*The libraries of Newton, Hooke and Boyle*", Notes and Records of the Royal Society 21: 42-55.
- *Field, J.V. y Frank A.J.L. James, (eds.), (1997), *Renaissance and Revolution. Humanists, scholars, craftsmen and natural philosophers in early modern Europe*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Fisch, Arnold, (1953), "*The scientist as priest: a note on Robert Boyle's natural theology*", Isis 44: 252-265.
- Fisher, M. S., (1945), *Robert Boyle, Devout Naturalist*, Philadelphia: Oshiver Studio Press.
- *Franklin, Allan, (1993), *The Epistemology of Experiment en Gooding*, 1993: 437-460.
- Fulton, J. F., (1948), "*Robert Boyle: a reappraisal*", en *Aviation Medicine in its Preventive Aspects*, London: University of London, pp. 4-22.
- _____, (1956), "*Boyle and Sydenham*", Journal of the History of Medicine 11: 351-352.
- *Gabbey, Alan, (1997), *Between Ars and Philosophia Naturalis: Reflections on the Historiography of Early Modern Mechanics en Field y James*

1997: 133-145.

- Galilei, Galileo, (2000), *Two New Sciences*, (Tr. Stillman Drake), Toronto, Ontario-Dayton, Ohio: Wall & Emerson.
- Gamow, George, (1983), *Biografía de la Física*, (Tr. Fernando Vela), Madrid: Alianza Editorial (El libro de bolsillo No. 743).
- *Garber, Daniel, (1997), *Experiment, Community, and the Constitution of Nature in the Seventeenth Century* en Earman, John y John D. Norton (eds.), *The Cosmos of Science. Essays of Exploration*, Pittsburgh, PA: University of Pittsburgh Press, pp. 24-54.
- Generales, C. D. J., (1967), "Notes on Robert Boyle contributory to space medicine", *New York State Journal of Medicine* 67:1193-1204
- Gigliani, Guido, (1995), "Automata compared: Boyle, Leibniz and the debate on the notion of life and mind", *British Journal for the History of Philosophy* 3: 249-278.
- Gillespie, N. C., (1987), "Natural history, natural theology and social order: John Ray and the 'Newtonian ideology' ", *Journal of the History of Biology* 20: 1-49.
- Giua, Michele, (1945), *Storia della Scienza ed Epistemologia: Galileo-Boyle-Planck* Torino: Chiantore.
- Golinski, Jan, (1997), "Essay review: Robert Boyle's coat of many colours", *Studies in the History of Philosophy of Science* 28: 209-217.
- _____, (1998), *Making Natural Knowledge. Constructivism and the History of Science*, New York: Cambridge University Press.
- *Gooding, David, T. Pinch y S. Schaffer (eds.), (1993), *The Uses of Experiment*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Gotti, Maurizio, (1996), *Robert Boyle and the Language of Science*, Milano: Guerini Scientifica.
- Green, W. J., (1978), "Models and metaphysics in the chemical theories of Boyle and Newton", *Journal of Chemical Education* 55: 434-436.
- Greene, R.A., (1962), "Henry More and Robert Boyle on the spirit of nature", *Journal of the History of Ideas* 23: 451-474.



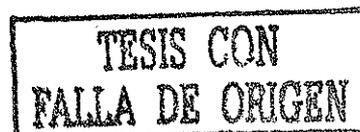
- Greiner, F., (ed.), (1998), *Aspects de la Tradition Alchimique au XVIIe Siècle*, Paris-Milan.
- Grell, O. P. y Andrew Cunningham (eds.), (1996), *Religio Medici: Medicine and Religion in Seventeenth Century England*, Aldershot: Scholar Press.
- Grilli, M., (1982), "Robert Boyle: contributi alla fisica del calore", Physis 24: 489-517.
- Hackett, E., (1950), "Robert Boyle and the human blood", Irish Journal of Medical Science 6: 528-533.
- *Hacking, Ian, (1995), *El Surgimiento de la Probabilidad*, (Tr. José A. Álvarez), Barcelona: Gedisa.
- _____, (1996), *Representar e Intervenir*, México: Paidós-UNAM (Tr. Sergio Martínez)
- *Hackmann, W.D., (1993), *Scientific Instruments: Models of Brass and Aids to Discovery* en Gooding, 1993: 31-65.
- Hall, A.R., (1979), "Cap. III: Movimiento Científico" en Cambridge University Press, 1979-V: 34-52.
- _____ y M. B. Hall, (1964), "Philosophy and Natural Philosophy: Boyle and Spinoza" en *Melanges Alexandre Koyré*, (2 vols.), Paris: Hermann, II: 241-256.
- *Hannaway, Owen, (1997), *Laboratory Design and the Aim of Science: Andreas Libavius versus Tycho Brahe* en Dear, 1997: 37-63.
- Harré, Rom, (1981), "Robert Boyle: The measurement of the spring of the air", en Rom Harré, *Great Scientific Experiments*, Oxford: Phaidon, pp. 83-91.
- Hartley, H., (1960), *The Royal Society: Its Origins and Founders*, London: Royal Society.
- Harwood, John T., (ed.), (1991), *The Early Essays and Ethics of Robert Boyle*, Carbondale and Edwardsville: Southern Illinois University Press.
- Hawthorne, R. M., (1979), "Boyle's/Hooke's/Towneley and Power's/Mariotte's Law" en Journal of Chemical Education 56: 741-742.



- Henry, John, (1986), "*Occult qualities and the experimental philosophy: active principles in the pre-Newtonian matter theory*", History of Science 24: 335-381.
- _____, (1990), "*Henry More versus Robert Boyle: the Spirit of Nature and the nature of providence*", en Sarah Hutton, (ed.), *Henry More (1614-1987): Tercentenary Studies*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 55-76.
- Hesse, Mary, (2000), *Francis Bacon*, en Gillispie, 2000: 372-377.
- Hoff, H.E., (1964), "*Nicolaus of Cusa, van Helmont and Boyle: the first experiment of the renaissance in quantitative biology and medicine*", Journal of the History of Medicine 19: 99-117.
- Hooykaas, Reijer, (1949), "*The experimental origin of the chemical atomic and molecular theory before Boyle*", Chymia 2: 65-80.
- _____, (1997), *Robert Boyle: a Study of Science and Christian Belief*, Tr. H. van Dyke, Lanham, Md.: University Press of America.
- Hooke, Robert, (1967), *Philosophical Experiments and Observations*, London: Frank Cass & Co. Ltd.
- Hunt, R. M., (1955), *The Place of Religion in the Science of Robert Boyle*, Pittsburgh: University of Pittsburg Press.
- Hunter, Michael, (1981), *Science and Society in Restoration England*, Cambridge: Cambridge University Press.
- _____, (1982), *The Royal Society and Its Fellows 1660-1700: The Morphology of an Early Scientific Institution*, Chalfont St. Giles, Bucks.: British Society for the History of Science.
- _____, (1990a), "*Robert Boyle and the epistemology of the novel*", Eighteenth-century Fiction 2: 275-281.
- _____, (1990b), "*Science and heterodoxy: an early modern problem reconsidered*" en Lindberg y Westman, 1990: 437-460.
- _____, (1990c), "*Alchemy, magic and moralism in the thought of Robert Boyle*", British Journal for the History of Science 23: 387-410.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- _____, (1992), *Letters and Papers of Robert Boyle: A Guide to the Manuscripts and Microfilm*, Bethesda, Md.: University Publications of America.
- _____, (1993a), "Casuistry in action: Robert Boyle's confessional Interviews with Gilbert Burneo and Edward Stillingfleet", Journal of Ecclesiastical History 44: 80-98.
- _____, (1997?), *Robert Boyle: the Key Biographical Texts*, London: Pickering & Chatto.
- * _____, (ed.), (1994 a), *Robert Boyle Reconsidered*, Cambridge: Cambridge University Press.
- * _____, (ed.), (1994 b), *Robert Boyle by Himself and His Friends*, London: William Pickering & Chatto.
- _____, (1995), "How Boyle became a scientist", History of Science 33: 59-103.
- * _____, (1997a), *The conscience of Robert Boyle: functionalism, "dysfunctionalism" and the task of historical understanding* en Field y James, 1997: 147-159.
- _____, (1997b), "Boyle versus the Galenists: a suppressed critique of seventeenth-century medical practice and its significance", Medical History 47: 322-361.
- _____, (ed.), (1998), *Archives of the Scientific Revolution: the Formation and Exchange of Ideas in 17th-century Europe*, Woodbridge: The Boydell Press.
- _____, (ed.), (1999), *Psychoanalysing Robert Boyle – Special Issue of British Journal for the History of Science*, September, Vol. 32: 257-324.
- _____, (2000), *Robert Boyle (1627-91): Scrupulosity and Science*, Woodbridge: The Boydell Press.
- _____ y Edward B. Davis, (1996), "The making of Robert Boyle's Free Enquiry into the Vulgarly Receiv' d Notion of Nature (1686)", Early Science and Medicine 1: 204-271.



- Hunter, R. A. e Ida Macalpine, (1957), "*Robert Boyle - poet*", Journal of the History of Medicine 12: 390-392.
- _____, (1958), "*William Harvey and Robert Boyle*", Notes and Records of the Royal Society 13: 115-127.
- _____, (1972), "*Robert Boyle's poem – an addendum*", Journal of the History of Medicine 27: 85-88.
- Hunter, R.A. y R. A. Rose, (1958), "*Robert Boyle's 'Uncommon observations about vitiated sight' (London, 1688)*", British Journal of Ophthalmology 41: 726-731.
- Hutchings, D., (1969), *Late Seventeenth-Century Scientists*, Oxford: Pergamon Press.
- Hutchison, Keith, (1983), "*Supernaturalism and the mechanical philosophy*", History of Science 21: 297-333.
- _____, (1997), *What Happened to Occult Qualities in the Scientific Revolution?*, en Dear, 1997: 86-106.
- Ihde, A. J., (1956), "*Antecedents to the Boyle concept of the element*", Journal of Chemical Education 33: 548-551.
- _____, (1964), "*Alchemy in reverse: Robert Boyle and the degradation of gold*", Chymia 9: 47-57.
- Jacob, James R., (1972), "*The ideological origins of Robert Boyle's natural philosophy*", Journal of European Studies 2: 1-21.
- _____, (1974), "*Robert Boyle and subversive religión in the early Restoration*", Albion 6: 275-293.
- _____, (1975), "*Restoration, reformation and the origins of the Royal Society*", History of Science 13: 155-176.
- _____, (1977a), "*Boyle's circle in the Protectorate: revelation, politics and the millenium*", Journal of the History of Ideas 38: 131-140.
- _____, (1977b), *Robert Boyle and the English Revolution: A Study in Social and Intellectual Change*, New York: Burt Franklin.

- _____, (1978), "*Boyle's atomism and the Restoration assault on pagan naturalism*", *Social Studies of Science* 8: 211-233.
- _____, (1982), "*Restoration ideologies and the Royal Society*", *History of Science* 18: 25-58.
- Jacobs, Struan, (1994), "*Laws of nature, corpuscles and concourse: non-occasionalists tendencies in the natural philosophy of Robert Boyle*", *Journal of Philosophical Research* 19: 373-393.
- Jenkins, Jane E., (2000), *Arguing about Nothing: Henry More and Robert Boyle on the Theological Implications of the Void*, en Osler, 2000: 153-179.
- Jones, G.W., (1989), *Robert Boyle: Lord of the Manor of Stalbridge 1643-1691*, Sturminster Newton Museum.
- Kalugay, J., (1959), "*Boyle the chemist*", *Koroth* 2: 129-132.
- Kangro, Hans, (2000), *Daniel Sennert*, en Gillespie, 2000: 310-313.
- *Kaplan, Barbara Beigun, (1993), "*Divulging of Useful Truths in Physick*". *The Medical Agenda of Robert Boyle*, Baltimore and London: The Johns Hopkins University Press.
- Kargon, R.H., (1964), "*Walter Charleton, Robert Boyle and the acceptance of Epicurean atomism in England*", *Isis* 55: 184-192.
- _____, (1966), *Atomism in England from Harriot to Newton*, Oxford: Clarendon Press.
- _____, (1971), "*The testimony of nature: Boyle, Hooke and the experimental philosophy*", *Albion* 3: 72-81.
- Keele, K. D., (1974), "*The Sydenham-Boyle theory of morbidic particles*", *Medical History* 18: 240-248.
- Kim, Yung Sik, (1991), "*Another look at Robert Boyle's acceptance of the mechanical philosophy: its limits and its chemical and social contexts*", *Ambix* 38: 1-10.
- Klareen, E. M., (1977), *Religious Origins of Modern Science: Belief in Creation in Seventeenth-Century Thought*, Grand Rapids, Mich: William B. Eerdmans.



- Klein, Ursula, (1996), "Robert Boyle – der Begründer der neuzeitlichen Chemie?", Philosophia Naturalis 31: 63-106.
- Klever, Wim (ed.), (1997), *Die Schwere der Luft in der Diskussion des 17. Jahrhunderts*, Wolfenbütterler Arbeiten zur Barockforschung, Band 29, Wiesbaden: Harrassowitz.
- Knight, David, (1992), *Ideas in Chemistry. A History of the Science*, New Brunswick, New Jersey: Rutgers University Press.
- Krips, Henry, (1994), "Ideology, rhetoric, and Boyle's New Experiments", Science in Context 7: 53-64.
- Kroll, Richard, R. Ashcraft and P. Zagorin, (eds.), (1992), *Philosophy, Science and Religion in England 1640-1700*, Cambridge University Press.
- Krook, Dorotea, (1955), *Two Baconians: Robert Boyle and Joseph Glanvill*", Huntington Library Quarterly 18: 261-278.
- Kuhn, Thomas S., (1977), *The Essential Tension*, Chicago and London: The University of Chicago Press.
- * _____, (1997), *Robert Boyle and the Structural Chemistry in the Seventeenth Century* en Dear, 1997: 212-236.
- Kultgen, J. H., (1956), "Robert Boyle's metaphysic of science", Philosophy of Science 23: 136-141.
- Kuslan, L. I. y A. H. Stone, (1970), *Robert Boyle, the Great Experimenter*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- *Laudan, Larry, (1981), *Science and Hypothesis*, Dordrecht: Reidel.
- Lawrence, Christopher y Steve Shapin (eds.), (1998), *Science Incarnate: Historical Embodiments of Natural Knowledge*, Chicago: Chicago University Press.
- Leicester, H. M., (1967), "Boyle, Lomonosov, Lavoisier and the corpuscular theory of matter", Isis 58: 240-244.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Lennox, J.G., (1983), "*Robert Boyle's defense of theological inference in experimental science*", Isis 74: 38-52.
- Lindberg, D.C. y R.S. Westman, (eds.) (1990), *Reappraisals of the Scientific Revolution*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Loemker, L. E., (1955), "*Boyle and Leibniz*", Journal of the History of Ideas 16: 22-43.
- Lupoli, A., (1976), "*La polemica tra Hobbes and Boyle*", Acme [Milano] 29: 309-354.
- Machamer, Peter, (2000), "*The concept of the individual and the idea(l) of method in seventeenth-century natural philosophy*" en Machamer, Peter, Marcello Pera y Arsitides Baltas (eds.), Scientific Controversies, New York: Oxford University Press, pp. 81-99.
- Macintosh, J. J., (1976), "*Primary and secondary qualities*", Studia Leibnitiana 8: 88-104.
- _____, (1983), "*Perception and imagination in Descartes, Boyle and Hooke*", Canadian Journal of Philosophy 13: 327-352.
- _____, (1991), "*Robert Boyle on Epicurean atheism and atomism*" en M. J. Osler (ed.), *Atoms, Pneuma and Tranquility: Epicurean and Stoic Themes in European Thought*, Cambridge: Cambridge University Press, pp. 197-219.
- _____, (1992), "*Robert Boyle's epistemology: the interaction between scientific and religious knowledge*", Internacional Studies in the Philosophy of Science 6: 91-121.
- Maddison, R.E.W., (1950), "*Robert Boyle's library*", Nature 165: 981.
- _____, (1951), "*Studies in the life of Robert Boyle, 1: Robert Boyle and some of his foreign visitors*", Notes and Records of the Royal Society 9: 1-35.
- _____, (1952a), "*Studies in the life of Robert Boyle, 2: salt water freshened*", Notes and Records of the Royal Society 9: 196-216.
- _____, (1952b), "*Studies in the life of Robert Boyle, 3: the charitable disposal of Robert Boyle's residuary estate*", Notes

and Records of the Royal Society 10: 15-27.

- _____, (1954), "*Studies in the life of Robert Boyle, 4: Robert Boyle and some of his foreign visitors*", Notes and Records of the Royal Society 11: 38-53.
- _____, (1955a), "*Studies in the life of Robert Boyle, 5: Boyle's operator: Ambrose Godfrey Hanckwitz, F.R.S.*", Notes and Records of the Royal Society 11: 159-188.
- _____, (1955b), "*Notes on some members of the Hanckwitz family in England*", Annals of Science 11: 64-73.
- _____, (1957), "*A summary of former accounts of the life and work of Robert Boyle*", Annals of Science 13: 90-108.
- _____, (1958a), "*A tentative index of the correspondence of the honourable Robert Boyle*", Notes and Records of the Royal Society 13: 128-201.
- _____, (1958b), "*Robert Boyle and the Irish Bible*", Bulletin of the John Rylands Library 41: 81-101.
- _____, (1959), "*The portrait of the honourable Robert Boyle*", Annals of Science 15: 141-214.
- _____, (1961a), "*The plagiarism of Francis Boyle*", Annals of Science 17: 111-120.
- _____, (1961b), "*The earliest published writing of Robert Boyle*", Annals of Science 17: 165-173.
- _____, (1962), "*The first edition of Robert Boyle's Medical Experiments*", Annals of Science 18: 43-47.
- _____, (1963), "*Studies in the life of Robert Boyle, 6: the Stalbridge period, 1645-55, and the invisible college*", Notes and Records of the Royal Society 18: 104-124.
- _____, (1964), "*Boyle's hell*", Annals of Science 20: 101-110.
- _____, (1965), "*Studies in the life of Robert Boyle, 7: the grand tour*", Notes and Records of the Royal Society 20: 51-77.
- _____, (1967), "*Galileo and Boyle: a contrast*" en C. Maccagni (ed.), *Saggi su Galileo Galilei*, 2 vols., Firenze: G. Barbèra,

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

II: 348-361.

- _____, (1969), *The Life of the Honourable Robert Boyle, F.R.S.*, London: Taylor & Francis.
- Markley, Robert, (1983), "Objectivity as ideology: Boyle, Newton and the languages science", Genre 16: 355-372.
- _____, (1985), "Robert Boyle on language: Some Considerations Touching the Style of the Holy Scriptures", Studies in Eighteenth-century Culture 14: 159-171.
- _____, (1993), *Fallen Languages: Crises of Representation in Newtonian England, 1660-1740*, Ithaca: Cornell University Press.
- _____, (1994), "Robert Boyle in and out of his time", The Eighteenth Century 35: 280-286.
- *Martínez, Sergio F., (1997), *De los Efectos a las Causas*, México: Paidós-UNAM.
- McCann, E., (1965), "Was Boyle an occasionalist?" en A.J. Holland (ed.), *Philosophy, its History and Historiography*, Dordrecht: D. Reidel, pp. 229-231.
- *McGuire, J.E., (1972), *Boyle's Conception of Nature* en Journal of the History of Ideas, XXXIII, 4: 523-542.
- Mckie, Douglas, (1948), "Boyle's law", Endeavour 7:148-151.
- _____, (1949), "Boyle's library", Nature 163: 627-628.
- _____, (1953), "Fire and the flamma vitalis: Boyle, Hooke and Mayow" en E. A. Underwood (ed.), *Science, Medicine and History*, 2 vols., London: Oxford University Press, I: 469-488.
- _____, (1961), "Robert Boyle, F.R.S.- a 'sceptical chymist' ", Pharmaceutical Journal 187: 183-186.
- _____: (1965), "Introduction" to Thomas Birch (ed.), *The Works of Robert Boyle* (reprint ed.), Hildesheim: G. Olms.
- *Meinel, Christoph, (1997), *Early Seventeenth-Century Atomism: Theory, Epistemology, and the Insufficiency of Experiment*, en Dear, 1997: 176-211.
- Metzger, Hélène, (1991), *Chemistry*, (Tr. and annotated by C.V. Michael), West Cornwall, Ct.: Locust Hill Press.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Meynel, Guy, (1995), "*Locke, Boyle and Peter Stahl*", Notes and Records of the Royal Society 49:185-192.
- More, Louis T., (1941), "*Boyle as alchemist*", Journal of the History of Ideas 2: 61-76.
- _____, (1944), *The Life and Works of the Honourable Robert Boyle*, New York: Oxford University Press.
- Moulton, F.R., (1941), "*Robert Boyle 1627-1691*", Scientific Monthly 53: 380-382.
- Mulligan, Lotte, (1994), "*Robert Boyle, 'right reason' and the meaning of metaphor*", Journal of the History of Ideas 55: 235-257.
- Neville, R.G., (1961), "*The Sceptical Chymist, 1661: a tercentenary tribute*", Journal of Chemical Education 38: 106-109.
- _____, (1962), "*The discovery of Boyle's law, 1661-62*", Journal of Chemical Education 39: 356-359.
- Newman, William, (1987), "*Newton's Clavis as Starkey's Key*", Isis 78: 564-74.
- * _____, (1994), "*Boyle's debt to corpuscular alchemy*" en Hunter, 1994: 107-118.
- _____, (1996), "*The alchemical sources of Robert Boyle's corpuscular philosophy*", Annals of Science 53: 567-585.
- O'Brien, J.J., (1965), "*Samuel Hartlib's influence on Robert Boyle's scientific development*", Annals of Science 21: 1-14, 257-276.
- Osborne, E. A., (1962), "*Cancellandum R2 in Robert Boyle's 'Sceptical Chymist', 1661*", The Book Collector 11: 215.
- Osler, Margaret J., (1992), "*The intellectual sources of Boyle's philosophy of nature: Gassendi's voluntarism and Boyle's physico-theological project*", en Kroll, 1992: 178-198.
- _____, (1994), *Divine Will and the Mechanical Philosophy: Gassendi and Descartes on Contingency and Necessity in the Created World*, Cambridge: Cambridge University Press.
- _____, (1996), "*Triangulating divine will: Henry More, Robert Boyle and René Descartes on God's relationship to the Creation*", en Marialuisa Baldi (ed.) *Stoicismo e Origenismo nella*

Filosofia del Seicento Inglese, Milano: Franco Angeli,
pp. 75-87.

- * _____, (ed.), (2000), *Rethinking the Scientific Revolution*, New York: Cambridge University Press.
- Oster, Malcom, (1992), "*The scholar and the craftsman revisited: Robert Boyle as aristocrat and artisan*", Annals of Science 49: 255-276.
- _____, (1993), "*Biography, culture and science: the formative years of Robert Boyle*", History of Science 31: 177-226.
- O'Toole, R. J., (1974), "*Qualities and powers in the corpuscular philosophy of Robert Boyle*", Journal of the History of Philosophy 12: 295-315.
- Pacchi, Arrigo, (1973), *Cartesio in Inghilterra: da More a Boyle*, Roma/Bari: Editori Laterza.
- Palmer, D., (1976), "*Boyle's corpuscular hypothesis and Locke's primary-secondary quality distinction*", Philosophical Studies 29: 181-189.
- Paolinelli, Marco, (1971), *Fisico-teologia e Principio di Ragion Sufficiente: Boyle, Maupertius, Wolf, Kant*, Milano: Vita e Pensiero.
- Paradis, James, (1987), "*Montaigne, Boyle and the essay of experience*", en George Levine (ed.), *One Cultura: Essays in Science and Literature*, Madison: University of Wisconsin Press, pp.59-91.
- *Pascal, Blaise, (1988), *Tratados de Pneumática*, (Tr. Alberto Elena), Madrid: Alianza Editorial.
- Phillips, Paul, (1992), "*Robert Boyle- a shoulder for Newton*", Chemistry in Britain, Ottobre 1992: 906-908.
- Pighetti, Clelia, (1967), "*Aspetti della metodologia storica americana in una recente interpretazione dell' opera di Boyle*", en *Atti del Convegno sui Problemi Metodologici di Storia della Scienza, Torino 29-31 de Marzo 1967*, Firenze, pp. 116-123.
- _____, (1968), "*Boyle, il virtuoso cristiano*", Cultura e Scuola 25: 231-235.
- _____, (1971), "*Boyle e il corpuscularismo inglese del seicento*", Cultura e Scuola 10: 213-219.
- _____, (1974), "*Robert Boyle e la Scienza Virtuosa*", Quaderni di Storia

della Scienza e della Medicina 13, Ferrara.

- _____, (1977), *Opere di Robert Boyle*, Torino: Utet.
- _____, (1978), *Boyle: La Vita, il Pensiero, le Opere*, Milano: Academia.
- _____, (1981), "L'opera pneumatica di Robert Boyle", Cultura e Scuola 20: 244-251.
- _____, (1988), *L'Influsso Scientifico di Robert Boyle del Tardo '600 Italiano*, Milano: Franco Angeli.
- Pilkington, Roger, (1959), *Robert Boyle: Father of Chemistry*, London: John Murray.
- Principe, Lawrence M., (1990), "The gold process: directions in the study of Robert Boyle's alchemy" en Z.R.W.M. von Martels (ed.), *Alchemy Revisited*, Leiden: E. J. Brill, pp. 200-205.
- _____, (1992), *Robert Boyle's alchemical secrecy: codes, ciphers, and concealments*", Ambix 39: 63-74.
- * _____, (1998), *The Aspiring Adept. Robert Boyle and His Alchemical Quest*, Princeton, N.J.: Princeton University Press.
- _____, (2000), *The Alchemies of Robert Boyle and Isaac Newton* en Osler, 2000: 201-220.
- Rattansi, Piyo y Antonio Clericuzio (eds.), (1994), *Alchemy and Chemistry in the Sixteenth and Seventeenth Centuries*, Dordrecht: Kluwer.
- Reilly, D., (1951), "Robert Boyle and his background", Journal of Chemical Education 28: 178-183.
- Renaldo, J.J., (1976), "Bacon's empiricism, Boyle's science, and the Jesuit response in Italy", Journal of the History of Ideas 37: 689-195.
- Reti, L., (1969), "Van Helmont, Boyle and the alkahest" en L. Reti y W.C. Gibson, *Some Aspects of Seventeenth-century Medicine and Science*, Los Angeles: William Andrews Clark Library, pp. 1-19.
- Rogers, G. A. J., (1966), "Boyle, Locke and reason", Journal of the History of Ideas 27: 205-216.

- _____, (1972), "Descartes and the method of English science", Annals of Science 29: 237-255.
- Rowbottom, M. E., (1950), "The earliest published writing of Robert Boyle", Annals of Science 6: 376: 389.
- Sambursky, S., (1960), "The influence of Galileo on Boyle's philosophy of science" en *Actes du Symposium International des Sciences Physiques et Mathématiques dans la Première Moitié du XVIIe Siècle, 16-18 June 1958, Firenze/Paris*, pp. 142-146.
- *Sargent, Rose-Mary, (1986), *Robert Boyle's Baconian Inheritance: A Response to Laudan's Cartesian Thesis* en Stud. Hist. Phil. Sci., Vol. 17, No. 4, pp. 469-486.
- * _____, (1989), *Scientific Experiment and Legal Expertise: The Way of Experience in Seventeenth-Century England* en Stud. Hist. Phil. Sci. Vol. 20, Nr. 1: 19-45.
- * _____, (1995), *The Diffident Naturalist*, Chicago and London: The University of Chicago Press.
- Sarton, George, (1950), "Boyle and Bayle: the sceptical chemist and the sceptical historian", Chymia 3: 155-189.
- Schaffer, Simon, (1987), "Godly men and mechanical philosophers: souls and spirits in Restoration natural philosophy", Science in Context 1: 55-85.
- _____, (1993), *Glass Works: Newton's Prisms and The Uses of Experiment* en Gooding, 1993: 67-104.
- Schofield, M., (1940), "Robert Boyle, scientist", Chemistry and Industry 59:615-619.
- Segre, Michael, (2000), "Evangelista Torricelli", en Scribner's, 2000: 646-648.
- Shanahan, Timothy, (1988), *God and Nature in the Thought of Robert Boyle*, Journal of the History of Philosophy, 26:4, October, pp. 547-569.
- Shapin, Steven, (1984), "Pump and circumstance: Robert Boyle's literary technology", Social Studies of Science 14: 481-520.
- _____, (1988), "Robert Boyle and mathematics: reality, representation and experimental practice", Science in Context 2: 23-58.

- _____, (1993), "Personal development and intellectual biography: the case of Robert Boyle", British Journal for the History of Science 26: 335-345.
- * _____, (1995), *A Social History of Truth*, Chicago & London: The University of Chicago Press.
- * _____, (1996), *The Scientific Revolution*, Chicago: The University of Chicago Press.
- * _____, (1997), "The house of experiment in seventeenth-century England" en Dear, 1997: 273-304.
- * _____ y Schaffer, Simon, (1989), *Leviathan and the Air-Pump*, Princeton: Princeton University Press.
- * Shapiro, Barbara J., (1991), "Beyond Reasonable Doubt" and "Probable Cause". *Historical Perspectives on the Anglo-American Law of Evidence*, Berkeley: University of California Press.
- * _____, (2000), *A Culture of Fact: England, 1550-1720*, Ithaca and London: Cornell University Press.
- Sootin, Harry, (1963), *Robert Boyle, Founder of Modern Chemistry*, London: Chatton & Windus.
- Stewart, M.A., (1978-82), "The authenticity of Robert Boyle's anonymous writings on reason", Bodleian Library Quarterly 10: 280-289.
- _____, (1981), "Locke's professional contacts with Robert Boyle", Locke Newsletter 12: 19-44.
- Strube, I., (1967), "The role of ancient atomism in the revolution of chemical research in the second half of the seventeenth century", Organon 4: 127-132.
- Turner, H. D., (1959), "Robert Hooke and Boyle's air pump", Nature 184: 395-397.
- * Van Helden, Anne C., (1998), *Air Pump en Bud*, Robert y Deborah Jean Warner, (eds.), Instruments of Science. An Historical Encyclopedia, New York & London: Garland Publishing, Inc.
- * _____, (2000), *Air Pump*, en Applebaum, Wilbur, (ed.), Encyclopedia of the Scientific Revolution. From Copernicus to Newton, New York & London: Garland Publishing, Inc.

- *Van Leeuwen, Henry G., (1970), *The Problem of Certainty in English Thought, 1630-1690*, The Hague: Martinus Nijhoff (International Archives of the History of Ideas No. 3).
- Von Leyden, W., (1979), "Cap. IV: La Filosofía" en Cambridge University Press, 1979-V: 53-86.
- Walden, P., (1950), "Robert Boyle (1627-1691) und die physischen Wissenschaften", Naturwissenschaften 37: 169-172.
- Walton, M. T., (1980), "Boyle and Newton on the transmutation of water and air from the root of Helmont's tree", Ambix 27: 11-18.
- Webster, Charles, (1963), "Richard Towneley and Boyle's law", Nature 197: 226-228.
- _____, (1965a), "The discovery of Boyle's law and the concept of the elasticity of the air in the seventeenth century", Archives for History of Exact Sciences 2: 441-502.
- _____, (1965b), "Water as the ultimate principle of nature: the background to Boyle's Sceptical Chymist", Ambix 13: 96-107.
- _____, (1975), *The Great Instauration: Science, Medicine and Reform, 1626-1660*, London: Duckworth.
- West, Muriel, (1961), "Notes on the importance of alchemy to modern science in the writings of Francis Bacon and Robert Boyle", Ambix 9: 102-114.
- West, N., (1992), "Robert Boyle (1627-91) and the vacuum pump", Vacuum 43: 283-286.
- Westfall, Richard S., (1956), "Unpublished Boyle papers relating to scientific method" Annals of Science 12: 63-73, 103-117.
- _____, (1973), *Science and Religion in Seventeenth-Century England*, Ann Arbor: University of Michigan Press.
- * _____, (1997), *Science and Technology during the Scientific Revolution: an Empirical Approach* en Field y James, 1997: 63-72.
- * _____, (1998), *The Construction of Modern Science*, Cambridge: Cambridge University Press.

Wintroub, Michael, (1997), "*The looking glass of facts: collecting, rhetoric, and citing the self in the experimental natural philosophy of Robert Boyle*", History of Science 35: 189-217.

*Wojcik, Jan W., (1997), *Robert Boyle and the Limits of Reason*, New York: Cambridge University Press.

_____, (2000), *Pursuing Knowledge: Robert Boyle and Isaac Newton en Osler*, 2000: 183-200.

Wood, P. B., (1988), "*Behemoth v. the Sceptical Chymist*", History of Science 26: 103-109.