

---

## EL VACÍO DE GUERICKE Y SUS VIRTUDES

---

**JOAQUÍN PELKOWSKI**

Institut für Meteorologie und Geophysik der Johann Wolfgang Goethe-Universität, Frankfurt a.M. Robert-Mayer-Straße 1, D-60325 Frankfurt am Main

---

**Pelkowski, J.** 2001: El vacío de Guericke y sus virtudes. *Meteorol. Colomb.* 4:127-138. ISSN 0124-6984. Bogotá, D.C. – Colombia.

---

### RESUMEN

El propósito del presente ensayo no es otro que el de conmemorar el cuarto centenario del nacimiento de Otto von Guericke, importante figura de la ciencia del siglo diecisiete. Su bomba de aire impulsó el desarrollo de diversas técnicas de vacío, no menos que la investigación empírica de las propiedades del aire: éste, de elemento aristotélico, pasa finalmente a ser, en el siglo dieciocho, una mezcla de diferentes componentes químicos. De las virtudes del vacío de Guericke, es digna de mención la creación de nubes artificiales.

**Palabras Clave:** Vacío de Guericke, nubes artificiales, bomba de aire.

### ABSTRACT

The purpose of the present essay is no other than to commemorate the 400th anniversary of Otto von Guericke's birth in 1602, an important figure in seventeenth century science. His vacuum pump initiated the development of sundry vacuum techniques, no less than the empirical investigation of the properties of the air: the latter, from being one of the four aristotelian elements, becomes, in the eighteenth century, a chemical mixture. Of the many virtues of Guericke's vacuum (usually called in the English literature, inaccurately, a Boylean vacuum), the production of artificial clouds is worth mentioning.

**Key Words:** Guericke's vacuum, artificial clouds, vacuum pump.

### 1. INTRODUCCIÓN Y SEMBLANZA

Nace Otto von Guericke hace 400 años a orillas del río Elba, en Magdeburgo. Y muere ennoblecido en 1686, en Hamburgo, a orillas del mismo río, como Otto von Guericke. Su fama universal descansa, al igual que la presión atmosférica, sobre dos célebres hemisferios, conocidos bajo el nombre de su ciudad natal. Honrar la memoria del ingenioso hidalgo teutónico, es lo que me propongo aquí, sin pretensiones de historiador. Que me baste con llamar la atención sobre algunos aspectos de la labor científica de un gran alcalde y hábil diplomático, cuyas misiones de paz en una época de crónicas guerras se recuerdan con oficiosa devoción sobre todo en Magdeburgo, aniquilada en 1631 por un valón<sup>1</sup>, jefe de truculentas tropas imperiales en la nefasta Guerra de los Treinta Años. Dicha ciudad está ubicada a unos 200 kilómetros al sureste de Hamburgo, donde, como ya se dijo, expiró el singular inventor de la bomba neumática y fundador de la física

experimental alemana. Cabe preguntar, ¿qué interés puede reclamar un alcalde e inventor en una revista dedicada a la meteorología? Las hazañas del alcalde y cónsul desde luego no justifican su mención en una revista científica. Pero las del ingeniero y primer representante teutónico de la *Nuova scienza*, influyeron decisivamente en el descubrimiento de fenómenos importantes relacionados con el aire de la atmósfera. En una historia de la meteorología, su nombre no podría faltar, y aunque sería más provechoso narrar la historia completa del establecimiento del principio del peso del aire, base de buena parte de la ciencia moderna del tiempo, y con el cual se derrocó al ubicuo principio aristotélico de la imposibilidad de un vacío, mi falta de competencia me obliga a cercenar esa historia, reduciéndola a algunas generalidades conectadas con ciertos aspectos de la obra de Guericke. Dejo para otra ocasión la historia del destronamiento del principio del *horror vacui*—la repugnancia de la naturaleza por el vacío—, principio peripatético que se remonta a Aristóteles (384-322) y que fue bautizado así por el franciscano inglés Roger Bacon (hacia 1215-1294). Sin em-

---

<sup>1</sup> Según recuerdo, el gentilicio de un grupo étnico en Bélgica.

bargo, mencionaré a otros científicos barrocos que participaron en la investigación *experimental* del vacío, y a algunos sabios que aprovecharon el potencial resultante, sin perder de vista el objetivo primordial de conmemorar una obra escasamente conocida en el ámbito de habla hispana.

Hace ya más de cinco lustros que oí hablar por primera vez de aquellos misteriosos hemisferios de Magdeburgo. Aún conservo el escueto texto mecanográfico de física que en quinto de bachillerato hubimos de utilizar, las *Lecciones de Física: Mecánica-Calor*, de Camargo Castro y Delgado Nieto. En la página 84 podemos leer: «El peso de la atmósfera hace que todos los cuerpos colocados dentro de la atmósfera estén sometidos a una presión. Esta presión se pone de manifiesto en numerosas experiencias. Ejemplos: [...] al sacar el aire de los hemisferios de Magdeburgo, es muy difícil separarlos.» Dudo que en ese entonces yo haya asimilado el sentido exacto de estas frases, como de muchas otras, lo cual no dejo de deplorar, pero esos «hemisferios de Magdeburgo» quedaron grabados en mi memoria. La palabra «experiencia» en la segunda frase citada no me parece acertada, porque no puede haber duda de que las experiencias de un Tales de Mileto, Leonardo da Vinci, o Galileo Galilei no bastaron para manifestarles la presencia del peso del aire. Se trata más bien de una experiencia particular, controlada y repetible, lo que en muchos idiomas se designa sin ambigüedad con una palabra equivalente a *experimento*, salvo en francés, que asombrosamente no admite la distinción, aunque su fonética permitiría acuñar la voz correspondiente. Es precisamente un rasgo distintivo de la revolución científica en el siglo XVII el haber desacreditado la especulación peripatético-escolástica como vía hacia la verdad o el conocimiento seguro, pregonando el lema de la famosa aunque efímera Academia del Cimento «provando e riprovando», e instaurando en su lugar el experimento científico junto con su matematización, aunque no siempre sin dejar de aferrarse a distintas tradiciones que hoy calificamos sin vacilar de irracionales.

El siglo XVII es una época de transición. Todavía se asaban a brujas y herejes<sup>2</sup>; un jesuita alemán, Ch. Scheiner (1573-1650), y un católico de Pisa, Galileo Galilei (1564-1642), mancillan el immaculado disco solar; la Luna se arruga (ante los ojos toscanos de Galileo, revelando indecentes anfractuosidades orográficas), y los perfectos círculos platónicos de la astronomía ptolemaica y copernicana se deforman en manos de un protestante, J. Kepler (1571-1630), para dar paso a excéntricas elipses. El ojo humano, armado de un telescopio, penetra en las lontananzas de un espacio que no deja de ahondarse espantosamente, y el microscopio magnifica un insólito microcosmos, dejando estupefactos y espeluznados a los testigos oculares de los secretos anatómicos de una pulga. Es un siglo lleno de innovadores y reformadores, pero al mismo tiempo de tradiciones mágico-herméticas y escolásticas, cuyas huellas a menudo se pueden discernir incluso en los nuevos espíritus.

La vida de Guericke se inserta en esa fase de transición, extendiéndose desde el año de 1602 hasta el año en que Isaac Newton (nacido en 1643, según el calendario reformado, fallecido en 1727) concluye su monumental *Philosophiae naturalis principia mathematica*, obra cumbre de la ciencia moderna, que se publica un año después, en 1687. La obra y el pensamiento de Guericke reflejan ese espíritu de transición.

Guericke estudia en Leipzig, pero la guerra de los Treinta Años lo lleva a la ciudad cercana de Helmstedt. La muerte temprana del padre lo obliga a regresar a Magdeburgo; estudia en 1621 jurisprudencia en Jena y luego viaja a Leiden, en Holanda, donde estudia las matemáticas y el arte de la fortificación (que equivalía a una carrera de ingeniería). De aquella ciudad progresista y afamada, se lanza a un viaje de nueve meses por Inglaterra y Francia. Regresa a su ciudad natal, donde es nombrado consejal y ministro de obras, después de la devastación de Magdeburgo en 1631, en la que perdió todo menos la vida. Trabaja como ingeniero de obras, reparando puentes y erigiendo fortificaciones, tanto bajo dominio sajón como sueco. Su curiosidad científica parece datar de 1636, en que construyó un astrolabio, una balanza de agua y un globo celeste, testimonios de su interés por el sistema copernicano. También prestó valiosos servicios diplomáticos, obteniendo así privilegios burgueses, entre los que se cuentan los de un cervecero, privilegio que nos permite entender que en sus primeros esfuerzos por crear un vacío, Guericke se sirviera de unos barriles. Con faustos resultados para Magdeburgo culmina la fase diplomática hacia 1646, y Guericke es nombrado alcalde y como tal asiste al congreso de paz en Osnabrück y Münster. Su pericia diplomática y capacidad retórica se reflejará en su gran obra de septuagenario. En sus misiones diplomáticas aprovecha las frecuentes y largas interrupciones entre las negociaciones para meditar sobre cuestiones filosóficas. En Osnabrück se entera de la publicación de la obra cumbre de Descartes (1596-1650), *Les principes de la philosophie*, de 1644, en la que el autor inmortal del *Discours de la méthode* (1637), con su propia visión meteorológica en anexo, reitera su tesis sobre la identidad de sustancia y extensión, en un mundo colmado de una voraginosa materia sutil. Tanto Guericke como Newton se sienten llamados a refutar las tesis cartesianas, el primero rechazando la plenitud del mundo, y el segundo los vórtices que arrastran a los planetas en eterna circulación alrededor de sus respectivos soles.

A partir de 1646 Guericke se ve obligado a seguir luchando por los derechos que formalmente le habían sido concedidos, o reconocidos como legítimos, a Magdeburgo. Uno de esos viajes diplomáticos lo llevó a Regensburg, donde permaneció en 1653/54. Como Guericke no tenía suficientes recursos para sobornar a los príncipes electos, trataba de granjearse sus simpatías regalando maravillas mecánicas o artefactos curiosos. En el Congreso de Regensburg exhibió sus espectaculares experimentos con la bomba de aire, haciendo evacuar recipientes y produciendo inverosímiles efectos ante los atónitos ojos de monarcas y emperadores. Guericke, según los crónicas, se enteró allí a su vez, por boca del padre capuchino Valeriano Magni (1587-1668), que éste había realizado en la corte polaca donde trabajaba, habiendo publicado

<sup>2</sup> La madre de Kepler casi va a dar a una de las hogueras de la Inquisición. G. Bruno, promulgador de infinitos mundos, ardió en 1600, en medio de una bella plaza romana.

sus observaciones en 1647, los experimentos de Torricelli, de quien Guericke no había oído hablar, ni tampoco de Pascal.<sup>3</sup>

El príncipe electo de Maguncia, Juan Felipe, que era al mismo tiempo obispo de Wurtzburgo, le compró los artefactos a Guericke y encargó al jesuita Kaspar Schott (1608-1666), profesor de física y matemáticas, que repitiera los experimentos. Este publica, en 1657, su *Mechanica hydraulico-pneumatica*, donde describe con suficientes pormenores los experimentos que llamó de Magdeburgo, y que inspiraron a Robert Boyle (1629-1691) a imitarlos, pero con una máquina neumática de su propia factura, en la que supo aprovechar la destreza de un Robert Hooke (1635-1703), el célebre autor de la *Micrographia* (1665), en donde describe, entre muchas otras cosas, su higrómetro hecho de tripas de oveja.

Guericke, en ese mismo año, exhibe en Magdeburgo su famoso experimento de los hemisferios, que consiste en unirlos y evacuar la esfera resultante, atando luego a cada hemisferio sendas caballerías de dos a ocho y más caballos, según el diámetro de la esfera, y finalmente arreándolos a gritos y latigazos en direcciones opuestas, evitando que lograsen, en el peor de los casos, separar los hemisferios. Quedaba así demostrado el ingente peso atmosférico sobre la esfera vacía de aire. Es este el principio que se aprovecharía en las décadas siguientes para realizar trabajo mecánico mediante la presión de la atmósfera. El experimento sensacional de Magdeburgo cundió por toda Europa, mientras que los experimentos de Torricelli y Pascal parece que solo alcanzaron un círculo reducido de sabios, entre los cuales había muchos demasiado precavidos, que no deseaban correr el albur de las herejías.<sup>4</sup>

Antes de que, tras repetidas súplicas, se le otorgara a Guericke la jubilación en 1676, sus relaciones con el consejo de Magdeburgo se fueron deteriorando, debido a que no se le quería reconocer la inmunidad que anteriormente le habían garantizado como recompensa a sus méritos políticos. Años atrás, y gracias a sus méritos científicos, el emperador de turno lo había ennoblecido, y nuestro inventor firma a partir de 1666 como Otto von Guericke. Cansado de las rencillas con los consejales y huyendo ante una oleada de peste que golpeó a Magdeburgo a partir de 1680, se traslada en 1681 a Hamburgo, donde vivía su único hijo sobreviviente. Allí muere, en medio de los rezos de sus allegados, el 11 de mayo de 1686. Los despojos mortales son desplazados a Magdeburgo, pero sólo para terminar dispersados en las confusiones de futuras contiendas europeas.

3 En vista de que los experimentos italianos y franceses eran bien conocidos en los círculos eruditos, me cuesta trabajo creer que Guericke se hubiese enterado de su existencia apenas en 1653. Pero no hay quien lo ponga en tela de juicio, que yo sepa.

4 Cf. La nota anterior, que parece contradecir lo que acabo de afirmar. No tengo claridad acerca de la publicidad de los experimentos italianos y franceses, es decir, si trascendieron realmente el ámbito de los sabios, antes de los experimentos de Guericke, que sin duda alguna gozaron de una gran publicidad.

## 2. DE VACÍOS Y MÁQUINAS PARA REALIZAR TRABAJOS MECÁNICOS

Los poceros del siglo XVI se preguntaban por qué las bombas no elevaban el agua de los pozos por encima de los diez metros y pico. Algunos fontaneros florentinos esperan la respuesta del preclaro matemático del Gran Duque de la Toscana, Galileo Galilei, quien, en su afán de atacar a Aristóteles y redimir a su admirado Arquímedes, propone una explicación cuasi escolástica, basada en el *horror vacui*, pero imponiéndole un límite. No llegó a aceptar que el fenómeno pudiera deberse al peso del aire, como ya lo habían sugerido algunos.<sup>5</sup> En su influyente obra, escrita en la reclusión forzosa por orden de la Iglesia, hacia el final de su vida, *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno à due nuove scienze*, que se publicaron en 1638, pone en boca de Sagredo, la siguiente explicación<sup>6</sup>:

«Pero hasta ahora he sido tan poco perspicaz que, aunque sabía que una cuerda, una caña de madera o una varita de hierro, se pueden estirar hasta romperse bajo su propio peso, cuando se han sujetado por la parte superior, no se me había ocurrido que lo mismo sucedería, y con mayor facilidad, en el caso de una columna o tubo de agua. ¿No es, en suma, lo que es atraído en la bomba, un cilindro de agua que, halado por la parte superior, se alarga cada vez más, alcanzando finalmente un punto, más allá del cual se rompe como una cuerda, bajo su propio peso tornado excesivo?» A lo cual contesta uno de sus dos interlocutores, Salviati (que habla por el mismo Galileo): «Es así que las cosas suceden; y como esa altura de 18 codos fija de antemano el límite hasta el cual se puede mantener una cantidad de agua cualquiera — que las bombas sean anchas o angostas—, cada vez que pesemos el agua contenida en un de esos tubos de 18 codos, obtendremos el valor de la resistencia debida al vacío...».

Para Galileo, pues, se trata de una propiedad intrínseca de cada material, que implica una resistencia a la ruptura bajo cierto peso. Según él, el agua se comportaba como una cuerda. Si se le obligaba a subir por «atracción», la cuerda se rompía bajo la acción de su propio peso. Pero Giovan(ni) Battista Baliani (1582-ca.1666), con quien Galileo mantuvo intensas relaciones epistolares, no quedó convencido, propugnando más bien una causa externa como lo es el peso del aire, una causa que ya había sido contemplada por el holandés Isaac Beeckman (1588-1637), primero en su diario privado, en 1613, y públicamente en 1618, pero sin mayores repercusiones (de Waard, 1936)<sup>7</sup>. Los argumentos de Baliani merecen ser recordados. Baliani escribe a Galileo en 1630 (Festa, 1998): «Estamos al fondo de la inmensidad [de aire] y no

5 No podía admitir el peso del aire, porque su propia aplicación del principio arquímedico del empuje implicaba que el aire (en reposo) no tenía peso, a diferencia de lo que habían supuesto incluso Platón y Aristóteles.

6 Traduzco, no del original italiano, que ignoro, sino de la versión francesa de Clavelin (1995).

7 «Aque sudu sublata non attrahitur vi vacui, sed ab aere incumbente in locum vacuum impellitur», ver de Waard (1936). La «vi vacui» es la «forza del vuoto» que encontramos en la obra de Galileo.

sentimos ni su peso ni la compresión que ejerce de todos lados sobre nosotros, puesto que nuestro cuerpo fue hecho por Dios de tal manera que pueda resistir esa compresión [...]. [Este peso], que debe ser muy grande, no es, sin embargo, infinito. [...] Con una fuerza de proporción conveniente, debería ser posible superarlo y así provocar el vacío. Quien desee encontrar esta proporción debería conocer la altura del aire y su peso en diferentes alturas.» Y acaso sea apropiado recordar lo que Descartes, quien conocía a Beeckman, escribió en una carta al padre Mersenne (1588-1648), del 11 de octubre 1638, donde evalúa el libro y el pasaje mencionado de Galileo (**Descartes**, 1953): «Lo que atribuye al vacío, no se debe imputar sino a la gravedad del aire.»

Estas asombrosas intuiciones no reverberan con suficiente fuerza hasta que, en 1644, se ocupa del asunto el genial discípulo y sucesor de Galileo, Evangelista Torricelli (1608-1647), el cual, tal vez familiarizado con las ideas de Baliani, plantea la teoría de que vivimos inmersos en un mar de aire de unas cincuenta millas de profundidad, ejerciendo sobre su fondo un peso igual al de 18 brazas de agua. En una carta célebre dirigida a su mejor amigo en Roma, Michelangelo Ricci (1619-1682), que data del 11 de junio de 1644, se encuentra la frase que tanto ha deleitado a algunos historiadores: «Noi viviamo sommersi nel fondo d'un pelagio d'aria elementare»<sup>8</sup>. Un poco antes, en la misma carta, escribía Torricelli: «Yo, por mi parte, discurro así: si hubiese de apuntar a una causa manifiesta que explicara la resistencia con que se tropieza al querer hacer el vacío, me parecería estúpido tratar de atribuir tal acción al propio vacío, puesto que es evidente que se debe a otra causa distinta; antes bien, sobre la base de ciertos cálculos muy fáciles, encuentro que la causa que yo sugiero (a saber, el peso del aire) debería por sí sola tener un efecto mucho mayor que el observado al intentar producir un vacío.»<sup>9</sup> Con la colaboración del último discípulo de Galileo, Vincenzo Viviani (1622-1703), Torricelli sustituye el agua, en lugar de la columna equilibrante del peso del aire, por el mercurio ("argento vivo"), líquido casi catorce veces más denso que aquél, lo que permite una reducción correspondiente de la altura del tubo empleado. El tubo de Torricelli tiene una altura de menos de un metro, pues los 10.5 m de agua equivalen a unos 760 mm de mercurio. Resultó así un aparato mucho más manejable, que Torricelli convirtió, graduándolo, en un barómetro, cuya importancia para la meteorología fue y sigue siendo enorme (**Middleton**, 1964).

8 Para un facsímil de la breve correspondencia entre Torricelli y Ricci, véase Hellmann (1897). Para la traducción de las cartas al español, véase el apéndice en Elena (1984). "Pelagio" es fácil de adivinar, si recordamos que en nuestra lengua existe "piélago" (mar).

9 Para el meteorólogo es de interés el siguiente pasaje, al final de la primera carta a Ricci: «Por lo demás, no he logrado mi propósito fundamental, que no era otro sino poder determinar por medio del instrumento cuándo el aire es más espeso y pesado y cuándo más sutil y liviano, puesto que el nivel [del mercurio] varía debido a otra causa (que yo jamás hubiera imaginado): el frío y el calor, que producen alteraciones considerables, exactamente igual que si el vaso [espacio encima del mercurio] estuviera lleno de aire.» Véase **Elena** (1984).

El eco suscitado por el experimento de Torricelli fue muy grande en Italia y, un poco más tarde, en Francia y Polonia. Pero antes de pasar a considerar los logros franceses, vale la pena llamar la atención a una figura un tanto descuidada en la historia de la producción de un vacío.

Unos tres años antes que Torricelli, Gasparo Berti (hacia 1600-1643), seguidor y admirador de Galileo, deseando arrojar alguna luz sobre el fenómeno descrito por Galileo en el pasaje citado, llevó a cabo un experimento en su casa en Roma. Utilizó agua en un tubo de plomo de unos once metros de altura, y efectivamente, pudo comprobar cómo el agua se alzaba hasta una altura de 18 brazas, sin llegar a llenar el balón de cristal que se encontraba en la parte superior del tubo. La presencia de los padres jesuitas Niccolo Zucchi (1586-1670) y Athanasius Kircher (1602-1680) impidió la divulgación de los resultados durante aproximadamente ocho años. De hecho, la falta de agua en la parte superior del tubo contradecía uno de los principios fundadores de la física aristotélica: la inexistencia del vacío. Pero los eruditos de la Compañía de Jesús sólo enseñaban esa física en sus colegios.

El mérito particular de Torricelli fue el de admitir que la causa efectiva de la resistencia ofrecida por la naturaleza a las tentativas de hacer un vacío se debían probablemente al peso del aire. Se trataba de una opinión temeraria, tanto porque contradecía las opiniones reinantes como por venir de parte de un discípulo de Galileo, puesto que desmentía las hipótesis avanzadas por el maestro.

Tres años después del experimento florentino, Zucchi publica una descripción del experimento romano, en forma de cartas a un padre jesuita francés, pero, como era de esperar, la explicación propuesta excluía la aparición de una región vacía en el interior del tubo. Los jesuitas, sabios integrantes de la Contrarreforma y recelosos de todo que pudiera poner en peligro sus concepciones heredadas, lucharon enconados y en primera fila contra el vacío. En un mundo creado por una Divinidad, no podía haber vacío alguno, predicaban los miembros de la Compañía, especialmente los del Colegio Romano. Torricelli no participó en el debate. En las dos cartas dirigidas a Michelangelo Ricci, expone detalladamente el despliegue del experimento, mas no asume una posición frente al debate filosófico suscitado por la aparición del vacío. Nunca mencionó el experimento del *argento vivo* en sus escritos. Fuera de las dos cartas, no hay rastro de esos problemas en su correspondencia privada. Se diría que por prudencia, ya que para los tenientes de la ortodoxia católica el vacío remitía a los epicúreos, sin fe ni moral. Quizás el experimento de Torricelli alimentaba sospechas de herejía, y, proyectado sobre el cosmos, el vacío torricelliano comprometía seriamente el mundo de las esferas donde no había lugar para el vacío. Precisamente esta cuestión cosmológica es la que suscitó el prurito irrecusable en Guericke de investigar la naturaleza de los descomunales espacios siderales, llevándolo a crear y demostrar la factibilidad de un vacío "artificial".

Francia, por intermedio de esa "academia ambulante" que era el padre Mersenne, toma la antorcha de la investigación del vacío, y en 1646 se repite en París el experimento florentino, con escaso éxito al principio (debido, según

los historiadores, a los mediocres vidrieros parisinos). En cambio, en Rouen, con sus excelentes vidrieros y sus reputadas cristalerías, el ingeniero Pierre Petit logra repetir el “experimento italiano”, del cual es testigo presencial el joven Blaise Pascal (1623-1662). «Al año siguiente, el joven Pascal, beneficiándose de la existencia en la ciudad de las más avanzadas técnicas de soplado de vidrio, pudo disponer de tubos de hasta 15 m con una perforación uniforme, a fin de llevar a cabo experimentos no sólo con mercurio, sino también con agua y vino, mostrando dramáticamente en público cómo la altura alcanzada por la columna líquida era tanto mayor cuanto menor fuese la densidad de la substancia empleada. Por una u otra razón, tal vez por la inevitable presencia en Francia de un genio del plenismo como era R. Descartes, en ese país las investigaciones y polémicas se centraron sobre el problema del vacío, mientras que en Inglaterra, menos dada por mor del baconismo a acalorarse por discusiones en torno a cuestiones doctrinales metafísicas, se ocuparon más bien de la elasticidad o fuerza del aire comprimido o rarificado.» (Solís, 1985).

Pascal concluía que sus experimentos demostraban la existencia de un vacío *coacervado* (o vacío macroscópico, en contraposición al mucho más aceptable vacío *diseminado* entre los átomos). No abogaba todavía por el peso del aire como causa de tal vacío, vacilando entre varias explicaciones. En septiembre de 1647 Pascal debate con Descartes la posible causa de los vacíos, y éste le sugiere un experimento clave (véase carta del 13 de diciembre de 1647, dirigida a Mersenne, en **Descartes**, 1953): «Informé al Sr. Pascal que ensayara si el mercurio subía igualmente, que uno se halle en la cima de una montaña o al pie de ella; no sé si habrá realizado el experimento.» El famoso experimento, sugerido por Descartes y proyectado por Pascal, fue realizado por su cuñado Périer en el Puy-de Dôme, montaña de unos 1000 metros de altura, con éxito contundente. Escribe Pascal a Périer el 15 de noviembre de 1647 (**Hellmann**, 1893; **Pascal**, 1954; **Elena**, 1984): «He ideado [un experimento] que bien podría darnos la luz que buscamos si pudiéramos llevarlo a cabo con precisión. Se trata de realizar el habitual experimento del vacío varias veces en el mismo día, en el mismo tubo y con el mismo mercurio, pero unas veces al pie de una montaña de al menos 500 ó 600 toesas [unos 1000 a 1200 metros] y otras en su cima, con el objeto de comprobar si la altura del mercurio suspendido en el tubo es parecida en una y otra situación o, por el contrario, difiere. Sin duda habréis advertido ya que este experimento es decisivo para la cuestión y que, si resultara que la altura del mercurio es menor en la cumbre que al pie de la montaña (conforme tengo muchas razones para creer, por más que cuantos han reflexionado sobre el problema piensen lo contrario), entonces se seguirá necesariamente que el peso y la presión del aire constituyen la única causa de la suspensión del mercurio, y no así el horror al vacío, pues es evidente que al pie de la montaña hay mucho más aire que pese que en lo alto de la misma y, sin embargo, no cabría decir que la naturaleza aborrece más al vacío abajo que en la cima.» A esto contesta Périer el 22 de septiembre de 1648 (**Elena**, 1984): «Por fin he hecho el experimento que durante tanto tiempo habéis deseado. Os hubiera dado mucho antes esta satisfacción de no haber sido porque

me lo impidieron tanto mis ocupaciones en el Borbonesado como el hecho de que desde mi llegada el Puy-de-Dôme, cumbre en la que debía realizarlo, ha estado cubierto por la nieve o por la niebla hasta el punto que —aún siendo ésta la estación más hermosa del año por estos contornos— raro ha sido el día en que he podido vislumbrar su cima, casi siempre entre las nubes o incluso por encima de ellas, aunque al mismo tiempo haga bueno en el campo. Así, pues, hasta el día 19 de este mes no logré conjugar mis conveniencias con las de la estación; empero, la satisfacción con la que lo hice ese día me ha consolado plenamente de la pequeña desazón que tantos retrasos inevitables me habían procurado.» Después de una minuciosa descripción del meticoloso experimento, Périer saca sus conclusiones, de las cuales sólo cito esta: «Por consiguiente, resulta que una elevación de unas 7 toesas [unos 14 metros] arroja una diferencia de media línea [aproximadamente 1.13 mm de mercurio] en la altura del mercurio.» Pascal escribe en su histórica *Relación del gran experimento del equilibrio de los líquidos*, publicada en 1648, y que contiene las cartas de las cuales he citado los pasajes anteriores<sup>10</sup>, con un orgullo contagioso: «Querido lector, el consenso unánime de los pueblos y la gran mayoría de los filósofos apuntan al establecimiento del siguiente principio: la naturaleza preferiría verse destruida antes que admitir el menor espacio vacío. Algunos espíritus más refinados han sido más moderados, y aun pensando que la naturaleza siente horror al vacío, han creído sin embargo que esta repugnancia tenía límites y que podía ser superada con cierta violencia. No obstante, todavía no ha habido nadie que haya suscrito esta tercera opinión, a saber: que la naturaleza no siente ningún tipo de repugnancia al vacío, que no se esfuerza en lo más mínimo por evitarlo y que lo admite sin dificultad y sin oponer resistencia.» Pascal ofrece un bello ejemplo del nuevo método que se presentaban a seguir los artífices de la nueva ciencia: «Pero, a la postre, la fuerza de los experimentos me ha obligado a abandonar aquellas ideas a las que por respeto a la antigüedad había sido fiel. Y aún así las he ido abandonando muy poco a poco y sólo me he separado de ellas de forma gradual: del primero de estos tres principios, que la naturaleza siente un horror insuperable al vacío, he pasado al segundo, que tal horror se daba mas no era insuperable, y de ahí he acabado por llegar finalmente al tercero, que la naturaleza no siente ningún tipo de horror al vacío.»

El descubrimiento del peso del aire como la causa del “horror al vacío” fue trascendental. Se empieza a experimentar con distintos vacíos parciales, y se realizan muchos experimentos en el vacío, como por ejemplo el de una vejiga de carpa que se hincha en el vacío torricelliano (experimento de Roberval, ver **Solís**, 1985). Pero entra en escena nuestro héroe: «...el paso más importante se dió con la bomba de vacío o máquina neumática, inventada por O. von Guericke y notablemente perfeccionada por el ayudante de Boyle, Robert Hooke. Con ella, por primera vez, se podía controlar en el laboratorio la presión ejercida por el aire y, lo que es más importante, liberar al experimento torricelliano del peso de la atmósfe-

10 Ver el facsímil en **Hellmann** (1893); o bien **Pascal** (1954); o bien **Elena** (1984) para la traducción.

ra como variable independiente. Cuando se mete ahora un barómetro en la campana de la bomba de aire, no se obtiene ya un equilibrio de pesos, sino un equilibrio entre la fuerza de la gravedad del mercurio y la *elasticidad* del aire encerrado, capaz de ejercer una presión medida justamente por la altura de la columna de mercurio que soporta» (Solís, 1985). Guericke, a quien inicialmente no interesaban las propiedades del aire, sino la posibilidad de un vacío en nuestro mundo sublunar, fue el primero en *hacer* lo que en la literatura anglosajona se ha dado en llamar, impropriamente, el vacío boyleano (o de Boyle). En sus primeros ensayos al respecto, trató de producir un vacío bombeando agua de un barril, con una bomba de succión ingeniosamente adaptada a la nueva tarea, pero se encontró con que el aire se filtraba en el barril; intentó evacuar un pequeño barril dentro de uno más grande, lleno de agua, y así, nos informa produjo sin duda un vacío (Schimank et al., 1968). Sin embargo, «se escuchaba un sonido variable, intermitente, cual dulce gorjeo de pájaro, y esto durante tres días». Encontró que se había llenado nuevamente de agua el pequeño barril. Buscó entonces evacuar un recipiente hecho de otro material que la madera, y encargó a unos artesanos de Magdeburgo una esfera de cobre. Trató entonces de bombear directamente el aire, pero resultaba que la esfera «implotaba» arrugándose, chasco que Guericke achacó a la incapacidad de los artesanos para construir una esfera perfecta.<sup>11</sup> Con una esfera de paredes más gruesas, logra finalmente crear un vacío. Guericke descubrió en esos tanteos que el vacío, o más bien la presión de la atmósfera, podía ejercer una fuerza mecánica tremenda. Ya mencionamos en la introducción el famoso experimento de los hemisferios de Magdeburgo, en el que dos hemisferios metálicos, cuando se hacían encajar y se producía el vacío en su interior, no podían ser separados por medio de una recua de dieciséis caballos, demostrando así la ingente presión atmosférica que los mantiene unidos.

Más importantes, sin embargo, resultaron ser los experimentos modificados, prescindiendo de los sensacionales pero dispendiosos caballos: una horca en el jardín de su casa con corchetes, corchetes, poleas, sogas, cilindros, émbolos y plataformas, etc. Menciono sólo la más interesante de las variantes: un cilindro del mismo diámetro que los cacareados hemisferios, con un pistón o émbolo bien ajustado y móvil, firmemente aferrado a una viga empotrada en la horca, y colocado paralelamente a la barra vertical de la misma; el extremo superior de una varilla fuerte, unida al émbolo, estaba atado con una cuerda gruesa que, deslizándose por una polea, terminaba ramificándose para que unos 20 ó 30 hombres cuajados pudieran tirar de él. Guericke empalmó del tal modo el cilindro y un recipiente grande previamente evacuado, y cuando abría la llave (del enchufe), el aire dentro del

cilindro se precipitaba hacia el recipiente evacuado, quedando un espacio muy enrarecido en el cilindro, y el émbolo cedía bajo la presión del aire exterior, con tal vehemencia, que los pobres hombres perdían su orgullosa postura y eran atraídos hacia la horca. Así, de los experimentos de Guericke se desprendería que si se pudiese producir un vacío por algún medio mecánico, sería posible obtener una cantidad considerable de energía mecánica, gracias sólo a la presión atmosférica.

Lo interesante de esta demostración de la fuerza de la presión atmosférica es el papel *activo* que la presión aérea desempeña; en otro experimento Guericke se sirvió de una plataforma con cierta cantidad de pesas y demostró que a raíz de la evacuación se elevaba aquélla. Este experimento inspiró al versátil y eminente físico holandés Christiaan Huygens (1629-1695), quien tuvo la idea de incluir un dedal de pólvora en el fondo del cilindro. Se encendía la pólvora y el humo salía expulsado por una válvula (de retroceso), creándose así un espacio enrarecido, causando el descenso del émbolo, que su vez hacía ascender el émbolo de una bomba de succión que sacaba agua de un pozo (o del Sena en París, donde investigaba Huygens entonces). La máquina de Huygens no se llegó a poner en práctica, pero su mañoso asistente, Denis Papin (1647-1712), mejoró el método de producir un vacío. Este inventor de la olla de presión o exprés, en lugar de pólvora, prefirió una delgada película de agua en el fondo del cilindro, el cual, al verse sometido a la acción del fuego, se evaporaba (o vaporizaba), empujando así el émbolo hacia arriba; en su posición superior, se trababa éste, que estaba trabado con una bomba de succión; enfriando luego el cilindro con agua, se lograba la condensación del vapor y la presión dentro del cilindro caía, y con ella el émbolo, actuando la bomba de succión como en el caso de la bomba de Huygens. Finalmente, se descolgaba el cilindro y se reemplazaba por otro previamente calentado, cuyo enfriamiento provocaba otro embolazo, y así sucesivamente. Este proceso cíclico prefigura lo que llegaría a convertirse en el emblema por excelencia de la revolución industrial, la máquina de vapor, con sus émbolos subiendo y bajando regularmente.

Papin, a quien pocos recordarán como el descubridor de la dependencia del punto de ebullición de la presión, emitió la idea que la energía mecánica podría transmitirse a considerables distancias por medio de un vacío que actuase a lo largo de un tubo. Esta idea se podía realizar, según Hooke, a quien Papin conoció durante su colaboración con Boyle, mediante la condensación de vapor de agua, y la idea influyó en Thomas Newcomen (1663-1729), herrero de Dartmouth que trabajaba en el tema, y con quien Hooke se puso en contacto al final de su vida (murió en 1703). Se desconocen los detalles de la obra de Newcomen, pero en algún momento de la primera década del siglo XVIII desarrolló su máquina atmosférica de vapor, la primera máquina eficiente que convertía calor en energía a gran escala (Mason, 1985). Producía el vapor en una caldera separada y lo conducía a través de un enchufe o llave hacia el cilindro cerrado por un pistón. Se admitía en el pistón la entrada de vapor a baja presión, condensándose luego por medio de un pequeño pulverizador de agua. De este modo se creaba un vacío

11 Este dato es interesante como ejemplo de la creencia en la estabilidad mecánica de una esfera perfecta, como las que conformaban el universo en el sistema ptolemaico (¿perfección que acaso se buscaba realizar en la arquitectura de las bóvedas?). Si tenemos en cuenta esto, nos es más fácil aceptar la fantástica hipótesis, debida posiblemente primero al astrónomo Halley (1656-1742), que reinó durante mucho tiempo, de que las nubes estaban compuestas de burbujas, en lugar de gotitas, como ya había supuesto Aristóteles y como sabemos hoy.

parcial en el cilindro, y así la presión de la atmósfera podía actuar sobre el pistón que tiraba de un balancín, cuyo otro brazo enlazaba con el varillaje de una bomba, haciendo subir el émbolo de ésta y actuándola. Finalmente, se conectaba nuevamente con la caldera para que entrara otra vez el vapor, y se repetía la operación.

La máquina de Newcomen llegó a construirse en 1712. Se empleó en el drenaje de las minas de carbón, con buen éxito. Desde 1720 empezaron a exportarse al extranjero. Era muy superior a la máquina de vapor de Savery (hacia 1650-1715), ingeniero inglés que había construido en 1698 una bomba de vapor, designada como «amigo del minero», y que se llevó a la práctica en muchas minas. Estaba basada en el principio del mago italiano Giambattista della Porta (1534/35-1615), quien hacia finales del siglo dieciséis describió un artilugio para elevar agua mediante la presión del vapor. En la antigüedad, Herón de Alejandría (siglo I de nuestra era) había empleado la energía derivada del aire caliente y del vapor para hacer funcionar sus juguetes mecánicos y, durante el Renacimiento, Leonardo da Vinci (1452-1519) había diseñado un cañón que funcionaba con vapor.

La máquina de Newcomen, no obstante su éxito, no dejó de incitar a otros a mejorarla. Como cuenta **Mason** (1985), John Smeaton (1724-1792), el «primero de los ingenieros modernos», hizo modelos a pequeña escala de las máquinas, a fin de mejorar el rendimiento de las versiones en tamaño natural, variando las partes de que constaban, a fin de descubrir los factores de los que dependía su eficiencia. Más tarde, Smeaton construyó un pequeño modelo de la máquina de Newcomen y, entre 1769 y 1772, realizó unos ciento treinta experimentos distintos con ella, variando cada uno de los factores que afectaban a su rendimiento, mientras mantenía los demás constantes. Aplicando de este modo el método cuantitativo experimental, de acuerdo con el ya citado lema de la famosa academia florentina del Barroco, «proovando e riprovando», Smeaton mejoró notablemente las máquinas examinadas. El siguiente paso lo da el ingeniero escocés James Watt (1736-1819), que se percató de que los modelos pequeños de la máquina de Newcomen eran menos eficientes que las máquinas grandes. Watt y otro escocés, Joseph Black (1728-1799), gran médico y químico, inmortalizado por su descubrimiento del calor latente que interviene en los cambios de fase y por haber destilado la noción de calor específico, reconocen que en la máquina de Newcomen se desperdiciaba una gran cantidad de calor, dado que cada nueva carga de vapor tenía que calentar un cilindro que se había enfriado durante la condensación previa. A partir de las nuevas nociones de Black, el calor latente de la conversión del vapor de agua y el calor específico de los materiales del cilindro, Watt calcula la cantidad de vapor desperdiciado por máquinas de diferentes tamaños, mostrando que la pérdida era mayor en los modelos menores, en los que la proporción entre el área de la superficie del cilindro y su volumen es mayor que en las máquinas grandes.

Para evitar además el despilfarro de vapor, Watt mantuvo el cilindro principal de la máquina de vapor permanentemente a la misma temperatura elevada, condensando el vapor en una cámara separada, que se mantenía a tem-

peratura baja, de manera que no se perdía vapor para calentar de nuevo el cilindro en cada embolada. El gran éxito de Watt, nombre legendario en esta revolución industrial, fue precisamente el haber logrado cuadruplicar el rendimiento de la máquina de Newcomen.

La cuestión del rendimiento quedaba planteada. En las constataciones de Watt vemos dibujarse los elementos de la termodinámica clásica, creada por el joven genio Sadi Carnot (1796-1932), cuya singular obra de 1824, *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*, muy cotizada hoy en día, está basada en idealizaciones teóricas de precisamente aquellos cilindros, pistones, ciclos, gases o vapores, y en las dos temperaturas mencionadas en el párrafo anterior, entre las cuales el malogrado francés intercala una suave cascada, o incluso, para alcanzar un rendimiento teóricamente óptimo, una rugiente catarata de calórico.

De los hemisferios de Magdeburgo al ciclo de Carnot, o de la fuerza del aire atmosférico a la termodinámica clásica: una fascinante historia que relegaremos a una propicia ocasión futura.

### 3. RETAZOS DE LA OBRA Y CORRESPONDENCIA DE GUERICKE

La obra principal de Otto de Guericke se publica, tras muchas demoras, en 1672. La página titular reza, en mi traducción, así: «Ottonis de Guericke EXPERIMENTA NOVA (ut vocantur) DE VACUO SPATIO, publicados por vez primera por el reverendo Padre Gaspare Schotto (Kaspar Schott), Sociedad de Jesús, profesor de matemática en la Universidad de Wurtzburgo y publicados ahora por el autor, pero más completos, incluyendo un número de experimentos adicionales. /Con otros sujetos agregados, concernientes al peso del aire alrededor de la Tierra, las virtudes mundanas, el sistema planetario, así como las estrellas fijas y el inmenso espacio que se extiende tanto dentro como fuera de ellas. 1672, Amsterdam (con privilegio de su majestad imperial).»

Lo que sigue es la traducción de unas pruebas del tercer libro de esta obra, mas no del original latín, que no entiendo, sino del alemán de **Schimank et al.**, (1968). Compárese también la reciente versión en inglés, de **Ames** (1994). Para mi traducción fue necesario consultar ocasionalmente otras traducciones al alemán, pero no hace falta mencionarlas.

#### LIBRO III : EXPERIMENTOS PROPIOS

##### CAPÍTULO 1: Origen, naturaleza y propiedades del aire

Expondremos de antemano nuevos hechos asegurados acerca del aire, para mejor comprensión de nuestros experimentos, que demostraremos en los capítulos siguientes.

El aire es una especie de virtud corpórea que emana del agua y de la tierra y de otras sustancias materiales hacia

el espacio circundante. O dicho de otro modo: el aire no es otra cosa que el hálito u olor o emanación de las aguas, tierras y otras sustancias corpóreas. Esto es particularmente evidente al agitar agua u otro fluido, revolviéndolos o azotándolos (como lo demuestra la experiencia, por ejemplo, que mediante la caída de agua pueden ser producidos el viento y los sonidos del órgano), por cuanto exhalan más que de otra manera un olor o bruma, que no es otra cosa que aire, al igual que ocurre con los cuerpos húmedos que se pudren o fermentan. Por ello no se puede considerar al aire como un elemento, ya que no es más que un efluvio.

El aire ordinario, que emana de aguas y tierras, a pesar de no ser más que una exhalación del suelo, no es percibido por nuestro sentido del olfato, porque estamos acostumbrados a él desde nuestro primer momento de vida, y es en el que continuamos viviendo. En cambio, sí olemos exhalaciones de otros cuerpos que producen vapores y que se han mezclado con el aire ordinario y que se distinguen el uno del otro de acuerdo con su condición innata y nuestra propia naturaleza.

Todo aire y toda exhalación es de hecho algo corpóreo, pero muy fino y capaz de difundirse y expandirse.

Toda la envoltura de aire que rodea a la Tierra es la esfera de acción de esa virtud corpórea. En otras palabras, aire es una exhalación corpórea que envuelve a la Tierra y en la cual se encuentran los seres que viven en su superficie.

El aire o vapor, una vez que se haya elevado del agua u otras cosas, no vuelve a ser agua, sino que perdura como aire. Aun cuando la condensación de humedad, que gracias al calor solar o la brasa del fuego dentro de las capas inferiores de aire, se había evaporado, se vuelve a convertir en agua, el aire no se transforma en agua. De ello se puede persuadir uno por la evidencia, tanto por los experimentos que describiremos en el capítulo dos como cuando hace mucho frío en invierno, donde el aire parece fulgurar con átomos centelleantes, lo cual se debe a las tiernas partículas de agua dispersas y suspendidas en el aire, y que luego se separan de éste por congelación. El aire mismo, no obstante, jamás se congela.

El aire se dilata más o menos según el mayor o menor grado de calor que tenga. El aire cálido, por consiguiente, ocupa más espacio, y viceversa. Cuando los filósofos llaman a este cambio de estado una rarefacción del aire, como suelen hacerlo, la terminología es inexacta, pues el aire no se dilata de tal forma que pudiera penetrar algo sólido, tras haberse vuelto más tenue, fino y más sutil en sí, sino que tan sólo ocupa más espacio. Por esta razón, cuando pierde calor, se contrae nuevamente y ocupa menos espacio. Así, el aire no aumenta o disminuye, sino la causa es el calor que el aire absorbe en mayor o menor grado y que cede cuando lo pierde.

Tal y como se dilata el aire gracias al calor, se condensa con la emisión de más y más calor, esto es, en virtud del frío, y entonces ocupa menos espacio.

Además posee el aire la propiedad de dejarse condensar mediante una compresión violenta, y de dilatarse nuevamente, tan pronto como se le conceda más espacio, como se verá en los experimentos.

(Esto lo vemos, por ejemplo, en las bolas infladas y en las fuentes, en los que el agua es expulsada hacia arriba mediante la compresión del aire. En este caso se fuerza, con una jeringa o a través de un tubo, tanto aire como sea posible, sin correr el peligro de que reviente; tan pronto se abre la llave de la fuente, el aire comprimido proyecta hacia arriba con fuerza el agua previamente introducida).

Pero tal como todas las cosas tienen sus determinados límites, también hay un valor final para el grado de compresión y rarefacción del aire, por encima o por debajo del cual no se puede realizar la operación. Así se puede comprimir el aire en un recipiente suficientemente robusto, ejerciendo repetidamente presión hasta tal punto que termina formando un cuerpo sólido, parecido al agua. Y viceversa, una burbuja de aire del tamaño de la cabeza de un alfiler se dilata en un recipiente evacuado, y de cien veces su tamaño original pasa a esfumarse finalmente en nada.

Siendo el aire que rodea la Tierra algo corpóreo y teniendo cierto peso, presiona sobre sí misma; efectivamente, el aire superior aprieta en grado creciente el aire inferior. De ahí se sigue que el aire aquí abajo que nos rodea está mucho más comprimido que el que está más arriba. Como lo más comprimido contiene más masa, y lo más másico es más pesado, el aire en superficie es por lo tanto más denso y pesado que el que está encima de las torres o de las montañas, y ciertamente el aire es tanto más liviano y enrarecido cuanto más elevada esté la capa donde se encuentra.

Es posible dividir, conceptualmente, el aire en pisos o capas. Cada especie de nubes, pesadas o livianas, ocupa un determinado lugar propio, según que su peso coincida con el de la capa en que se encuentre. Si en todas partes el aire se encontrara bajo la misma presión, tendría por doquier, tanto arriba como abajo, el mismo peso. Entonces no se podrían mantener las distintas nubes en distintos niveles, sino que, tal y como un cuerpo en el agua que, o se sumerge o flota, descenderían hasta la superficie de la Tierra o se elevarían hasta la frontera extrema de la esfera del aire.

En virtud de su peso el aire ejerce una presión casi invariable, no sólo sobre sí misma sino sobre todo lo que se encuentra debajo de ella. Nosotros no lo sentimos, porque vivimos en medio de ese aire que nos circunda con una presión homogénea, y que nos penetra al mismo tiempo. Y todavía menos que los peces el peso del agua, sienten los animales el del aire.

El peso del aire sobre la superficie terrestre equilibra el de una columna vertical de agua de 20 brazas de Magdeburgo<sup>12</sup>. Es decir, que el peso de una capa de agua de

<sup>12</sup> Aproximadamente 10 metros.

20 brazas de profundidad, ejercería sobre la superficie terrestre el mismo peso que el aire.

No obstante, no siempre posee el aire el mismo peso, sino que es más liviano después de una lluvia.

Si el aire fuese ingrávido, se escaparía volando de la Tierra, debido al movimiento anual de ésta. (De lo que es realmente el peso, se hablará más adelante en el Libro 4, Capítulo 5, donde se tratará de la virtud conservadora).

El aire aquí abajo siempre contiene algo de agua, ora más, ora menos, según el estado del tiempo.

Aunque el aire presiona sobre el agua, no lo hace hasta tal punto que penetre en ella, puesto que es más liviano que ella.

El aire modifica los cuerpos y es capaz de transportar tanto calor como frío, siendo susceptible de transmitir la luz, el sonido y los olores, no menos que de recibir la humedad, los vapores etc. ¡Actúa maravillosamente sobre lo animado y lo inanimado! A los seres los baña externamente, los protege, los humedece y refresca, con sus cambios sabiamente mensurados; penetra en sus interiores, y los mantiene vivos gracias a la respiración.

La causa de la elevación de la llama, los vapores y el humo no es una levedad inherente y propia a ellos, sino el peso del aire que los rodea. Esto hace que una llama, un humo o un vapor asciendan (porque son aire más caliente y por ende más enrarecido o más dilatado), tal cual se eleva una burbuja en agua. Sin aire, no habría ascenso del humo.

Aquí abajo jamás queda vacío el espacio que desaloja un cuerpo, sino que es colmado por el aire, de la misma manera que el agua llena el espacio desocupado por el cuerpo de un pez que cambia de lugar.

CAPÍTULO 11: Experimento mediante el cual se pueden producir nubes, viento y los colores del arco iris en recipientes de vidrio.

«Es un hecho conocido el que el aire se dilata con el calor y se contrae por el frío. Esto lo enseñan los termoscopios o termómetros, inventados hace aproximadamente treinta años, en los cuales la dilatación y contracción del aire encerrado pone de manifiesto la merma del calor y del frío de un día para otro y de una hora para otra.»

Guericke procede a la descripción del aparato y su disposición: un recipiente y un frasco de vidrio transparente, «que los apotecarios llaman un matraz», se conectan, colocando uno encima del otro; luego se evacúa el recipiente, y una vez que se abran ambas llaves, «se ve fluir impetuosamente el aire en el matraz hacia el recipiente inferior evacuado, produciendo un viento fuerte, y arremolinando en el fondo del recipiente todo lo que allí se colocó, ya sean piedritas o nueces de avellana».

Y continúa: «Debido a la súbita expansión del aire en el frasco superior y su irrupción en el inferior, el aire restante se ve sometido a un fuerte cambio y disminución. Y

como una mayor cantidad de aire es capaz de contener más humedad que una cantidad menor, el aire en el recipiente superior cede su humedad excedente, la cual se percibe distintamente en forma de minúsculas gotitas [*in guttulis minimis*] que paulatinamente descienden hasta el fondo.

El fenómeno se pone tanto mejor de manifiesto cuanto más humedad haya en el interior del frasco, puesto que entonces se forman más numerosas y grandes burbujas [*bullulae*]<sup>13</sup> de tal manera que forman una niebla. [...] Al dejar entrar un poco de aire, la niebla se segrega en nubes, puesto que al abrir un triz la llave del matraz separado del recipiente, de tal manera que pueda entrar un poco de aire, la niebla se divide en nubes.<sup>14</sup>

De ahí se deduce con claridad meridiana que, en virtud de la contracción o reducción del aire, el agua que en él se encuentra se separa, congregándose en forma de nubes. Y si se abre enteramente la llave para dar libre paso al aire, desaparecen de inmediato las nubes o la niebla, al ser absorbidas por el aire que ingresa.

Si se conserva el matraz con su niebla durante un tiempo breve, se puede observar muy bien cómo desciende y se separa del aire más claro. También se logra generar dentro del frasco un movimiento o undulación, en analogía a lo que posiblemente es propio de los vapores en las capas superiores del aire, lo cual contribuye a un mejor conocimiento del reino aéreo.

Finalmente se pueden sacar de todo esto conclusiones acerca del origen de las nubes y los vientos. Puesto que de la base de las montañas y de las cuevas subterráneas se elevan los vapores o también un aire allí generado (tal como se ha visto que de las minas pueden soplar ocasionalmente vientos), cuyas propiedades, distintas de las del aire libre exterior, dan lugar a una contracción o cambio; por lo tanto, la humedad contenida en el aire se condensa y se separa, lo cual conduce a la formación de nubes. De la misma manera emana de las fosas nasales de los animales el aliento a guisa de vapor o niebla, ya que el aire, más cálido, se condensa en el más frío; y una vez condensado, ocupa menos espacio. Pero una cantidad menor de aire no puede contener tanta humedad como una cantidad mayor, y por consiguiente entrega su excedente, el cual se torna visible al reunirse en numerosos corpúsculos. De esta manera vemos que en verano sudan, por así decirlo, frascos y botellas de vino, que se han extraído de un sótano frío. Esto se debe a que el aire que rodea el frasco es enfriado por éste y se contrae, soltando su acuosa humedad, la cual empaña las paredes del jarro.

Y para terminar, no podemos pasar por alto tácitamente un fenómeno que se manifiesta cuando se exponen los recipientes al sol y se lleva a cabo el mismo experimento, observándose entonces que el aire en el recipiente supe-

13 Estos términos latinos los tomo de **Middleton** (1965), porque no dispongo de la obra original. Para la historia de la microfísica de nubes la distinción es importante.

14 La fastidiosa repetición es de Guericke.

rior empieza a brillar para luego mostrar claramente los colores del arco iris.»<sup>15</sup>

Otto von Guericke ideó un baroscopio, que el conde polaco de Lubienietzki (1623-1675) llamó un "anemoscopio" (que no tiene el significado moderno de la palabra, a saber, un indicador de la dirección del viento), mediante el cual proponía que se hiciera el cálculo del trabajo que el peso del aire podía realizar, en función de la mayor o menor presión reinante. Se trataba de un "hombrecillo del tiempo", pequeña figura masculina de madera que flotaba sobre una columna de agua dentro de un cilindro revestido, con el fin de ocultar el secreto del mecanismo. Escribió Guericke (cf. **Schimank et al.**, 1968, p (76)): «Y como todo esto proviene del peso del aire, hice una maquinilla capaz de indicar estas modificaciones del aire<sup>16</sup>, con la cual se puede prestar asiduamente atención al "índice de tempestad" que [representa el brazo del hombrecillo], para obtener un buen anuncio del tiempo inminente, a saber:

1. Cuando el índice apunte al anillo o corona, sin encontrarse subiendo a bajando, es señal de que el tiempo está regular y sin lluvia ni viento.
2. Si asciende hasta el primer punto u otro por encima y se estanca allí durante uno o más días, es tanto mayor indicio de que no hay ni viento ni lluvia a la ronda.
3. Si asciende aún más hasta alcanzar los otros puntos, es indicio de que el aire recibe más agua y se debilita por lo tanto; es preciso fijarse en el instante cuando el índice vuelve a descender, porque entonces está lloviendo en la lejanía, a 20 o 30 millas, aunque no se pueda saber el lugar exacto, hasta que no llegue la lluvia.
4. Si se ha mantenido invariable el índice durante dos, tres o cuatro días en el anillo, o un poco por encima o por debajo, y empieza a moverse hacia abajo, es señal de lluvia, y si hacia arriba, para luego volver a bajar, significa ante todo lluvia.
5. Si el índice continúa bajando cada vez más, es portento de vientos; baja más todavía, hasta 5, 6 ó 7 puntos debajo del anillo, significa grandes tempestades, estén donde estén, a 100, 200 o más millas; se dará uno cuenta si se avecinan; pero si están demasiado lejos para poder venir, se suele enterar uno por los periódicos.
6. En invierno, las modificaciones de las tormentas son más repentinas que en verano, especialmente cuando las lluvias y los vientos se generan en las montañas cercanas, por lo que es difícil inferir nada seguro; porque si hay una indicación de lluvia y viento, puede ocurrir que antes que tal lluvia y viento lleguen al lugar deseado, el aire se vuelva a modificar y el índice indica un aire seco, habiendo sido anunciados la llu-

via y el viento previamente como afectando al lugar, pero en verano no es tan fácil de interpretar.<sup>17</sup>

En una carta dirigida a un profesor que enseñaba en Wittenberg, fechada el nueve de marzo de 1680, resume Guericke sus concepciones meteorológicas:

«Replico pues que

1. los termómetros no indican nada más que la modificación del aire, es decir, el tiempo cálido o frío que reina en el momento. Tan pronto como aquél ocurra, el aire en la parte superior del vaso o bulbo de vidrio se dilata, provocando un descenso del agua en el tubo. Si en cambio hace frío, el aire se contrae y el agua asciende bajo su propio peso. Algo totalmente distinto ocurre con la madera en forma de un hombrecillo y que se llama "anemoscopio". Tan pronto como el aire atraiga y acumule agua, se vuelve más pesado y obliga a subir al hombrecillo; si en cambio se descarga por precipitación, se vuelve más ligero y la figurilla se mueve correspondientemente hacia abajo, tanto más cuanto más severa sea la tormenta provocada. La razón de ello parece derivarse de los vientos, los cuales enrarecen y disminuyen el aire.
2. El Sol con sus manchas –según se suele decir–, y que más correctamente se deberían llamar planetas que se encuentran entre el Sol y Mercurio, apenas parece contribuir a la formación de los vientos, los cuales no tienen otro origen que el terrestre.
3. He expuesto la naturaleza de los cometas en mi libro [...] y en mi correspondencia con un aristócrata polaco.<sup>18</sup>
4. Los vientos se forman en cavidades terráneas<sup>19</sup> debajo de las montañas, donde semejantes espíritus se generan y se crean, que se descargan como la pólvora, haciendo volar la tierra y estremeciéndola, como dice Kircher<sup>20</sup> en su *Mundo subterráneo*.
5. Si los vientos no soplan en cada lugar ininterrumpidamente, es difícil comprobar qué diferencia hay entre la lluvia y el viento. Pero del razonamiento anterior se desprende la diferencia.
6. El aire, estrechado y comprimido por (las irregularidades de) la tierra, y por ello más másico, no puede, debido al terreno desigual y accidentado, tomar sin estorbo su curso como en el mar abierto. De ahí que no se puede sentir fácilmente un viento suave.
7. Al ser pesado, el aire, por naturaleza, es comprimido, y es tanto más denso cuanto más profunda y cercana a la superficie de la Tierra esté la capa a la que

17 No entiendo la palabra que Guericke utiliza, «befehren», que no existe en alemán moderno; ignoro su posible significado antiguo.

18 El teólogo y científico anteriormente mencionado, Lubienietzki.

19 El sentido de esta palabra no debería presentar dudas.

20 Athanasius Kircher (1602-1680), prolífico jesuita polifacético.

15 Estos experimentos realizados por Guericke parecen ser los primeros en que se produjeron artificialmente unas nubes. El dispositivo de Guericke prefigura la cámara de Wilson.

16 Se refiere Guericke al contenido de agua de lluvia en el aire.

pertenece; y como se sabe también por experiencia que en las montañas altas es más ralo y ligero, se sigue que con esa escasez de aire el lugar difícilmente pueda ser apropiado para los vientos, los cuales, como una especie de espíritu vivo, se concluirá, despliegan su poder en íntima unión con el aquél.

#### 4. APÉNDICE: FRAGMENTOS DE PASCAL DE INTERÉS METEOROLÓGICO

Aunque este ensayo está dedicado ante todo a la memoria de Guericke, cuya obra apenas se cita en español, algunos de los fragmentos pascalianos que recogen ideas u observaciones parecidas a las de Guericke en la sección anterior, pueden interesar al lector de este ensayo. Los fragmentos están contenidos en la edición de Chevalier (ver **Pascal**, 1954), y, aunque hacen parte de la pneumática de Pascal, no fueron traducidos por **Elena** (1984). Generalmente se piensa que Guericke, hacia 1660, fue el primero en sacar conclusiones meteorológicas de las fluctuaciones barométricas, pero Pascal ya había consignado, hacia 1653, las siguientes observaciones:

«Hemos visto en la introducción sobre este tema del peso del aire, que el aire pesa más en una misma región en un instante que en otro, según que el aire esté más o menos cargado.»

Después de describir un tubo recurvado, lleno de mercurio, cerrado por un extremo pero abierto por el otro, y colocado en algún cuarto para facilitar su observación, y al cual se le ha pegado una tira de papel dividida en pulgadas y líneas a lo largo del tubo, para poder ver el nivel del mercurio, «tal y como se hace con los termómetros», apunta Pascal lo siguiente:

«Se verá que en Dieppe, cuando el tiempo está cargado al máximo, el mercurio estará a 28 pulgadas y 4 líneas, contando desde el mercurio del extremo recurvado.

Y cuando el tiempo se descarga, se verá caer el mercurio, quizá unas 4 líneas.

Al día siguiente, se lo verá acaso descender unas 10 líneas; a veces, después de una hora, subirá 10 líneas; un rato más tarde se verá o subido o descendido, según que el tiempo esté cargado o descargado.

Y entre uno y otro de estos períodos, se hallarán 18 líneas de diferencia, es decir, que a veces estará a la altura de 28 pulgadas 4 líneas, y a veces a la altura de 26 pulgadas 10 líneas.

Este experimento se denomina la *experiencia continua*, puesto que se observa, si se quiere, continuamente, y el mercurio se encuentra en puntos casi tan diversos como los tiempos en que se observa.»<sup>21</sup>

«Como las variaciones de estos efectos proceden de variaciones en el temperamento del aire, y que las del

aire son muy extravagantes, y casi sin regla, también las que les ocurren a esos efectos son tan extrañas que es difícil asignarles regla alguna.

[...] Ordenando Pascal sus conclusiones, escribe:

1. Hay un cierto grado máximo y un cierto grado mínimo que el mercurio no puede transgredir casi nunca, porque hay ciertos límites en la carga del aire, que casi nunca son excedidos, y hay tiempos en que el aire es tan sereno que no se ve jamás una mayor serenidad, y hay otros tiempos cuando el aire está cargado hasta no poder cargarse casi más. No es que no pueda ocurrir tal u otro accidente en el aire que lo cargue más que nunca; caso en el cual el mercurio se elevaría más que nunca; pero es tan raro que no se debe tomar como regla.
2. Rara vez se ve el mercurio en uno u otro de estos extremos; y de ordinario está entre los dos, más cerca del uno algunas veces, y más del otro otras; porque ocurre rara vez que el aire esté enteramente descargado o cargado en exceso, y de ordinario lo está medianamente, ya sea más, ya sea menos.
3. Esas vicisitudes no tienen regla en esos cambios del mercurio o del aire: de manera que a veces, de un cuarto de hora a otro, hay una gran diferencia; y a veces, hay poco cambio en el espacio de cuatro o cinco días.
4. La estación en que el mercurio está más elevado que de ordinario es el invierno. Más bajo que de ordinario, en verano; menos variable en los solsticios, y más en los equinoccios. No es que no pueda estar elevado el mercurio en verano, y bajo en invierno, inconstante en los solsticios, y consante en los equinoccios; pero de lo común, la cosa es como hemos dicho, porque normalmente, aunque no siempre, el aire está cargado al máximo en invierno, y mínimamente en verano, y es más mudable en marzo y septiembre, y más constante en los solsticios.
5. También puede suceder que el mercurio baja cuando hace buen tiempo, y sube cuando el tiempo se torna frío o cargado; pero eso no es infalible; dado que a veces sube cuando el tiempo embellece y a veces baja cuando el cielo se cubre, porque, como dijimos en la introducción, ocurre a veces que cuando el tiempo mejora en la región baja, el aire, sin embargo, considerado en todas sus regiones, se pone pesado, y también que cuando se carga en la región inferior, se descarga a veces en las otras.
6. Pero también es muy notable que cuando el tiempo se torna nuboso y baja el mercurio, uno puede asegurarse que las nubes en la región inferior tienen poco espesor, y se disiparán pronto, y que entonces el buen tiempo está próximo.

Y si, al contrario, ocurre simultáneamente que el tiempo está sereno y el mercurio elevado, uno puede asegurarse

21 Queda la ambigüedad: ¿Tiempos cronológicos o atmosféricos?.

que hay vapores en cantidades diseminadas, que no aparecen, y que formarán pronto alguna lluvia.

Y cuando se ve parejamente el mercurio abajo y el tiempo sereno, puede uno estar seguro que el mal tiempo durará, porque seguramente el tiempo está cargado.

No es que un viento que sobrevenga no pueda frustrar estas conjeturas; pero comúnmente aciertan, porque la altura del mercurio suspendido, siendo un efecto de la carga presente en el aire, es también señal muy cierta, e incomparablemente más cierta que el termómetro, o todo otro artificio.

Este conocimiento puede ser muy útil a los campesinos, viajeros, etc., para que conozcan el estado presente del tiempo, y el tiempo que habrá de suceder inmediatamente, pero no para conocer el que hará dentro de tres semanas: pero abandono las utilidades que se puedan sacar de estas novedades, para continuar nuestro proyecto.»

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Ames, M.** 1994: The New (so-called) Magdeburg Experiments of Otto von Guericke. 394 p. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

**Descartes.** 1953: Oeuvres et lettres. Ed. A. Bridoux. 1423 p. Bibliothèque la Pléiade. Éditions Gallimard, Bélgica.

**Elena, A.** 1984: Blaise Pascal: Tratados de Pneumática. 209 p. Alianza Editorial, Madrid.

**Festa, E.** 1998: Torricelli et l'école galiléenne. 383-393. Blay, M. & R. Halleux. La science classique. XVI<sup>e</sup>-XVIII<sup>e</sup> siècle. Dictionnaire critique. Flammarion, Évreux.

**Hellmann, G.** 1893: Blaise Pascal: Récit de la Grande Expérience de l'Équilibre des Liqueurs, Paris, 1648. Neudrucke von Schriften und Karten der Meteorologie und des Erdmagnetsimus, hrsg. von G. Hellmann, No. 2 (Facsimil). 30 p. A. Asher, Berlín. (Reimpresión Kraus Reprint, 1969, Nendeln/Liechtenstein).

**Mason, S.** 1985: Historia de las ciencias. Tomo 3: La ciencia del siglo XVIII. 181 p. Alianza Editorial, Madrid.

**Middleton, W.** 1964: The History of the Barometer. 489 p. The Johns Hopkins Press, Baltimore.

**Pascal, B.** 1954. Oeuvres complètes. Ed. J. Chevalier. 1529 p. Bibliothèque la Pléiade. Éditions Gallimard, Francia.

**Middleton, W.** 1965: A History of the Theories of Rain. 223 p. Oldbourne, Londres.

**Schimank, H., H. Gossen, G. Maurach & F. Krafft.** 1968: Otto von Guericke's Neue (sogenannte) Magdeburger Versuche über den leeren Raum, nebst Briefen, Urkunden und anderen Zeugnissen seiner Lebens- und Schaffensgeschichte, übersetzt und hrsg. von Hans Schimank etc. 296 & 292 p. VDI-Verlag, Düsseldorf.

**Solís, C.** 1985: Robert Boyle: Física, química y filosofía mecánica. 246 p. Alianza Editorial, Madrid.

**Waard, C. de.** 1936: L'expérience barométrique. Ses antécédents et ses explications. 198 p. Imprimerie Nouvelle, Thouars.

Fecha de recepción: 10 de julio de 2001

Fecha de aceptación: 22 de agosto de 2001