

Torricelli, Pascal y el problema del vacío

EGIDIO FESTA

Centre Alexandre Koyré, Paris

LOS EXPERIMENTOS BAROMÉTRICOS DURANTE EL SIGLO XVII.

Se considera a Evangelista Torricelli (1608-1647) y Blaise Pascal (1623-1662) los pioneros de los experimentos barométricos efectuados en Italia y en Francia entre 1639 (aproximadamente) y 1648; experimentos que, como se sabe, reavivaron el problema de la existencia del vacío. Los resultados obtenidos no permitieron eliminar las antiguas objeciones contra la existencia del vacío, que durante el Medioevo y el Renacimiento habían alimentado debates y polémicas.

Leucipo (siglo V a.C.) y Demócrito supusieron un importante punto de referencia, al comienzo de la época moderna para los *vacuistas*, defensores de la existencia del vacío, poco numerosos respecto a sus adversarios los *plenistas*. Estos últimos encontraron un refugio cómodo en la autoridad de Aristóteles (384-322 a.C.), que había criticado violentamente los argumentos desarrollados por sus dos cualificados predecesores.

En este punto quería hacer notar que los experimentos de Torricelli y de Pascal no habrían debido suscitar las polémicas que, de hecho, suscitaron respecto a la existencia del vacío. Si el excesivo *parti pris* no hubiese desviado los debates, quizá hubiera sido posible poner en claro, a través de un sereno análisis de los resultados experimentales, que el *vacío* observado en los tubos barométricos tenía, ciertamente, características distintas a lo *lleno*, pero no podía constituir una *prueba* de la existencia del vacío.

Fácil de decir, imposible de realizar en el clima cultural de la época. No por casualidad Torricelli, que evaluaba correctamente los resultados obtenidos, decidió refugiarse, como veremos, en un prudente silencio. Pero su decisión no tuvo ninguna consecuencia en los agitados espíritus de los adversarios y de los defensores del vacío.

En este clima caldeado por la *pasión de los átomos*¹ encontró lugar en Italia el *De Rerum Natura* de Lucrecio (98-55 a.C.), injustamente olvidado², en el que claramente se afirma que en nuestro mundo también se da el vacío³. Pero, a pesar de la traducción italiana de Alessandro Marchetti, ya lista en 1668, el *De Rerum Natura* continuó circulando durante decenios por Italia en forma manuscrita⁴.

¹ Del título de un trabajo de SUSANA GÓMEZ LOPEZ, *La passione degli atomi. Montanari e Rossetti: una polemica fra galileiani*, Leo S. Olschki, Florencia 1996; véase de la misma autora «Donato Rossetti et le cercle pisan», en *Géometrie, atomisme et vide dans l'école de Galilée*, textos reunidos por E. Festa, V. Jullien y M. Torrini, ENS Editions Fontenay/Saint Cloud, IMSS, Florencia 1999.

² El manuscrito del *De Rerum Natura* fue descubierto en Alemania por Poggio Bracciolini en 1417. La primera edición a imprenta del texto original latino es de 1473.

³ «Por tanto, no todo está ocupado por doquier y repleto de materia, ya que en las cosas hay vacío», *De Rerum Natura*, I, 329-330 (traducción basada en *De la Nature*, edición de Alfred Ernout, Les Belles Lettres, París 1984).

⁴ No es seguro que la primera edición (1717) de la traducción de Marchetti proceda de Nápoles y no de Londres, como se deduciría de la portada de la obra. En el mundo de Lucrecio, a diferencia del mundo de Copérnico, de Galileo y de Newton, todo sucede sin la intervención de los dioses. Tan sólo a finales del siglo XVIII aparece la descripción, por obra de Laplace, de un universo a la manera de los científicos, en el que la intervención de la divinidad no se toma en consideración.

Es poco probable que Torricelli hubiera leído a Lucrecio, un autor bastante alejado de sus intereses culturales. Su curiosidad de científico la estimularon, sin duda, las páginas de los *Discorsi*⁵, en las que Galileo exponía sus opiniones sobre el vacío. Se proponía, de hecho, determinar si la resistencia hallada en el intento de producir el vacío se debía al peso del aire o bien al propio vacío, como sostenía Galileo. Una ambición, pues, que se mantenía dentro de los límites de la *filosofía natural* profesada por los galileanos.

El experimento de Torricelli cruzó casi inmediatamente los Alpes y fue conocido en Francia. A su regreso, en Marzo de 1645, de un viaje a Italia iniciado en Octubre de 1644, el padre Marin Mersenne les transmitió a sus conocidos y amigos franceses las informaciones recogidas y trató de realizar, a su vuelta, el experimento, no obstante sin lograrlo. De acuerdo con las indicaciones proporcionadas por él, Pierre Petit, asistido por el joven Pascal, pudo reproducirlo por primera vez en Francia en 1646, utilizando, como en el experimento de Florencia, un tubo de vidrio y mercurio. Posteriormente, en Enero y en Febrero de 1647, Pascal repitió el experimento y, como veremos, partiendo de él imaginó otros, hasta llegar al del *Puy de Dôme*, efectuado el 22 de Septiembre de 1648, con el fin de poner de manifiesto las variaciones de la presión atmosférica según variaba la altura sobre el nivel del mar.

Pero, antes de ocuparnos de los experimentos barométricos de Torricelli y de Pascal, debemos, sin embargo, echar una mirada, aunque sea rápida, a la evolución de la noción de vacío desde la Antigüedad hasta el siglo XVII.

La noción de vacío en la antigüedad...

Como ya se ha indicado, los resultados obtenidos en el interior de este restringidísimo cuadro –cuyo interés técnico y científico fue de suma importancia– hicieron estallar polémicas muy fuertes, alimentadas por las fuentes antiguas, constituidas esencialmente por Demócrito (460-370 a.C.) y Aristóteles (384-322 a.C.). Del primero citaré un conocido pasaje transmitido por la traducción latina de Sexto Empírico (siglos II-III p.C.): «Todo lo que se muestra a nuestros sentidos es el resultado de nuestra interpretación, ya que lo que de hecho existe son sólo átomos y vacío. Lo dulce y lo amargo son el resultado de interpretaciones y disposiciones, lo caliente y lo frío son el resultado de interpretaciones, así como también el color. Por el contrario, en realidad no son más que átomos y vacío»⁶. Para Alexandre Koyré la revolución científica del siglo XVII «debería expresar el nacimiento de la *filosofía corpuscular*, esa extraña alianza entre Demócrito y Platón, y dar cuenta de la batalla entre *plenistas* y *vacuistas*»⁷. Pero en el amanecer de la ciencia moderna los neoplatónicos, con alguna excepción esporádica, consideran a Demócrito como instigador de la peor herejía, como inspirador de Epicuro (341-270 a.C.), el destructor de toda moral, el filósofo cuyo nombre será más sugerido que pronunciado⁸. Y, como se sabe, ellos eran los más fuertes.

⁵ *Discorsi e dimostrazioni matematiche [...] del Signor Galileo Galilei*, en Leiden, imprenta Elsevirii, 1638, Giornata prima; ahora en la Edizione Nazionale (*E.N.*) delle *Opere di Galileo Galilei*, Barbèra, Florencia 1890-1909 (reed. 1929-1939, 1964-1968), vol. VIII.

⁶ Cf. «Democriti Fragmenta in *Sextus Empiricus adv. Mathem.* (Logic.)», lib. VII, § 135-139, p. 399, en *Fragmenta philosophorum graecorum*, a cargo de Fr. Guil. Aug. Mullachius, Parisiis, Editore Ambrosio Firmin Didot, 1860.

⁷ Cf. A.KOYRÉ, *Du Monde clos à l'univers infini*, Gallimard, París 1962, pp. 11-13.

⁸ En los *Discorsi* de Galileo, el aristotélico Simplicio reacciona así ante las explicaciones de Salviati-Galileo sobre el vacío: «Me parece que vos os encamináis por la vía de los vacíos difundidos por cierto

Aristóteles había criticado las tesis de Demócrito, a veces sin citarlo directamente, a veces con su nombre asociado al de Leucipo, por ejemplo en *De Coelo* (III, 4), para refutar la doctrina atomista. Las doctrinas atomistas fueron combatidas por el estagirita en nombre de la continuidad, ya sea física o geométrica; pero, aunque violenta, esta oposición no fue la única causa de la aversión al vacío.

Debo precisar que intentar resumir el pensamiento de Aristóteles respecto a este problema concreto es tarea difícil, la cual es preferible confiar a los historiadores de la filosofía. A mi entender, las páginas de la *Física* en las que se exponen los argumentos contra el vacío son de las más difíciles de leer. Los elementos esenciales de la demostración se basan en la noción de *lugar*, una noción particularmente compleja. Y lo subraya el propio Aristóteles, consciente del hecho de que no siempre se consigue utilizarla de manera clara y convincente: «[...] tratar de saber qué es el lugar —explica él— conlleva muchas dificultades; en efecto, el lugar no parece ser algo único para quien lo examina según todas sus propiedades. Además los autores [los precedentes] no han dejado nada, ninguna descripción de las dificultades, ninguna solución»⁹. Hay una excepción, sin embargo: su maestro Platón; y es precisamente en él donde Aristóteles encuentra un refugio, indicando que «Platón afirma en el *Timeo* la identidad entre materia y extensión. En efecto el receptáculo y la extensión son una sola y la misma cosa. Desde luego, su terminología no es la misma en esta obra y en lo que él llama *las enseñanzas no escritas*; pero es un hecho que [Platón] ha identificado lugar y extensión (es necesario citar a Platón, ya que, si para todos el lugar es una cosa cierta, sólo él ha tratado de decir qué cosa es)»¹⁰.

Pero el vacío, que está privado de extensión, no ocuparía ningún lugar; por tanto, no puede existir. Y para evitar que se recurra a otras extensiones, Aristóteles precisa que es necesario «mostrar [...] que no hay otra extensión en los cuerpos, una extensión que se expandiría a través del conjunto de la naturaleza corpórea, dividiéndola y rompiendo, por tanto, su continuidad, como afirman Leucipo, Demócrito y muchos otros autores»¹¹. En otras palabras, es inútil investigar en la dirección de los átomos, ya que la discontinuidad que ellos introducirían, destruiría la estructura continua de la materia, que está en la base de toda la física de Aristóteles.

Los argumentos contra el vacío resultan más precisos cuando Aristóteles hace intervenir la imposibilidad del movimiento. Para el estagirita, el movimiento más importante, el *movimiento local*, se produce en función del lugar¹². El desplazamiento (*phora*) de la materia de un lugar a otro sigue direcciones precisas (hacia lo alto para los cuerpos ligeros, hacia lo bajo para los cuerpos pesados). Pero según Aristóteles, «si todo cuerpo simple tiene, por naturaleza, un desplazamiento propio, por ejemplo, para el fuego hacia arriba, para la tierra hacia abajo y hacia el centro, está claro que el vacío no puede ser

filósofo antiguo», a lo que Salviati responde: «Pero, sin embargo, vos no añadís “el cual negaba la Providencia divina”, como en una situación semejante [...] añadía un Académico adversario nuestro [es decir, de Galileo]», cf. *Discorsi*, op.cit., E.N., VIII, p. 72.

⁹ *Física* IV (1), 208b; (las citas de la *Física* están traducidas de la edición francesa a cargo de Henri Carteron, Les Belles Lettres, París 1966).

¹⁰ *Física*, IV (2), 209b; como se sabe, la idea de identificar materia y extensión la retomarán Avicena y Descartes.

¹¹ *Física*, IV (6) 213a.

¹² *Física*, IV (1) 208a.

la causa del desplazamiento. ¿De qué movimiento, pues, habría de ser causa el vacío, pues se lo considera la causa del movimiento local, en tanto que no lo es?»¹³. Para Aristóteles, en efecto, el lugar es la causa del movimiento local, y como en el vacío esta causa no existe, en el vacío no podría haber movimiento local. Y él se pregunta (pero la interrogación es obviamente retórica) de qué otro movimiento podría el vacío ser la causa.

Hay que subrayar, en fin, que la noción aristotélica de *lugar*, aunque poco clara, figurará, como veremos, en el debate que suscitaron los experimentos de Torricelli y Pascal en Italia y en Francia.

Como hemos aludido a Platón, es bueno precisar que las nociones de lugar, de espacio y de vacío que él sugiere no son del todo claras, como subraya Pierre Duhem¹⁴. Pero, si nos limitamos al ámbito que nos interesa, podemos decir que para Platón la *extensión (chora)* es el *espacio* que comprende al mismo tiempo la geometría y el Universo: en uno y otro caso este espacio es vacío e infinito. Los científicos del siglo XVII, frente a la noción de extensión y vacío, habrían podido recurrir a la obra de Platón. Pero Platón no era una *figura de autoridad* como lo era Aristóteles. Los *renovadores* recurrían a él exclusivamente para defender la aplicación de la geometría a los fenómenos naturales.

... en la Edad Media y en el Renacimiento.

Durante toda la Edad Media, el Renacimiento y hasta la época moderna, la referencia a Aristóteles era obligada, ya fuera para aceptarlo o para refutarlo. Tras el redescubrimiento de numerosos escritos suyos a través de las traducciones árabes, Tomás de Aquino (1225-1274) emprendió, con la valiosa colaboración del helenista flamenco Guillermo de Moerbeke, la traducción al latín de todas sus obras. El aristotelismo, en sus diversas formas, influyó profundamente en las doctrinas científicas profesadas por la Iglesia y representan el núcleo central de la enseñanza universitaria en Italia.

En 1277 se produjo un hecho importante que habría podido cambiar la actitud de la Iglesia: Etienne Tempier, obispo de París, condenó 219 proposiciones¹⁵, algunas de las cuales, una quincena, en total, lo fueron también por parte del arzobispo de Canterbury, Robert Kilwardby. Entre las proposiciones condenadas, algunas afirmaban que Dios está imposibilitado para crear el vacío o más mundos. La que nos interesa, reza más o menos así: «Dios no puede mover el cielo siguiendo un movimiento de traslación; la razón de esta imposibilidad es que, en tal caso, el cielo dejaría un vacío». Error, según Etienne Tempier: Dios en su omnipotencia puede imponer al mundo un movimiento de traslación y, por tanto, provocar el vacío.

En realidad, lo que el obispo de París se proponía condenar era el exceso de racionalidad presente en el pensamiento de filósofos como Roger Bacon (1214-1294) y quizá también como Tomás de Aquino. Pero los herederos inmediatos del aristotelismo profesado por Tomás de Aquino, los dominicos, recibían las órdenes directamente del papa y no las aceptaban de otros. Las condenas pronunciadas por Etienne Tempier los dejaron

¹³ *Física*, IV, 8, 214b.

¹⁴ Cf. *Le système du monde. Histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic*, 10 vol., Hermann (nouveau tirage), París 1959, I, cap. II.

¹⁵ Cf. *Chartularium Universitatis Parisiensis*, editado por H. Denifle, E. Chatelain, vol. I, París, 1889, pp. 545-46; para una discusión de las condenas pronunciadas por Etienne Tempier, véase *Mémoire de la Science. Le XVII^e siècle*, de Michèle Porte, Séminaire 86/87, Ouvrage hors collection des Cahiers de Fontenay, ENS Fontenay/Saint Cloud, déc. 1988.

indiferentes. Sin embargo, sí que se produjo alguna consecuencia. En nombre de la omnipotencia divina, toda experiencia de pensamiento parecía ahora posible; y, en particular, las imaginadas en un espacio vacío infinito. Entre los filósofos que recibieron la influencia directa de la condena, es relevante la figura de Tomás Bradwardine (1290-1349). La conclusión de cinco tesis enunciadas por él es que «[...] un vacío sin cuerpo puede existir, pero de ningún modo un vacío sin Dios»¹⁶.

Según Pierre Duhem, la introducción del vacío en el Medievo tras la condena de 1277 es un evento importantísimo y señala quizá la fecha de nacimiento de la ciencia moderna ¹⁷. Esta afirmación puede producir alguna perplejidad. Como observa Koyré, «la ciencia moderna implica –o presupone– no sólo la rotura de la imagen finita del universo aristotélico, sino, más aún, la destrucción del Cosmos, la infinitización del Universo, la geometrización del espacio»¹⁸.

El problema suscitado por estos dos eminentes historiadores de la ciencia es, sin duda, interesantísimo, pero irremediablemente nos apartaría del tema. Sin embargo, me ha parecido oportuno hacer referencia a él antes de hablar de los experimentos barométricos efectuados en el siglo XVII, para subrayar que las preguntas con respecto a la existencia del vacío están muy presentes en el contexto general de la «revolución científica». En fin, respecto a la diferencia de valoración y a la posibilidad de situar en el tiempo «la revolución», tengo la impresión de que todavía, sobre el tema, correrá mucha tinta.

Beeckman: un moderno ignorado.

Sin embargo, en las primeras décadas del siglo XVII las investigaciones sobre el funcionamiento de la bomba neumática estaban ya bastante avanzadas, gracias también a los trabajos del estudioso zelandés Beeckman (1588-1637), que situaba la existencia del vacío, en cuanto *realidad física*, en el centro de sus investigaciones. Las anotaciones contenidas en su *Journal* entre Abril de 1614 y Febrero de 1616, indican claramente que él le atribuye al aire un peso, y que ese peso es responsable del ascenso del agua en los sifones, en los que se hace el vacío mediante una bomba aspiradora o, como él escribe, *con el instrumento que succiona agua*¹⁹. El funcionamiento de los sifones será estudiado más tarde también por Galileo, que, como veremos, no recurre al peso del aire para explicarlo.

Beeckman sostenía que los principales estados físicos de la materia imponen la existencia de pequeños vacíos dispersos en el interior de la misma²⁰, convicción ésta que se vuelve a encontrar en forma de corolario –«el vacío está mezclado con las cosas»– al final

¹⁶ Thomas Bradwardine, citado por A. KOYRÉ, en *Études d'histoire de la pensée philosophique*, Gallimard, París 1971, p. 82.

¹⁷ Cf. *Études sur Léonard de Vinci*, París 1906-1913, vol. II, p. 411.

¹⁸ *Études d'histoire de la pensée philosophique*, citado, p. 38.

¹⁹ «Sed aer mundi incumbit aquae, quae est in supremo haustro, et premit eam deorsum cum instrumento quo aquam sugimus», [n. de trad. «El aire del mundo se apoya sobre el agua, que está en el cangilón más alto, y la oprime desde arriba con el instrumento con que succionamos agua»] en *Journal tenu par Isaac Beeckman de 1604 à 1619*, publicado con una introducción y notas de C. de Waard, 4 vol., La Haye, 1939-1953, I, p. 79, citado por G. Nonnoi, en *Il Pelago d'aria. Galileo, Baliani, Beeckman*, Bulzoni editore, Roma 1988, pp. 63-77.

²⁰ *Ibid.*, I, p. 23; IV, p. 30.

de su tesis doctoral en medicina publicada en 1618²¹. Pero Beeckman, conocido por sus relaciones con Descartes y con el cartesianismo, no lo es asimismo por sus investigaciones sobre la presión del aire, cuya originalidad fue puesta de manifiesto sólo tres siglos después gracias a los trabajos de C. de Waard.

La cuerda de agua de Galileo.

Permanezcamos, pues, en el siglo XVII para averiguar qué pensaba sobre el vacío Galileo (1564-1642), que no estaba al tanto de los trabajos de Beeckman. La convicción de que podían existir vacíos microscópicos diseminados entre las partículas elementales que constituyen la materia, había reaparecido, después de haber atravesado el Medievo de manera más bien soterrada, en el Renacimiento como complemento indispensable del atomismo. Ya en sus escritos juveniles Galileo había admitido la existencia del vacío y con ello, *contra Aristotelen*, la posibilidad de movimiento²². Quedaba por demostrar que, por medio de *violencia*, era posible producirlo, al menos en una pequeña dimensión y por breve tiempo. Filón de Bizancio (c. 200-150 a.C.) y Herón de Alejandría (siglo II p.C.) habían afirmado ya que esta posibilidad existe.

En los *Discorsi*, Sagredo, el interlocutor que interviene a menudo para recoger el pensamiento de Galileo, vuelve a afirmarla con prudencia en estos términos: «convendrá, por tanto, decir que, aunque mediante violencia o en contra de la naturaleza, en ocasiones hay que admitir el vacío»²³. Esta conclusión la sugiere el mismo Galileo –que se expresa por boca de Salviati– a través del siguiente ejemplo: «dos planchas de mármol, de metal o de vidrio, meticulosamente allanadas, pulidas y lustradas, que, colocada la una sobre la otra, aunque se las mueve sin ningún esfuerzo deslizándolas por encima [...], al tratar de separarlas manteniéndolas equidistantes, se encuentra tal resistencia que la de arriba eleva y arrastra consigo a la otra y la mantiene permanentemente elevada»²⁴. Según Galileo, este ejemplo «nos muestra el horror de la naturaleza a tener que admitir, aunque sea durante un breve lapso de tiempo, el espacio vacío que quedaría tras ellas antes de que la concurrencia de las partes del aire circundante lo hubiese ocupado y rellenado»²⁵. En otras palabras, en el instante de la separación aparecería durante un brevísimo tiempo el vacío, y a eso la naturaleza opone resistencia antes de llenarlo con el aire circundante. Para impedir su aparición, la naturaleza renuncia incluso a los efectos de la gravedad, impidiendo que la plancha de mármol inferior caiga cuando la plancha superior se eleva²⁶. La *resistencia al vacío* es también la causa de la imposibilidad de hacer subir el agua de un sifón mediante *extracción*, es decir, utilizando una bomba aspiradora como las citadas por Beeckman –más

²¹ «Est vacuum rebus intermixtum», [n. de trad. «Hay vacío entremezclado con las cosas»] citado en C. DE WAARD, *L'expérience barométrique. Ses antécédents et ses explications*, Touars, Imprimerie Nouvelles, 1936, p.79.

²² *De Motu*, E.N. I, pp. 281, 295.

²³ *Discorsi*, E.N., VIII, p. 60.

²⁴ *Ibid.*, p. 59.

²⁵ *Ibid.*

²⁶ Para una discusión en profundidad de la interpretación propuesta por Galileo, véase de G. NONNOI, «Horror vacui: Galileo e il mutamento di un paradigma», en *Lezioni galileiane - I. Alle origini della rivoluzione scientifica*, a cargo de P. Casati, Istituto della Enciclopedia Italiana, Roma 1991.

allá de una altura de 18 brazos (alrededor de 10,5 metros)²⁷. La columna de agua se comporta como una cuerda que tiene su *atadura* en la parte superior. Las partículas que la componen pueden, como en todos los fluidos, moverse deslizándose la una sobre la otra, a la manera de las dos planchas de mármol. Para separarlas sólo es necesario vencer la resistencia de la naturaleza a la creación del vacío subsiguiente a su separación. Esta separación se produce en cuanto el peso de la columna se iguala a la *resistencia del vacío*. La cuerda, que Sagredo compara con un cilindro que, «tirado por su peso, el cual se ha hecho ya excesivo, se desgarrará igual que si fuese una cuerda»²⁸. En el agua, por tanto, la resistencia que hay que vencer es equivalente a una columna de 18 brazos de altura de un diámetro cualquiera, ya que el peso de la columna y la resistencia del vacío aumentan en la misma proporción. Hay que señalar, en fin, que Galileo usa indiferentemente *resistencia del vacío* y *resistencia al vacío*, prevaleciendo sin embargo la primera expresión.

El científico genovés Giovanni Battista Baliani fue uno de los primeros que dudó de la explicación ofrecida por Galileo. Él señalaba claramente, en una carta dirigida a su ilustre destinatario (tomando mil precauciones para no herir su susceptibilidad), que el límite de la altura observado en la columna de agua que sube en el sifón se debe al peso del aire (como ya lo había mantenido Beeckman, cuyos trabajos desconoce Baliani) y no a una fuerza interna del vacío mismo²⁹. Y como Galileo había comparado la cuerda de agua con cuerdas de cáñamo o de acero, él observaba que hay «gran diferencia, incluso que es dudoso si sucede que, al romperse la cuerda, queda allí vacío o no. Pero comoquiera que sea, lo cierto es que es mucho mayor el vacío que queda en el canal»³⁰. Esta última observación me parece particularmente oportuna, tanto más cuanto que Galileo no hace referencia al vacío que se produce en el *canal* de la bomba aspiradora, sino al vacío debido al distanciamiento de las partículas que componen el agua. Sin embargo, a pesar de las objeciones a que se exponía, la interpretación propuesta por Galileo fue acogida favorablemente, como veremos, por Pascal en su primera exposición acerca de vacío, y sólo fue definitivamente abandonada por él tras la experiencia del *Puy de Dôme*.

Antes de pasar a los experimentos barométricos, querría señalar que en los *Discorsi*, Galileo explica que, así como «la resistencia al vacío» no permite, «a no ser con gran violencia, la separación de las dos planchas [de mármol]», esa misma resistencia es «causa de la coherencia de las partes menores y hasta de los mínimos últimos de las mismas materias»³¹. Los pequeñísimos vacíos intercalados entre las *partículas mínimas* de los cuerpos sólidos se atraen uno a otro, contribuyendo así a su cohesión. Y Galileo sugiere que el paso de los metales al estado fluido podría deberse a las «sutilísimas partículas de fuego, [que], penetrando por los angostos poros del metal [...], al rellenar los pequeñísimos vacíos intercalados en él, liberasen a las partículas mínimas de lo que impide la separación por la violencia con la que los mismos vacíos atraen la una contra la otra»³². La fusión sería, por

²⁷ El brazo florentino es igual a 0,583 metros.

²⁸ *Discorsi*, p. 64. Esta interpretación, que ignora la existencia de la presión atmosférica, ya la había formulado Galileo en una carta del 6 de Agosto de 1630 dirigida al científico genovés Giovanni Battista Baliani, en *E.N.*, XIV, pp. 127-129.

²⁹ Carta de Baliani a Galileo del 24 de Octubre de 1630, *ibid.*, pp. 158-160.

³⁰ *Ibid.* p. 158.

³¹ *Discorsi*, p. 66.

³² *Ibid.*, pp. 66-67.

tanto, una prueba indirecta de la existencia de vacíos microscópicos que separan los componentes últimos de la materia. La ausencia de «mínimos vacíos» en los fluidos explicaría, según Galileo, la débil resistencia a la separación de las partículas que los componen, como sucede en el caso de la «cuerda de agua». Las interpretaciones propuestas por Galileo plantearon, sin duda, dificultades notables. Pero ellas hay que valorarlas en el ámbito de una teoría general de la estructura de la materia, teoría que Galileo se proponía construir de manera racional. El intento había resultado particularmente difícil por la negativa de Galileo a tomar en consideración el peso del aire y, por tanto, la presión por él ejercida.

Las investigaciones sobre el vacío tras los *Discorsi*.

La publicación, en 1638, de los *Discorsi*, relanzó el problema de la existencia macroscópica del vacío, que en la «Primera jornada» había sido incluso objeto de medida. La verificación del valor de 18 brazos proporcionada por Galileo para la altura de la columna de agua en los sifones, cuyo peso correspondía a la *fuerza del vacío*, sirvió de base al experimento realizado en Roma por Gaspar Berti entre 1639 y 1641. Parecería que se hubiera consultado al propio Galileo para dar su opinión sobre la manera de realizarlo. Berti se sirvió de un tubo de plomo de aproximadamente 11 metros de longitud fijado en la fachada de su palacio de Roma. El extremo superior del tubo constaba de una pelota de vidrio provista de una apertura que permitía fijarla con solidez al tubo de plomo. El extremo inferior desembocaba en un recipiente lleno de agua. A la idea del experimento contribuyó, sin duda, Rafael Magiotti, amigo de Torricelli y galileano convencido. La habilidad técnica de Berti consistió en escoger un método para rellenar de agua el extremo superior, el tubo de plomo y el recipiente inferior y hacerlo de modo que, utilizando dos grifos situados respectivamente en lo alto y en lo bajo, tras haber cerrado el grifo de arriba y dejado abierto el de abajo, el agua pudiese ascender en el tubo. Además, todo el aparato debía mantenerse herméticamente cerrado. Con los materiales disponibles en la época estas condiciones podían cumplirse de manera aproximada. Sin embargo, Berti tuvo éxito en su intento: el agua se detuvo a la altura de 18 pies, altura medida a partir del nivel del agua contenida en el recipiente en que desembocaba el tubo. Esa era la medida prevista por Galileo para los sifones, en los que se producía el mismo fenómeno: aspirada hacia arriba, el agua no subía más allá de 18 brazos. Faltaba entender cuál era la naturaleza del espacio existente entre el extremo superior de la columna de agua y el extremo superior del aparato.

Asistían al experimento los padres jesuitas Nicolás Zucchi y Atanasio Kircher. Torricelli, con poco más de treinta años, se había ausentado de Roma, donde tenía su residencia habitual, desde Junio de 1640 hasta finales de Febrero de 1641. No consta que hubiera estado presente, aunque es probable que lo estuviera su amigo Michelangelo Ricci (que por entonces tenía unos veinte años), quien, como veremos, será uno de los primeros en recibir de Torricelli, aunque años después, noticias del experimento de Florencia. Los discípulos de Galileo y el propio Berti sostuvieron que el espacio que quedaba por encima del agua estaba vacío, en tanto que los neorristotélicos presentes lo consideraron lleno de aire, ya fuera que se hubiera infiltrado a través de las paredes del tubo, ya que las partículas de aire contenidas en el agua se hubiesen elevado por encima o que una pequeña parte de agua se hubiese evaporado. En efecto, se habían visto burbujas surgir en la superficie del agua, como en los fenómenos de ebullición, aunque la temperatura del agua no ascendiera³³. Además el padre Zucchi sostendrá –en un informe difundido sólo en 1648 en forma de carta dirigida al jesuita francés Jacques Grandamy– que el sonido de una campanilla, situada en

³³ Estos fenómenos, debidos a la tensión del vapor, no fueron, ni podían ser, correctamente interpretados.

el espacio dejado libre por el agua y accionada desde el exterior mediante un imán, era audible, señal esta de que el espacio no estaba vacío. Pero según el padre Emanuel Maignan, de la orden de los mínimos, el sonido podía transmitirse al exterior por la vibración del tubo de plomo al que estaba fijado el soporte de la campanilla.

En definitiva, el único resultado seguro era la altura de la columna de agua de alrededor de 18 brazos, aunque el padre Zucchi hubiese observado que la noche siguiente a la primera jornada del experimento el nivel del agua había subido. El fenómeno, que en el informe del padre Zucchi sólo se mencionaba, se debía sin duda a un aumento de la presión atmosférica, lo que probaba (dicho sea de paso) la excelente calidad del equipo. Respecto al mantenimiento de la columna de agua a una altura de 18 brazos, es decir, respecto a si dicho límite se debía al *peso del aire*, como sostenían Beeckman y Baliani, o a la *fuerza del vacío*, de acuerdo con Galileo, no había ninguna conclusión posible. Según el padre Zucchi, que aludía a ello en el informe ya mencionado, el vapor de agua rellenaba el espacio dejado libre, ejerciendo una «tensión», que impedía el descenso del agua.

El experimento de Berti, aun cuando no permitía conclusiones plausibles, fue el primero realizado de hecho y, sin duda, tenía el mérito de estimular la investigación de nuevas soluciones técnicas.

DE LA PLATA VIVA DE TORRICELLI AL PUY DE DÔME DE PASCAL

Evangelista Torricelli: noticias biográficas.

Noticias bastante precisas sobre la vida de Torricelli, muerto a los 39 años solamente, han salido a la luz en los últimos decenios. La incertidumbre acerca de sus datos de nacimiento se ha suscitado sólo en 1987, después de que durante siglos el lugar de nacimiento de Torricelli se lo hubieran disputado con un cierto acaloramiento dos ciudades: Faenza, en la provincia de Ravena, e Imola, en la provincia de Bolonia, con una propensión de los expertos, no disimulada, hacia la ciudad de Faenza. Torricelli estaba a punto de convertirse en uno de los «faentinos» más célebres, cuando el investigador Giuseppe Bertoni encontró en Roma el certificado de bautismo en el que se afirmaba que, fuera de toda duda, Evangelista había nacido en esta ciudad. Se confirmaba al mismo tiempo la fecha de nacimiento: 15 de Octubre de 1608³⁴.

A pesar de este *éxito*, quedan muchos puntos oscuros sobre su infancia y su adolescencia. Torricelli es el apellido de la madre, que él asumió de acuerdo con una costumbre no del todo insólita del siglo XVII, en tanto que el del padre era Gasparo de Ruberti. Realizó sus primeros estudios en Faenza, y no se sabe cuándo regresó la familia a Roma ni cuándo conoció el joven Evangelista al abad Benedetto Castelli, renombrado discípulo de Galileo y profesor de matemáticas en la universidad romana de *La Sapienza*. Es seguro que el encuentro sucedió antes del 11 de Septiembre de 1632, fecha de la primera carta a Galileo, en la que Torricelli afirma ser alumno de Castelli desde hacía seis años. Siguen años de silencio, durante los cuales acompañó en las *Marche* a Giovanni Ciampoli, amigo de Galileo y personalidad importante de la Curia romana. Ciampoli fue alejado de Roma y enviado a las *Marche* como gobernador a finales de 1632, poco antes del inicio del proceso a Galileo, y allí permaneció hasta su muerte acaecida el 18 de Septiembre de 1643. Torricelli, en cambio, regresó a Roma a comienzos de 1641.

Castelli obtiene la autorización para trasladarse junto a Galileo, recluido en su villa de Arcetri, próxima a Florencia, en Marzo de 1641; y en esta ocasión habló de los trabajos de Torricelli sobre la ciencia del movimiento, dejándole a su ilustre huésped algunos

³⁴ Véase de G. BERTONI «La faentinità di Evangelista Torricelli e il suo vero luogo di nascita», en *Toricelliana* 38 (1987), pp. 85-94.

escritos de su alumno. El abad se quedó impresionado no sólo por la ceguera, sino por los achaques que afligían al maestro y, temiendo que sus «especulaciones» más recientes pudieran perderse, le propuso hacer venir a Torricelli a Florencia para que se ocupara de su redacción. La propuesta fue favorablemente acogida por Galileo. Dos semanas más tarde, el 27 de Abril de 1641, Torricelli le escribía al recluso de Arcetri para agradecerle la invitación y lamentarse de no poder partir antes del regreso de Castelli a Roma. La ausencia de Castelli se prolongará hasta el otoño, y es lícito preguntarse si esa fue la única causa de que Torricelli no partiera. En el contexto político y cultural de la época hacía falta una buena dosis de coraje para ponerse a recoger las ideas de aquellos a quienes los poderosísimos inquisidores del Santo Oficio habían decidido hacer callar. Aunque continuó escribiéndole a Galileo, Torricelli no daba indicaciones precisas sobre la fecha de su llegada y parecía dudar acerca de la decisión misma de trasladarse a Florencia. Galileo se sintió profundamente dolido y no dudó en decírselo en una carta del 27 de Septiembre con unas palabras que traslucen su desilusión, su desconsuelo y la convicción de que el joven estudioso se ha dejado seducir por otros proyectos: «no quiero ni debo tratar de dificultar su buena situación y sus perspectivas –escribe él– [...], pero bien puedo decirle con sincero afecto que acaso también aquí se habría reconocido el mérito de su talento excepcional, y mi pobre habitáculo no le proporcionaría quizás alojamiento menos cómodo que algunos otros más suntuosos, porque estoy seguro de que el afecto del huésped no lo iba a encontrar en ningún otro lugar más ferviente que en mi pecho»³⁵. Las palabras de Galileo tuvieron un efecto inmediato: a principios de Octubre Torricelli partió para Florencia. La muerte de Galileo el 8 de Enero de 1642 interrumpió la actividad de Torricelli, que decidió regresar a Roma, pero Fernando II le propuso que se quedara en Florencia con el título de «matemático del Gran Duque de Toscana» y de «lector de matemática en la Universidad de Pisa».

El experimento de Florencia.

El interés por la matemática y, en particular, por el método de los indivisibles de Bonaventura Cavalieri no habían acaparado toda la actividad del joven estudioso, que ya se había distinguido como técnico en la construcción de «vidrios» para los anteojos. Por otra parte, como ya se ha señalado, él estaba vinculado a Ricci y a Magiotti. Este último, tras la muerte de Berti, que se produjo en la segunda mitad de 1643, trataba de organizar nuevos experimentos con líquidos más pesados que el agua, lo que habría permitido disminuir la altura del tubo y, por tanto, construirlo de vidrio. Con las técnicas del vidrio soplado utilizada en la época no era posible fabricar tubos de una longitud de dieciséis metros o más. Quizás el propio Magiotti le sugirió a Torricelli, en una carta perdida³⁶, que el agua del mar, más pesada que el agua dulce utilizada por Berti, habría hecho menos difícil la realización del experimento. Pero, presumiblemente, fue Torricelli el primero que tuvo la idea de utilizar *plata viva*, esto es, mercurio, del cual se sabía que existían algunas minas en Toscana. Gracias a su densidad casi 13 veces superior a la del agua, *la plata viva*, permitía reproducir el experimento de Berti con un tubo de vidrio de 85 centímetros.

La realización del dispositivo experimental se le confió a Vincenzo Viviani (1622-1703), quien en 1639 había sido acogido por Galileo –gracias a la intervención del Gran Duque y a un subsidio especial de cuatro escudos al año– como «huésped suyo y

³⁵ En *E.N.*, XVIII, p. 358.

³⁶ De WAARD, *L'expérience barométrique...*, citado, p. 113.

discípulo»³⁷. Tras la muerte de Galileo se había quedado en la corte del Gran Duque en calidad de ingeniero militar y arquitecto civil.

El experimento, cuyo propósito era «mostrar los cambios del aire, ora más pesado y grueso, ora más ligero y sutil», como explicará Torricelli en una carta del 11 de Junio de 1644 a Michelangelo Ricci³⁸, tuvo lugar en Florencia en la primavera de 1644 y fue repetido con tubos de vidrio de diversa forma, de 2 brazos de largo (aproximadamente 1 metro y 17 centímetros). En esa misma carta, antes de exponer los resultados, Torricelli señala que, si la causa del *vacío* observado en el extremo superior del tubo es la asumida por él, es decir «el peso del aire», para hacer el vacío habría que hacer un esfuerzo mayor que el que se hace en realidad. «Vivimos sumergidos en el fondo de un mar de aire elemental –escribe Torricelli–, que por indudable experiencia se sabe que pesa». El que está próximo a la superficie terrestre, según las indicaciones proporcionadas por Galileo, pesaría alrededor de 400 veces menos que el agua³⁹. «Pero esta medida –explica Torricelli– se refiere al aire próximo a la superficie terrestre, en tanto que es presumible que «sobre la cima de los montes altos el aire se haga muy puro y de mucho menor peso que la cuatrocentésima parte del peso del agua». En efecto, Torricelli era del parecer de que, si se consideraba que «el aire vaporoso y visible se eleva sobre nosotros en torno a 50 o 54 millas» (1 milla romana = 1482 metros; 54 millas = 80 kilómetros aproximadamente), como afirmaban «los autores de los crepúsculos»⁴⁰, entonces la resistencia encontrada al hacer el

³⁷ En V.VIVIANI, *Quinto libro degli elementi di Euclide, ovvero scienza universale delle proporzioni spiegata colla dottrina di Galileo*, en la Condotta, Florencia 1674.

³⁸ En *Opere dei Discepoli di Galileo, Carteggio*, vol. I, a cargo de P. Galluzzi y M. Torrini, Giunti Barbera, Florencia 1975, p. 122.

³⁹ El peso de un litro de aire seco (eliminado el anhídrido carbónico) a una temperatura de 0 °C. y sometido a una presión equivalente a 76 cm. de mercurio, es de 1,293 gramos. Si se considera que el litro de agua pesa 1000 gramos, el aire pesa alrededor de 791 veces menos que el agua.

⁴⁰ Hasta la Edad Media la determinación de la altura de la atmósfera interesó a los especialistas en óptica. La tradición del *Libro dei crepuscoli* se remonta al estudioso Ibin al-Haytham que vivió en Egipto en torno al año 1000 y es conocido en Occidente con el nombre de Alhazen. El estudioso egipcio sostenía que: a) el fenómeno de los crepúsculos comienza y termina cuando el sol se encuentra a unos 19 grados por debajo del horizonte; b) la refracción de los rayos solares que atraviesan las zonas vaporosas de la atmósfera es la causa de la incierta iluminación del cielo que sigue o anticipa el momento de la puesta o el surgir del sol. Conociendo el radio de la esfera terrestre, Alhazen pudo calcular el espesor del medio refractante. Siguiendo este método, calculó que la franja intermedia en la que se forman los fenómenos meteorológicos vaporosos se eleva a 52000 pasos latinos (= 52 millas aproximadamente) sobre la superficie terrestre. La altura que comprende la *esfera del aire* era superior a dicho valor, ya que parecía añadir la parte de la atmósfera que llega a rozar la esfera del fuego. Estas informaciones se tratan en el artículo de G. Nonnoi, «Evangelista Torricelli, la pressione dell'aria e gli “autori dei crepuscoli”», p. 37, en *Torricelliana*, 48 (1997), Bollettino della Società Torricelliana di Scienze e Lettere, Faenza.

La masa de volumen de aire es siempre decreciente cuando se va hacia arriba: el límite teórico de la atmósfera está en el infinito. Los conocimientos actuales sitúan la altura límite de la atmósfera en una zona de transición bastante larga, desde donde las moléculas partirían hacia el espacio: la probabilidad de que una molécula se encuentre con otra susceptible de volverla a enviar hacia la atmósfera sería prácticamente nula. Esta zona se sitúa entre 500 y 800 kilómetros.

La unidad de presión es el Pascal: $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N}(\text{ewton})/\text{m}^2$. Como esta unidad es muy pequeña, se suele utilizar el hectopascal: $1 \text{ hPa} = 100 \text{ Pa}$. Viejas unidades de presión son el bar y la atmósfera: $1 \text{ bar} = 10^5$

vacío habría debido ser mucho más elevada y la columna de mercurio más alta que la que se midió. En efecto, Torricelli señala en esta misma carta que la altura de la columna de mercurio es de «un brazo y $\frac{1}{4}$ y un dedo de más». Como 1 brazo equivale a 0,583 cm., se obtiene un valor próximo a aquel bien conocido de 76 cm., medido al nivel del mar y con tiempo seco. La altura del mercurio se mantenía idéntica, ya fuera uniforme el diámetro del tubo por uno y otro extremo, ya tuviese el extremo superior forma de baloncito. Torricelli descarta, por tanto, que la fuerza que incide sobre la columna de mercurio sea *interior* a la parte que queda aparentemente vacía (como sostenía Zucchi, aunque Torricelli no lo nombra), puesto que si hubiese sido así, la altura de la columna habría debido depender del volumen de la parte superior del tubo: la «tensión», que, según Zucchi, impedía el descenso del agua, habría debido aumentar con el volumen de la parte en la que tal descenso se hubiera manifestado. «Yo mantengo –escribe Torricelli en la misma carta– que [la fuerza] es externa y que en el barreño [es decir, en el recipiente en el que desemboca el tubo que contiene el mercurio] pesa la altura de 50 millas de aire [...]. El agua, pues, en un vaso igual, pero mucho más largo, ascenderá casi hasta los 18 brazos, es decir, tanto más que la plata viva cuanto el peso de la plata viva es mayor que el del agua». Por otra parte, para mostrar que el extremo superior estaba vacío, Torricelli recurre al siguiente procedimiento: se rellena de agua el barreño y después se eleva «poco a poco» el tubo; cuando el extremo inferior toca el agua, el mercurio comienza a precipitarse; y, si se continúa elevando el tubo de manera que el extremo inferior toque siempre el agua, todo el mercurio desciende y el agua rellena completamente el tubo con «horrible ímpetu». En fin, Torricelli señala que su «intención principal [...] de saber cuándo era más grueso y pesado el aire y cuándo más sutil y ligero» no se ha cumplido, ya que el nivel de mercurio varía «por el calor y el frío, y muy sensiblemente», justamente como si la parte superior del tubo no estuviese vacía, sino llena de aire. Estos son los resultados comunicados por Torricelli a Ricci en la carta del 11 de Junio de 1644.

En su respuesta del 18 de Junio Ricci hace tres observaciones, dos de las cuales, las más importantes, pueden resumirse así: para verificar que el peso del aire es responsable del fenómeno, basta poner sobre el barreño una tapa sobre la que se haya practicado un agujero con el fin de hacer pasar el tubo y posteriormente cerrar todas las partes, de manera que el aire superior no se siga comunicando con el líquido contenido en el barreño. Si el mercurio sigue manteniéndose estable en el tubo, «no se podría seguir atribuyendo el efecto al peso del aire»⁴¹. La segunda observación se refiere al funcionamiento del *schizzatoio*⁴² (un objeto semejante a la jeringa): si se obstruye el orificio por el que se aspira un líquido, la fuerte resistencia que parece superar es la misma ya sea con el extremo del émbolo vuelto hacia arriba o vuelto hacia abajo. ¿Cómo es posible que el peso del aire pueda actuar del mismo modo vuelto hacia arriba y vuelto hacia abajo? Las respuestas de Torricelli llegan en una carta del día 28 del mismo mes. A la primera objeción responde que, si la tapa se ajusta perfectamente a la superficie del mercurio contenido en el barreño, es evidente que del tubo

Pa; 1 atm.=1013,250 hPa. A nivel del mar la presión es algo superior a 1000 hPa. A 300 km. de altitud el «vacío» es de aproximadamente $8,8 \times 10^{-8}$ hPa, y ese es también el valor límite del «vacío» que se puede obtener hoy en día en un laboratorio.

⁴¹ En *Opere dei Discepoli di Galileo, Carteggio*, p. 126. En esta carta a Torricelli, Ricci cita a Lucrecio, «como V.S. recordará haber leído», indicando, por tanto, que su interlocutor conoce el *De Rerum Natura*.

⁴² N. de trad. El nombre del instrumento (una bomba expelente) deriva del verbo *schizzare* (lit. ‘chorrear’, ‘salpicar’, ‘derramar’, ‘verter’).

no puede salir nada. Si del aire queda algo apresado entre la tapa y la superficie del mercurio y si tiene «el mismo grado de condensación que el de fuera» el nivel de mercurio en el tubo no cambiará. Si está «más rarefacto», el mercurio «ascenderá un poco»; y si, en fin, está «infinitamente rarefacto, es decir, vacío, entonces [el mercurio] descenderá por completo, siempre que el espacio cerrado lo pudiese coger [esto es, ‘contener’]». Y Torricelli pone el ejemplo de un cilindro lleno de lana (o de cualquier otra materia comprimible) con un fondo fijo y una tapa móvil que se adapta perfectamente al cilindro. Si se comprime la lana con un peso de 10 millones de libras de plomo situado sobre la tapa, el fondo fijo sufrirá una fortísima «violencia». Y si se introduce una lámina a media altura en el cilindro, de modo que separe la lana que se encuentra por encima de ella de la que se encuentra por debajo de la lámina, y si la lana se comprime como antes, el fondo sufrirá la misma «violencia».

A la segunda observación, Torricelli responde de forma casi burlesca relatando la historieta de un filósofo que creía que el vino sólo podía «salpicar» desde la botella hacia abajo. Un sirviente le mostró que se podía «salpicar» a la derecha, a la izquierda e incluso hacia arriba⁴³. Esto era como decir que la fuerza debida al peso del aire se ejerce en todas direcciones.

El experimento de Florencia dio lugar a debates y polémicas, que se fueron incrementando, de la misma manera que la crecida de un torrente, tras los experimentos de Pascal. En primera línea, los jesuitas harán de la existencia del vacío una importantísima cuestión de principio. ¿Cuáles fueron las reacciones inmediatas de Torricelli? Ninguna. Los únicos documentos de que disponemos son las dos cartas a Ricci del 11 y del 28 de Junio de 1644. No parece, por otra parte, que él hubiera previsto el enorme impacto que habría tenido su experimento. Una observación de Ricci explica quizá su posición: «temo que provocará también demasiado escándalo –escribe Ricci dirigiéndose a Torricelli en la carta del 18 de Junio– por la temeraria opinión de los susodichos teólogos y por la constante costumbre de mezclar de inmediato las cosas de Dios con el razonamiento natural». Quizá hubiera intervenido, pero más tarde. Su prematura desaparición en 1647 sólo nos permite plantearlo como una hipótesis. Es, sin embargo, un hecho que la postura de Torricelli la siguieron por igual sus más estrechos colaboradores y amigos, Viviani, Magiotti (1597-1658) y Ricci, que callaron como si nada tuvieran que decir sobre el vacío y su existencia. De Ricci sabemos que se hizo sacerdote y que fue nombrado cardenal en 1681, un año antes de morir.

Blaise Pascal: noticias biográficas.

Blaise nace en Clermont el 19 de Junio de 1623. Algunos meses después, a lo largo de 1624, Richelieu consigue su reincorporación definitiva en el *Conseil du Roi* y con ella el poder. La infancia y la adolescencia de Blaise Pascal se desarrollan bajo el signo de su reinado. El padre Etienne Pascal, alto funcionario real, es titular del cargo de segundo presidente de la *Cour des Aides* de Clermont. A la edad de un año Blaise cae en un extraño estado de languidez. El mal presentaba dos características peculiares: el niño se ponía violento a la vista del agua y montaba en cólera cuando veía a sus progenitores acercarse uno a otro. Las crisis se agravaron tanto que hicieron pensar que Blaise estaba definitivamente perdido⁴⁴. Esta larga crisis coincidió con el embarazo de su madre. Su hermana Jacqueline nació el 5 de Octubre de 1625. Comenzó desde entonces una relación

⁴³ *Ibid.*, pp. 131-132.

⁴⁴ Del relato de una nieta de Blaise, en ANTOINE ADAM, *Histoire de la Litterature française au XVII^e siecle, II, L'époque de Pascal*, Domat, París 1951, p. 212.

entre los dos niños hecha de ternura y de amor, que para algunos historiadores «está situada por completo bajo el signo del incesto»⁴⁵. Al año siguiente muere su madre y Etienne Pascal decide abandonar el cargo de presidente para dedicarse por completo a la educación de sus hijos. En 1631 la familia se traslada a París, donde permanecerá hasta 1640. Ella «ocupa un rango elevado en la sociedad parisina. Jacqueline goza de la reputación de *enfant prodige*. Muy mimada en la Corte, llegan a conocerla la Reina Ana y la duquesa de Aiguillon, nieta del todopoderoso cardenal. [...] Junto con dos amigas pertenecientes a la alta nobleza compone una comedia en 1636 y unos versos en 1638 para la reina, que está encinta»⁴⁶.

En 1638 Etienne Pascal se implica en un movimiento de protesta de los rentistas (la *protestation des rentiers*), que se quejaban de la excesiva presión fiscal ejercida por el Cardenal. Se ve obligado a refugiarse fuera de París. Al año siguiente Jacqueline actúa, en presencia del Cardenal, en *L'amour tyrannique* de Georges de Scudéry, en que se le había encomendado un papel. Al final del espectáculo se acerca al Cardenal, hace un elogio de él y después prorrumpe en llantos, y obtiene el perdón para su padre. El cardenal envía a Etienne Pascal a Normandía, a Rouen, en calidad de «comisario de su Majestad para la recaudación de los impuestos y de las contribuciones». La familia permanecerá allí desde 1640 a 1647.

Las manifestaciones psicósomáticas que Blaise había padecido de niño vuelven a comenzar: parálisis de los miembros inferiores, inflamación intestinal, imposibilidad de ingerir alimentos, excepto líquidos gota a gota y muy calientes. Desde entonces las afecciones físicas ya no lo abandonaron más. A pesar de todo, él continuará trabajando. De este periodo es la redacción y la publicación de un breve *Essai pour les coniques*. Según Mersenne, habría escrito un tratado de unas 400 proposiciones de geometría, del que todavía no se ha encontrado ningún rastro⁴⁷. Jacqueline se distingue, a su vez, obteniendo, a instancias de Corneille, que se había hecho amigo de la familia, un primer premio de poesía a los 15 años.

Blaise se dedicará a la construcción de la *machine arithmétique* a comienzos de 1641 y hasta 1645. En 1646, a la edad de 23 años, ingresa en un hospital. En esta ocasión fervientes adeptos de *Port Royal* se hacen cargo de su asistencia, evidenciando formas de caridad cristiana más exigentes que las prácticas religiosas observadas por los altos servidores del Estado. Etienne Pascal se convierte y arrastra consigo a toda su familia. Desde este momento el destino de la familia se confunde con el de *Port Royal*. La Abadía está en manos de la familia Arnauld, originaria de Auvergne, como los Pascal. Los Arnauld y los Pascal se alinean con la intención de crear en Francia un partido capaz de oponerse a los jesuitas.

Esta *primera* conversión tuvo consecuencias importantísimas para Jacqueline. Aunque hasta entonces había sido poco devota, renuncia a un proyecto de matrimonio y se hace monja. Da la impresión de que Blaise la influyó poderosamente en tal decisión, al explicarle que «no es posible servir al mismo tiempo a Dios y al mundo»⁴⁸. Pascal fue orgulloso, violento en su oposición a los jesuitas.

⁴⁵ En *Mémoire de la Science. Le XVII^e siècle*, de Michèle Porte, citado, p. 366.

⁴⁶ En ADAM, *Histoire ...*, citado, p. 210-211.

⁴⁷ Algunos escritos de geometría proyectiva, redactados entre 1654 y 1658, fueron publicados gracias a la mediación de Leibniz, que estaba de paso por París, cf. «Lettera di Leibniz a Etienne Périer», en BLAISE PASCAL, *Œuvres complètes*, presentación y notas de L. Lafuma, Seuil, París 1963, p. 38, cita contenida en *Mémoire de la Science. Le XVII^e siècle*, de Michèle Porte, citado, p. 368.

⁴⁸ En ADAM, *Histoire ...*, citado, p. 216.

La guerra del vacío.

Como se ha dicho al principio, el experimento de Torricelli se conoció rápidamente en Francia. En 1646 Pascal comenzó a acariciar la idea de repetirlo, siguiendo las informaciones proporcionadas en Rouen por Pierre Petit.

En los dos últimos años numerosos intentos de repetir el experimento de Florencia habían resultado fallidos. El vidrio, a menudo de muy mala calidad, no resistía el descenso del mercurio. Dos preguntas seguían planteadas: a) ¿era el peso del aire efectivamente el responsable del mantenimiento del mercurio en el tubo?; b) ¿qué había por encima del mercurio? ¿el vacío?

Pascal efectuó en Rouen numerosas réplicas del experimento entre 1646 y 1647 en reuniones públicas en las que se mezclaban intereses científicos y mundanos; y llegó a alcanzar ya en el primer semestre de 1647 un nivel avanzado en el conocimiento del problema.

En el otoño de 1647 le llegó a Mersenne una carta de Varsovia, según la cual constaba que el padre capuchino Valeriano Magni afirmaba haber puesto de manifiesto por primera vez la existencia del vacío. Pascal publicó inmediatamente, en Octubre, *Les expériences nouvelles touchant le vide*⁴⁹. Al principio del prefacio se lee: «cuatro años hace que se ha probado en Italia que un tubo de vidrio de 4 pies [1,3 m.: un *piéd du roi* = 0, 325 m.], cuyo extremo inferior está abierto y el otro herméticamente cerrado, tras haberlo rellenado de plata viva y haber cerrado a continuación la abertura con el dedo o con otra cosa, puesto el tubo perpendicularmente al horizonte con la abertura hacia abajo y sumergido dos o tres dedos en un vaso lleno a medias de otra plata viva y de agua, si se destapa la abertura, la plata viva del tubo desciende en parte, dejando en el tubo por la parte de arriba un espacio aparentemente vacío [...]. Si se alza un poco el tubo de manera que el extremo toque el agua, la plata viva sube hasta arriba con el agua y, al final, estos dos líquidos se mezclan en el tubo y toda la plata viva cae y el tubo se vuelve a llenar de agua». El experimento descrito es exactamente el de Torricelli, pero el nombre del científico italiano no figurará ni en este ni en los otros escritos de Pascal sobre el vacío.

Pascal confirma más o menos la altura de la columna de mercurio, 2 pies y 3 pulgadas [una pulgada = 2,7 cms.], describe numerosas variantes del experimento e indica que en el tubo se produce lo mismo que sucede cuando, mediante una bomba aspiradora, se hace subir el agua hasta una altura de 31 pies, que corresponden a la altura de 2 pies y 3 pulgadas de la columna de mercurio⁵⁰.

La conclusión de Pascal es que «tras haber demostrado que ninguna materia, de las que caen bajo nuestros sentidos y de las que tenemos conocimiento, rellena este espacio en apariencia vacío, [...] se puede hablar de verdadero vacío». ¿Cuál es la fuerza que hay que vencer para producirlo? No es el peso del aire, como se deduce de las siguientes *máximas* (*maximes*) propuestas por Pascal al final del tratado: 1) todos los cuerpos evidencian repugnancia (*répugnance*) a separarse el uno del otro y a admitir el vacío en el intervalo; es decir, la naturaleza aborrece el vacío; 2) este horror o repugnancia que tienen todos los cuerpos no es mayor si se da lugar a un vacío más grande que a un vacío más pequeño, es

⁴⁹ *Les expériences nouvelles touchant le vide. Dédié à Monsieur Pascal conseiller du Roi en les Conseils d'État e privés par Blaise Pascal son fils*, París 1647, «Au lecteur» [n. de trad.: la cita que sigue está traducida al español de la traducción que, a su vez, ha hecho el autor de la conferencia, E. Festa, del francés al italiano].

⁵⁰ La precisión de las medidas es del orden del 5 %.

decir, si se ocupa un intermedio grande o uno pequeño; 3) La fuerza de este horror es limitada e igual (*pareille*) a aquella con la que el agua, a partir de una cierta altura, que es más o menos de 31 pies, tiende a deslizarse hacia abajo (*de l'eau d'une certaine hauteur, qui est à peu près de 31 pieds, tend à couler vers le bas*). En estas tres máximas se vuelve a encontrar la *répugnance* de los cuerpos a separarse a causa del vacío que se crearía *en el intervalo*, como en el ejemplo de las dos planchas de mármol propuesto por Galileo. Esta fuerza es limitada, y por tanto medible, pero no está claro si la fuerza del agua *de una cierta altura* tiene el mismo significado que en Galileo.

Las reacciones de los jesuitas son inmediatas: el padre Estienne Noël, rector del Colegio de Clermont, publica una carta muy violenta, a la que Pascal responde el 29 de octubre. Nueva carta del padre Noël y su denuncia al príncipe *de Conti* de los experimentos sobre el vacío. Esta vez, la respuesta está firmada por Etienne Pascal. Contra los jesuitas los Pascal emprenden una guerra abierta.

El encuentro de Blaise Pascal con Descartes, el 23 y 24 de Septiembre de 1647, tendrá como consecuencia la orientación de las investigaciones hacia el peso del aire como causa de los fenómenos observados. Descartes, adversario del vacío, le sugiere a Pascal que verifique si la presión del aire varía con la altura, y el 13 de Diciembre de 1647 le pide noticias del experimento a Mersenne⁵¹. La carta en que Pascal le encarga a su cuñado Florin Périer que realice el experimento en Auvergne, lleva la fecha del 15 de Noviembre de 1647. Pero el experimento que permitirá poner de manifiesto la disminución de la altura de la columna de mercurio entre la ciudad de Clermont y la cima del *Puy de Dôme* –situada 500 toesas más alto [1 toesa = 2 m. aproximadamente]– se produce el 19 de Septiembre de 1648. El relato de Périer es del 22 de Septiembre. Périer refiere que la altura de la columna de mercurio ha disminuido en «3 pulgadas y una línea y media». La hipótesis de que la carta de Pascal a Périer tuviera una fecha anticipada ha sido admitida generalmente por los historiadores. Es difícil admitir, en efecto, que hayan transcurrido diez meses entre la idea del experimento y su realización.

Pascal publica la carta con fecha de 15 de Noviembre de 1647, el relato de Périer y la interpretación del fenómeno en Octubre de 1648 en París. Él escribe que había podido constatar la variación de dos líneas de altura de la columna de mercurio entre la parte de abajo y lo alto de la Torre Saint Jacques en París. Explica que «la naturaleza no evidencia ninguna repugnancia hacia el vacío [...]. Todos los efectos que se han atribuido a este horror proceden del peso y de la presión del aire»: una interpretación distinta de la propuesta en *Expériences nouvelles touchant le vide*, pero que hará historia.

El descubrimiento de la *verdadera causa* del fenómeno habría podido suscitar entusiasmo. Por el contrario, seguía alimentando la polémica con los jesuitas sobre la naturaleza del espacio dejado por la plata viva. En un libro de título particularmente explícito, *Le plein du vide*, publicado en París en 1648, el padre Noël describe la existencia de una fuerza capaz de superar el peso del líquido y detenerlo cuando alcanza una cierta altura. Explica, a continuación, que el espacio dejado libre en realidad está lleno de la parte «más sutil» del aire, el éter, capaz de atravesar las paredes del tubo⁵².

Obligada a ceder su puesto al problema del vacío, la presión atmosférica aguardará pacientemente su hora de gloria. Los dos tratados de Pascal *L'Équilibre des liqueurs* y *La pesanteur de la masse d'air*, serán publicados por Florin Périer en 1663, tras la muerte del autor.

⁵¹ DESCARTES, *Opere*, texto establecido, presentado y anotado por F. Alquier, Classiques Garnier, París 1663, III, p. 754-6.

⁵² *Le Plein du Vide*, § IV e § XI.

Conclusión.

En Lyon Honoré Fabri, eminente matemático jesuita, criticó violentamente a los defensores del vacío. En Roma los Revisores del Colegio Romano, la prestigiosa institución que coordinaba la enseñanza en las escuelas jesuitas, censuró el 26 de Enero de 1649 la proposición que afirma la existencia «de pequeños vacíos, en pequeño o gran número, de densidad o rareza grande o pequeña»⁵³. La lista de los escritos contra el vacío sería demasiado larga.

En Varsovia Valeriano Magni, tras haber sabido del experimento de Florencia, no tuvo dificultades en reconocer la anterioridad de Torricelli. Igual que Torricelli, admitía la existencia del vacío. Adversario acérrimo de Aristóteles y de los jesuitas, Magni concentró sus ataques contra la noción de *lugar*. Era su ambición demoler toda la construcción aristotélica utilizando los instrumentos de la nueva física. Su tratado *Demonstratio ocularis loci sine locato* (*Demostración ocular de un lugar sin ocupante*) tuvo gran difusión en Polonia y se publicó pronto en Francia. Magni constataba que la parte vacía del tubo dejaba pasar la luz y que ella subsistía en ausencia de un soporte *sustancial*, de un *lugar*. Como brillante polemista, acostumbrado a la violencia verbal y escrita, utilizó el argumento para tratar de demoler uno de los ejes centrales de la física aristotélica. Y quizá logró poner en crisis a algún *plenista*. Pero ¿cómo habría podido un simple franciscano destruir la fuerza que tenían los jesuitas? Magni no hace referencia al peso del aire y construye un complicado sistema basado en dos fuerzas en el interior de la región vacía para justificar el mantenimiento del mercurio en el tubo. Su libro se publicó en Italia, antes de que el peripatético Giovanni Fantuzzi y después de que un grupo de defensores del vacío que, reunido en torno a Giannantonio Rocca, constituyesen en la patria de Torricelli «la única voz, débil, a favor de la existencia del vacío»⁵⁴.

Más tarde, se levantó alguna voz entre los jesuitas para denunciar el exceso de tradicionalismo. El padre Daniello Bartoli, relevante miembro de la Compañía de Jesús, fue particularmente severo. En una carta dirigida el 30 de Enero de 1677 a su correligionario Francesco Lanaterzi, en la que se lamentaba del comportamiento de «nosotros los míseros peripatéticos», se expresaba así «Merecemos el mal que padecemos, porque con [nuestras] inútilísimas insensateces metafísicas, no enseñamos filosofía natural ni sabemos nada de ella. La explicación de esto es que entre nosotros hay maestros que profieren disparates debidos más a la maldad que a la ignorancia»⁵⁵. Ciertamente la defensa de lo *lleno* no fue la batalla más importante desarrollada por los neoaristotélicos; sin embargo, contribuyó a frenar la renovación de la cultura científica, sobre todo en Italia.

Traducción del italiano de

JOAQUÍN GUTIÉRREZ CALDERÓN

Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia

⁵³ «Vacua parva, pauciora vel plura, minora vel maiora, pro densitate vel raritate eius», *Archivum Historicum Societatis Iesu*, ARSI, Roma, F. Ges. 657, p. 475.

⁵⁴ Cf. M. BUCCIANTINI, «Valeriano Magni et la discussion du vide en Italie», p. 134, en *Géométrie, atomisme et vide dans l'école de Galilée*, citado, pp. 129-152.

⁵⁵ *Archivum Historicum Societatis Iesu*, ARSI EPP.NN.96 f.4r-v: «Meritiamo il male che patiamo, perchè tuttavia su le inutilissime metafisicherie, né insegnamo filosofia naturale, né ne sappiamo nulla, e perciò la spiegazione è che ci sono qui maestri che ne dicono spropositi che son presi più tosto a malignità che ad ignoranza».