



Historias del vacío: la ingeniería y la nada

*En pos de su nivel se lanza el río
por el gran desnivel de los breñales;
El aire es vendaval, y hay vendavales
por la ley del no fin, del no vacío*

Almafuerte

Por **Roberto E. Cunningham** (*)

(*) *Roberto E. Cunningham se desempeñó como Director General del IAPG por 16 años y al momento de su fallecimiento tenía pendiente publicar este trabajo, que hoy damos a conocer como justo homenaje.*

Resumen ejecutivo

En la primera parte de este informe se pasa revista a la búsqueda experimental del *vacío por succión*, a partir de los intentos de Otto von Guericke, seguidos por Robert Boyle y Christian Huygens. Se comenta el debate de este último autor con Robert Hobbes. Además, se describe el panorama de las escasas bombas de vacío en el siglo XVII y sus problemas de funcionamiento.

El relato continúa con la búsqueda del *vacío por condensación de vapor* a partir de las experiencias de Denis Papin, seguidas por las de Thomas Savery, Thomas Newcomen y James Watt que dan nacimiento a la máquina de vapor.

En la segunda parte, se retrocede en el tiempo y se narra la experiencia a partir de los griegos; de allí en adelante, se discuten los conceptos que han preocupado al hombre a través de las épocas: la nada en filosofía, el cero en matemática y el silencio en el lenguaje. Se muestra la vinculación de estas teorías con la idea de vacío, todos ellos fuente de temor, aprehensión, incluso rechazo y la lucha del hombre por superar dichas barreras.

Introducción

A la manera de ciertas novelas o películas, comenzamos esta historia por el relato de su etapa final, consistente con la conquista material del vacío por parte del hombre.

En el mundo de la técnica, numerosos artefactos son casi tan antiguos como el hombre: herramientas, palancas, tornos, poleas son testimonio de ello.

En cambio, otros desarrollos han debido transitar un camino plagado de dificultades, tropiezos y confusiones. La obtención del vacío es uno de ellos.

Más aún, antes de su generación material, el vacío ocupó un lugar preponderante en el pensamiento humano; ligado al cosmos, a nuestro origen y destino, el vacío fue motivo de aprehensión y temor.

El vacío se liga a la nada y al cero, al no-ser y, en esa línea, la filosofía, la matemática y la física se funden en una misma y única inquietud.

Más aún, como testimonio de atracción y curiosidad, el vacío se entronca con el maquinismo nacido de la Revolución Industrial, germen del mundo que hoy vivimos.

Comencemos, pues, con esta historia.

Primera parte

El vacío

Con relación al vacío hay dos rutas de análisis: la teórica y la experimental.

Respecto de la primera, digamos que el vacío representa el cero físico, el cero de espacio absoluto. La nada de la materia. El silencio de la física. ¿Existe realmente el vacío?

La ciencia y la teología medieval lidiaron constantemente con la idea de vacío.

Aristóteles había previsto que el mundo supralunar, el de las cosas perfectas, incorruptibles, estaba poblado de un quinto elemento. No había vacío. De ahí surge el concepto de la quintaesencia.

De ahí en más y por muchos siglos, se afirmó que todo estaba inundado por un éter sutil. Maxwell descubrió, a través de sus ecuaciones, que hay ondas electromagnéticas desplazándose por el espacio. Halló en el éter el soporte para esas ondas, de igual modo que el aire lo era para las acústicas.

Tiempo después, Einstein se encargó de demostrar que el éter no es necesario para que las ondas electromagnéticas se desplacen: el mismo espacio es su soporte. Los universos vacíos podían existir. ¿Existen realmente?

En todo caso, la revolución cuántica mostró que la imagen de vacío como una caja sin nada es insostenible. Por lo tanto, el vacío constituía el estado al que se llegaba cuando se eliminaba todo lo que se podía eliminar: el estado de mínima energía posible. Cualquier intento de

intervenir, perturbaba y elevaba tal energía. Entonces, el mundo podía tener muchos estados vacíos diferentes. Pero, ¿está el vacío despojado de todo?

Nos queda la incógnita del Génesis: ¿qué había antes del *Big Bang*?

El vacío y las bombas hidráulicas

La primera invención de un dispositivo de transporte hidráulico correspondió a los mesopotámicos, alrededor de 3000 a. de C.

Este instrumento consistía en un brazo horizontal que pivotaba sobre un soporte vertical. De un extremo del brazo pendía un balde que se sumergía en el agua mientras del otro extremo colgaba una pesa para ayudar a elevar el balde.

Para el año 500 a. de C. se produjo la aparición de tres nuevos dispositivos. Así, surgió la rueda hidráulica o *saqiya*, que tenía recipientes distribuidos en su circunferencia. La rueda recogía el agua de la fuente por su parte inferior, la elevaba y descargaba en el canal de irrigación.

También surgió el tímpano, citado por Vitruvio, consistente en una rueda con compartimientos radiales que alojaban y expulsaban el agua.

Otro dispositivo antiguo fue la cadena de cangilones que se supone se empleó para irrigar los jardines colgantes de Babilonia.

Alrededor de 250 a. de C. nació el conocido tornillo de Arquímedes, basado en un helicoides que arrastraba el agua. El tornillo se usaba habitualmente para extraer agua de la sentina de embarcaciones y suele decirse que Arquímedes lo popularizó en función de uno que había visto en Egipto. La versión moderna del tornillo se basa en hélices montadas sobre un eje y es útil en el movimiento de sedimentos en plantas de tratamiento de agua, dado que no se atasca.

El ancestro primigenio de la bomba de succión a pistón se debe a Ctesibus de Alejandría, del siglo III a. de C. y es citado por Filo de Bizancio un siglo después. Se trataba de una bomba de impulsión de agua sumergida en ésta (véase figura 1).

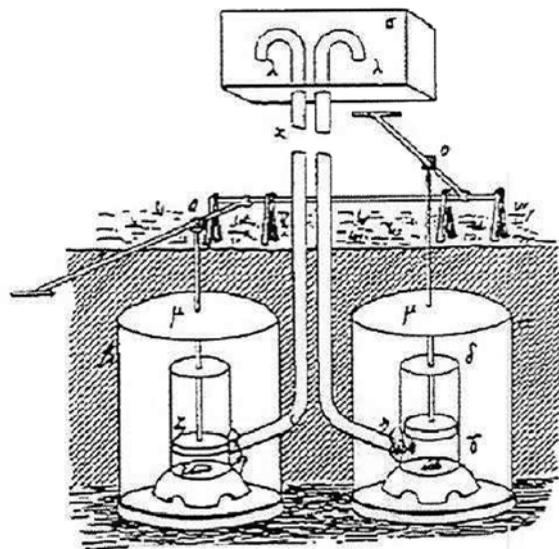


Figura 1. Bomba de Ctesibus

Se encuentran restos de esta bomba hecha en bronce en la época del Imperio Romano. Como la bomba de Ctesibus era de inmersión, tenía la limitación de su utilidad si el nivel del agua para remover descendía por debajo de ella.

La solución para este inconveniente residió en la aplicación del vacío mediante un pistón, en cuyo caso la máxima altura de columna de agua que podía lograrse en teoría es de apenas algo más de 10 metros.

La primera bomba de succión a pistón que se conoce está citada en 1206 por su inventor árabe Al-Jazari. Consistía en dos émbolos horizontales con sendos pistones enfrentados, provistos de válvulas de retención y accionados por una rueda hidráulica. Se disponía de un sólo conducto de impulsión. La invención de esta bomba es destacable por tres razones: primero, porque es la primera conocida en aplicar el vacío por succión; segundo, porque involucra la aplicación de un principio de doble acción; por último, porque representa la conversión de un movimiento rotatorio en uno recíproco. Fue, pues, precursora de la máquina a vapor (véase figura 2).

La bomba a empuje por pistón (similar a la de Ctesibus) hizo su aparición en Europa recién en el siglo XV, de acuerdo con las referencias de Taccola (c.1450) y Martini (c.1475). El cilindro y el pistón eran de madera y no había succión ni tubería de impulsión.

La prácticamente nula difusión de estas bombas en la Europa Medieval se refleja en el hecho de que en 1565 Giuseppe Ceredi pudo patentar a su nombre el tornillo de Arquímedes.

No hay documentación de la existencia de bombas de succión en la Edad Media, que recién es citada por ingenieros del Renacimiento y se entiende que es una herencia de los árabes.

En el siglo XVII Galileo fue consultado acerca de la limitación en cuanto a la altura de elevación de la columna de agua impulsada por la bomba a pistón por parte de los ingenieros de Cosimo II de Médicis, que pretendía una elevación de 15 metros. Por entonces, se entendía que dicha elevación se debía a la idea aristotélica de horror al vacío.

Galileo (1564-1642) encomendó estudiar el problema a su asistente Evangelista Torricelli, quien supuso que la elevación del agua se debía, en rigor, a la presión que ejercía la atmósfera sobre la superficie del agua a extraer. La asistente se basó en la conocida experiencia del tubo

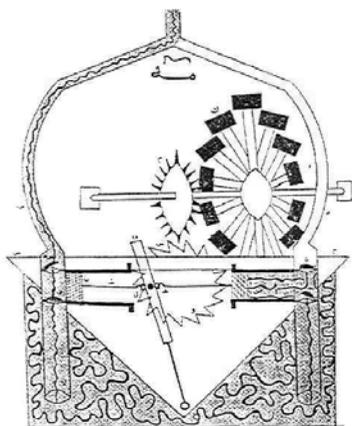


Figura 2. Bomba de Al-Jazari

de vidrio sellado en un extremo llenado originalmente con mercurio e invertido luego en un recipiente con mercurio. Como es sabido, la columna de mercurio descendía desde el extremo superior sellado hasta llegar a una diferencia de altura de 76 centímetros con respecto al nivel de la cubeta, lo que generaba un espacio por entonces supuestamente vacío por encima de la columna.

Ocurrido en 1643, este es el primer ejemplo de vacío fabricado por el hombre del que se tenga registro.

La bomba de Boyle

Poco después, Otto von Guericke (1601-1686), burgo-maestre de Magdeburgo, inventó una bomba a pistón para extraer aire de un recipiente. El hecho de que el aire pudiera ser tratado como el agua en una bomba de vacío constituía una idea tan atractiva como novedosa (véase figura 3).

Von Guericke demostró que en el ambiente vacío el sonido no se propagaba, una llama se apagaba y un animal no sobrevivía. En 1654 efectuó su famosa demostración de los dos hemisferios de 50 centímetros de diámetro delante del Emperador Ferdinando III. En efecto, después de practicar el vacío en ambos hemisferios adosados según su ecuador, se probó que ocho caballos de cada lado no lograban separar los hemisferios tirando en sentido opuesto.

La bomba de von Guericke fue mejorada en 1657 por Robert Boyle (1627-1691) y por su asistente, Robert Hooke (1635-1703). Los científicos se basaron en la descripción de la bomba de von Guericke en la obra de Caspar Schott *Mechanica hydraulico-pneumática*, publicada en 1657.

Boyle observó varias desventajas prácticas en la bomba de von Guericke: a) debía estar sumergida en un gran

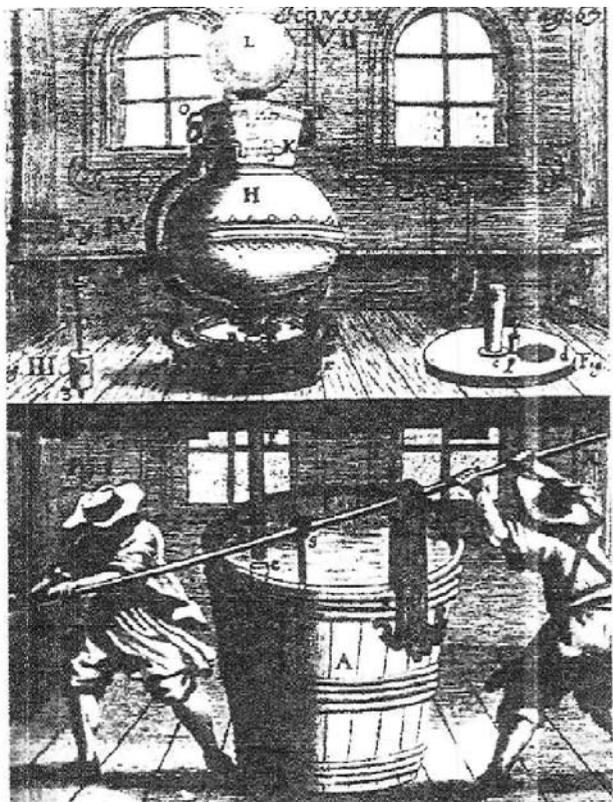


Figura 3. Bomba de Otto Von Guericke



Figura 4. Bomba de Robert Boyle

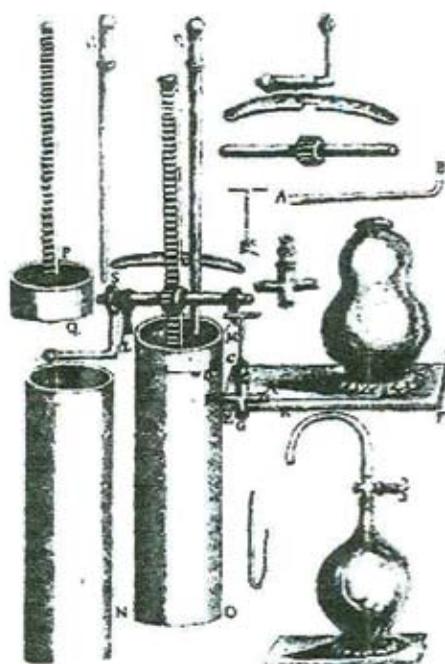


Figura 5. Bomba de Robert Boyle

volumen de agua, b) era una vasija maciza, en la que no se podían insertar aparatos experimentales, c) era muy difícil de operar y requería la labor de dos hombres por varias horas. La construcción de la bomba de Boyle estuvo a cargo del fabricante de instrumentos Greatorex.

Esta invención consistía en un gran recipiente de vidrio de 30 litros con una tapa que se podía abrir por arriba. En la parte inferior había un cilindro de latón con un émbolo que se desplazaba mediante una cremallera. Entre el recipiente vacío y el émbolo se colocaban dos llaves para permitir la operación (véanse figuras 4 y 5)

No se conserva ningún ejemplar de la bomba de vacío original de Boyle, que fue descrita en dos de sus publicaciones⁽²⁾. A comienzos del siglo XIX se creía que la bomba de vacío expuesta en la *Royal Society* era la original de 1658/59, sin reparar que este dispositivo poseía dos cilindros mientras la original tenía sólo uno.

Las bombas sobrevivientes son las de principios del siglo XVIII, de doble tambor de Hauksbee (c.1703-09); también sobrevivieron las holandesas de la misma época. Hay réplicas modernas de la original pero sin registro de haberse operado⁽⁶⁾.

Por entonces, Christian Huygens (1629-1695) asiste personalmente a una demostración de Boyle y se aboca a la construcción de una bomba similar.

En el período 1659-61 había bombas de vacío instaladas en Halifax, Oxford, Londres y La Haya, con contactos directos entre sí a través de Boyle y Huygens. A su vez, las había en Würzburgo, Regensburg y Magdeburgo, con contactos directos a través de Schott y von Guericke. También, en París y en Florencia, en la *Accademia del Cimento*. Problemas de puesta en marcha, funcionamiento y fugas eran motivo para tales contactos.

Por entonces, la bomba de vacío era una curiosidad exótica sólo destinada a expertos. Se trataba de un aparato similar de lo que en su momento fue el ciclotrón en

tiempos modernos.

Entre 1662 y 1669, Huygens estableció contacto con la Academia Real y el Grupo Montmor en París, más Cambridge, también en la lista.

Actualmente, hay ejemplares de la bomba de Hauksbee en el *Royal Scottish Museum* de Edimburgo; el *Deutsches Museum* de Munich; la *Longleat House* de Wiltshire; el *Museum of the History of Science* de Oxford y el *Science Museum* de Londres (propiedad de la *Royal Society*).

Además, Boyle dejó caer una pluma y un trozo de plomo en un ambiente vacío, verificando que caían casi al mismo tiempo. Así, se anticipó a la experiencia de David Scott y James Benson en la misión Apolo 15 y confirmó lo previsto por Galileo.

Boyle verificó también que la atracción eléctrica tenía lugar en el vacío y trasladó la máquina completa de Londres a Oxford.

Hubo muy pocas bombas trabajando en forma simultánea. Era necesario asistir personalmente a una operación de la bomba de Boyle para luego poder construir otra, como había ocurrido con Huygens.

Las bombas de la época de Boyle tenían, todas, serios problemas de funcionamiento y las fugas, uno de los inconvenientes principales.

Así, la apertura superior del recipiente fue sellada por Boyle con *diacquilon*, que probablemente constituyera una mezcla de aceites vegetales con óxido de plomo, que luego fue mejorada con una mezcla de pez fundido, resina y cenizas de madera. A su vez, el émbolo estaba rodeado por un anillo de cuero lubricado con "aceite común".

Para sellar fisuras en la cámara de vidrio, Boyle recomendaba una mezcla de cal viva, raspaduras de queso y agua, fundidas en una pasta hasta que tuviera "un fuerte y hediondo olor", extendida sobre un lienzo⁽⁶⁾.

La bomba de vacío pasó a ser el emblema de una nueva época. Fue el equipo más grande y costoso empleado en

la práctica experimental, después del horno del químico y del aparato de destilación.

Cuando había que entretener a visitantes en la *Royal Society* se recurría a la bomba de Boyle y al microscopio de Huygens.

El costo de la bomba superaba el salario anual de Robert Hooke, curador de la *Royal Society*.

El texto de Boyle *New Experiments*, de 1660, se compone de 43 corridas con la bomba. En la corrida 17 Boyle introdujo el tubo de Torricelli en su cámara de vacío.

La disputa Boyle-Hobbes

En esta época se discutió si el espacio por encima de la columna de mercurio de Torricelli estaba realmente vacío o no. Los escolásticos afirmaban que el espacio no estaba vacío y que ese lugar estaba dado por la máxima capacidad de expansión del aire. Para Descartes se trataba de alguna sustancia sutil. Torricelli y Pascal afirmaban que el espacio estaba vacío.

No obstante, la controversia más significativa estuvo dada por el prolongado debate instalado entre Robert Boyle y Robert Hobbes (1588-1679).

En la época de la etapa fundacional de la ciencia moderna en el siglo XVII, resultaba obvio que se plantearan disputas entre la vieja concepción del mundo, aristotélica, escolástica, y la nueva que prefiguraba el método experimental.

En tal sentido, dos de tales disputas no se dan entre concepciones antagónicas sino entre los nuevos adalides, por cuestiones de precedencia. Isaac Newton (1643-1727) protagonizó dichas disputas. Una fue con Robert Hooke, a quien ya hemos citado, en relación con la titularidad original de la ley del cuadrado de la distancia para la atracción entre dos masas. La otra fue con el matemático Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716), sobre quién había sido el primero en desarrollar el cálculo diferencial.

Pero la polémica entre Boyle y Hobbes es realmente singular pues Hobbes, como filósofo político, no representaba la vieja concepción del mundo. En efecto, el experto defendía el método de la filosofía como camino hacia la verdad y subordinaba el método experimental a la filosofía.

Hobbes desconfiaba de las conclusiones de Boyle basadas en la posible existencia del vacío. En rigor, Boyle accedía a sus experimentos sin preconcepción alguno: medía, observaba y sacaba conclusiones.

Hobbes representaba la corriente plenista que negaba el vacío. Boyle, en cambio, adoptaba la posición vacuista a la luz de sus resultados.

En aras de defender su posición, Hobbes atacaba las experiencias de Boyle argumentando defectos o errores en las demostraciones. Planteaba defectos de sellado en la bomba, que hacían que el aire entrara allí. Además, defendía la existencia del éter.

Boyle respondía con el método científico en mano. Para refutar la primera argumentación, sumergió la bomba en agua. Para analizar la segunda, dispuso un fuelle dentro de la cámara de vacío accionable desde fuera, al final del cual colocó una pluma. Si el éter existía, demostraba ser tan sutil que no podía mover la pluma (véase figura 6).

En 1652 Hobbes publicó su obra *Leviatán*, en la que exponía sus ideas. Como filosofía política, el *Leviatán*

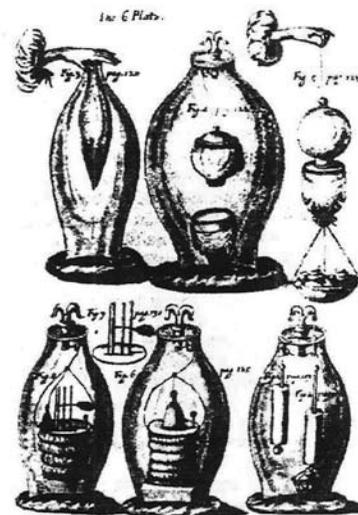


Figura 6. Diagrama del experimento de Boyle para determinar la existencia de "viento etéreo"

tenía por objeto mostrar las prácticas que debían garantizar el orden del Estado. Este orden podía estar amenazado (y, de hecho, lo había estado, durante la Guerra Civil) por intelectuales clericales que se arrogaban prerrogativas civiles que no tenían. Hobbes decía que la posición clerical se basaba en una ontología apoyada en sustancias incorpóreas y espíritus inmateriales. Como contrapartida, construyó, entonces, una ontología plenista junto con una teoría materialista del conocimiento, en la que los fundamentos del conocimiento eran nociones de causas, mientras la materia y el movimiento constituían la representación de tales causas.

Para Hobbes, el ejemplo paradigmático de conocimiento científico era la geometría. Su carácter demostrativo debía devenir en su aceptación. El asentimiento debía ser total y tenía que ser impuesto.

En cambio, Boyle afirmaba que el conocimiento en la filosofía natural debía surgir del experimento y que el fundamento de tal conocimiento debía provenir de hechos producidos experimentalmente. A su vez, esta teoría conducía, según Hobbes, al carácter "artificial" del resultado como método de indagar la naturaleza. La concepción de Boyle era probabilística y falible, algo inaceptable para Hobbes.

Así, la bomba de vacío se unía al microscopio y al telescopio como auxiliares para observar el mundo.

Lo curioso es que, como antagonista del método experimental, Hobbes no representaba al viejo pensamiento aristotélico o escolástico, sino a una filosofía materialista.

Si tratamos de encuadrar esta argumentación dentro de un panorama más amplio debemos recordar que el lema de la *Royal Society* era algo así como "no dar por cierta la palabra de nadie". Su propósito era evitar las largas disquisiciones metafísicas al viejo estilo y sustituirlas por datos de primera mano, debidamente controlados, lo que se denominaba "cuestiones de hecho".

Esta información llegaba de corresponsales de todo tipo y de todo el mundo: marinos, comerciantes, viajeros. La Sociedad analizaba y clasificaba esta información para

su publicación, *Philosophical transactions of the Royal Society*, cuyo primer número apareció el 6 de marzo de 1665.

Para comprobar “objetivamente” las pruebas aportadas, el principal dirigente de la Sociedad, el aristócrata irlandés Robert Boyle, estableció nuevos procedimientos. En su opinión, la ciencia debía ayudar a develar los designios de Dios y entendía que el mejor modo de lograr una prueba “objetiva” consistía en repetir el experimento ante un grupo de miembros de la Sociedad.

Hacia 1673 la *Royal Society* contaba con varios comités. De todos modos, la mentada apertura de miras y el fomento de la libre investigación no eran rigurosamente tales pues se tenía un firme control de lo que se podía y no se podía hacer y decir.

En ese sentido, el caso del vacío fue ejemplificador. Antes de las experiencias de Boyle, el vacío no existía. Proponer su existencia hubiese constituido una herejía, puesto que la Iglesia compartía la posición de Aristóteles sobre el vacío imposible, ya que si el aire frenaba el movimiento de los cuerpos, en el vacío el movimiento sería instantáneo, cosa imposible. Esto implicaba que en el vacío todos los cuerpos tenían la misma velocidad (infinita). De algún modo, Galileo llegó a igual conclusión en cuanto a lo de las velocidades de caída iguales en el vacío.

El espacio nunca podía estar vacío. Luego, el vacío no existía. La naturaleza y la Iglesia aborrecían el vacío.

En este punto se consultó a Galileo por la altura de la columna de agua de la bomba de succión y, entonces, como hemos visto, cambió la historia.

Vacío y vapor

Las primeras experiencias sobre el rol mecánico del vapor de las que hay registro se deben a Herón de Alejandría (10-75), con su denominada esfera de Eolo.

La traducción de la *Pneumática* de Herón, sobre dispositivos que emplean el vapor, fue publicada en Europa en 1575. Algunos inventores del siglo XVI, como Porta,

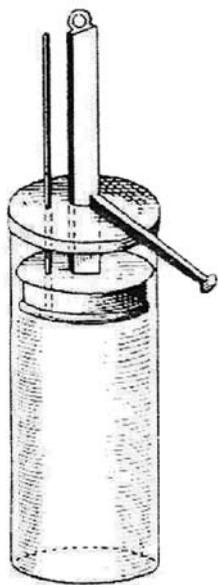


Figura 7. Dispositivo de Papin para generar vacío por condensación de vapor. 1690

Cardán, De Caus, entre otros, hicieron varias sugerencias para aprovechar el uso del vapor en la producción de trabajo. En 1630, el segundo marqués de Worcester se ocupó de desarrollar una máquina de vapor que patentó en 1633, lo que constituyó el antecedente de la máquina de Thomas Savery, que veremos más adelante.

Ahora bien, el modo de generar vacío en la bomba de Boyle, Huygens o von Guericke tuvo un cambio de consecuencias insospechadas cuando Denis Papin (1647-c.1712) inició sus experiencias, por sugerencia de Christian Huygens (1629-1695).

El primer intento de Papin para producir vacío en el émbolo con pistón fue a través de una explosión provocada con pólvora en su interior. El experimento sólo logró llenar el émbolo con los gases producto de la explosión (véase figura 7).

Entonces, Papin introdujo una pequeña cantidad de agua en un cilindro de 63 milímetros de diámetro y bajó el pistón, para expulsar el aire hasta que aquél tocara la superficie del líquido. Luego, calentó el cilindro y provocó la evaporación del agua, con el consecuente ascenso del pistón. Una vez llenado el cilindro con vapor, lo enfrió y generó su condensación. Como el pistón no bajaba, el científico descubrió que en el interior del cilindro se había generado el vacío y sobre el pistón había actuado la presión atmosférica.

El talento de Papin se manifestó en sus históricas palabras: “Puesto que el agua goza de la propiedad de que una pequeña cantidad de ella transformada en vapor por medio del calor tiene una fuerza elástica similar a la del aire, y de que por medio del frío se transforma de nuevo en agua, de manera que no queda ni rastro de aquella fuerza elástica, he llegado a la conclusión de que se pueden construir máquinas en cuyo interior, por medio de un calor no demasiado intenso y a bajo costo, se puede producir el vacío perfecto, que de ninguna manera se podría producir utilizando la pólvora”.

Papin estaba en lo cierto, pese a ignorar que la relación de volúmenes en tal proceso es de 1 a 1.300. Sin embargo, demostró su tesis con un tubo, cuyo diseño no representó posibilidades de aplicación práctica, pero sirvió de modelo para los desarrollos de Savery, Newcomen y Smeaton.

En 1690, Papin publicó un artículo en latín en el que presentó sus experimentos. En 1695 apareció una versión francesa de esa publicación y, en 1699, se difundió la versión en inglés en *The Philosophical transactions of the Royal Society*, que era una reseña de la traducción francesa.

Papin era físico. Por lo tanto, sus experiencias se limitaron al laboratorio y su objetivo, a satisfacer la curiosidad intelectual.

Luego de estas experiencias con el vacío, apareció en escena el primer intento de carácter industrial, gracias a Thomas Savery (1650?-1715), del condado de Devon.

Savery era comerciante e inventor y desempeñaba funciones en el almirantazgo británico, que le exigían viajar con frecuencia.

Con Savery comenzó el intento de la innovación tecnológica.

Savery obtuvo una patente en 1698 por un “motor que permite elevar agua por medio del fuego”, como se decía entonces, después de probar la máquina ante Guillermo III en Hampton Court.

La máquina consistía en un tubo vertical alimentado con vapor desde una caldera. El tubo estaba sumergido en el agua para elevar y dis-

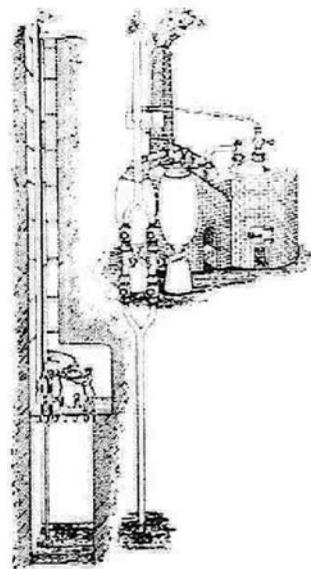


Figura 8. La máquina de Savery. 1699

ponía de un sistema de válvulas. El vapor dentro del tubo era condensado por enfriamiento externo y, al accionar adecuadamente las válvulas, se generaba el ascenso del agua desde la parte inferior (véase figura 8).

Savery mostró el funcionamiento de su máquina ante la *Royal Society* en 1699. Ese mismo año, el Parlamento le aprobó el monopolio de su patente hasta 1730, como ejemplo de la temprana cultura comercial británica.

El invento fue descrito por Savery en su libro *The Miner's Friend* y John Harris lo describió en su *Lexicon Technicum*. Así, el experto ingresó en la *Royal Society* e hizo una intensa propaganda de su máquina desde su taller ubicado en Salisbury Court, bocacalle de Fleet Street. La máquina fue usada durante los primeros años del siglo XVIII para bombear agua a grandes edificios o a ruedas hidráulicas, pero la columna de drenaje no era suficiente para la extracción de agua en minas.

Existe documentación de la construcción de cuatro de sus máquinas y al menos una de ellas estuvo en actividad durante un tiempo.

La baja eficiencia de la máquina estaba dada por el hecho de que la presión del vapor no era muy elevada (los materiales de la época no lo permitían) y de que, junto con el vapor ingresaba aire en el tubo de condensación.

Para entonces, apareció en escena Thomas Newcomen (1664-1729), que era oriundo del sur de Devon como Savery. Era herrero y se carteaba con el entonces secretario de la *Royal Society*, Robert Hooke. Era bautista devoto y de buena formación técnica.

Newcomen y su ayudante inventaron, en 1712, la primera máquina de vapor que funcionó con éxito en la mina de carbón de Coneygree, cerca de Dudley Castle.

Es muy probable que Newcomen estuviera informado de la máquina de Savery pero no hay certeza que conociera los trabajos de Papin, pese a que sus máquinas se asemejaban.

La invención de Newcomen constituyó la concreción del pronóstico visionario de Papin.

La máquina se basaba en una caldera por encima de la que, con un pistón, se instalaba un cilindro de latón. Este pistón estaba unido a una biela en arco mediante una cadena. En el otro extremo de la biela había un cabezal en arco, unido por otra cadena con el vástago de la bomba que bajaba hasta el agua que debía captar. A su vez, la biela pivotaba por su parte media.

El vapor proveniente de la caldera ingresaba en el cilindro y el pistón subía por efecto del contrapeso en la biela. Cuando el pistón llegaba a la parte superior, se introducía agua fría en el cilindro y así se producía la condensación del vapor y el descenso del pistón, lo que generaba el vacío. Luego, el ciclo volvía a repetirse (véase figura 9).

El ingenio de Newcomen se puso de manifiesto cuando empleó un disco de cuero flexible para ajustar el pistón, cubriéndolo con una capa de agua.

Las operaciones de entrada y cierre del vapor y su posterior condensación se realizaban automáticamente.

El agua de refrigeración y el vapor condensado se evacuaban mediante un tubo. A su vez, el aire ingresado al cilindro proveniente de la caldera era expulsado en el ciclo siguiente.

La máquina podía funcionar en forma continua pero tenía fugas y el enfriamiento del cilindro por rociado interno (que significaba un avance con relación a Savery) obligaba a un gran consumo de vapor para recalentarlo.

El balancín hacía 12 movimientos por minuto; cada uno extraía 45 litros de agua desde una profundidad de unos 46 metros por medio de una serie de bombas escalonadas, lo que equivale a 5,5 CV de potencia frente a 1 CV del diseño original.

Por entonces, era muy difícil lograr un cierre perfecto en cilindros de más de 18 centímetros de diámetro. En ese sentido, el cilindro de una bomba instalada en Edmonton, Midlotian, en 1725, tenía un diámetro de más de 74 centímetros con una carrera de unos 3 metros.

Hubo otra bomba en Newcastle, en 1729, con un diámetro de 188 centímetros y una carrera de unos 3,2 metros.

Durante los primeros cuatro años, la invención se extendió a ocho países y antes de la muerte de Newcomen ya se usaba en Hungría, Francia, Bélgica, Alemania, Austria y Suecia. Un cuarto de siglo después, se instaló en una mina de cobre en Newark, New Jersey.

Por más de 60 años, en Inglaterra se construyeron máquinas a razón de dos por año. La máquina cambió la suerte de las minas de carbón del norte británico.

La mina había sido el origen de estas máquinas, aunque la extracción minera también originó otros artefactos modernos. En efecto, a la mina debemos también la escalera mecánica, el ascensor, la locomotora y el barco a vapor.

Pese a su ineficiencia, la extracción de agua en la mina de carbón era un aspecto fundamental para aumentar la producción del mineral, cada vez con mayor demanda.

La máquina de Newcomen era muy apropiada para mover bombas de agua y, vía ruedas hidráulicas, generaba un movimiento uniforme apto para las máquinas de hilar algodón, industria base de la Revolución Industrial.

Por ese entonces, James Watt (1736-1819) tenía 21 años y trabajaba como mecánico de precisión en el taller de la Universidad de Glasgow, cuando llegó a sus manos una de las máquinas de Newcomen, que se encontraba a cargo del químico Joseph Black (uno de los propulsores

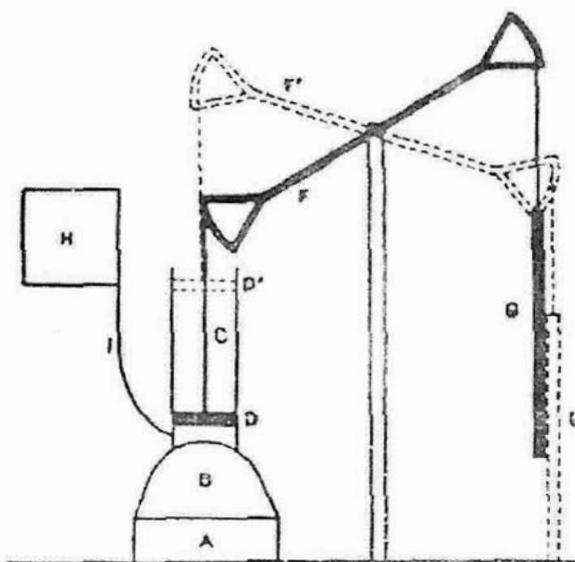


Figura 9. Esquema de la máquina de Newcomen. A. Fuego; B. Caldera; C. Cilindro; D. Émbolo; F. F' Balancín; G. G' Vástago; H. Depósito de agua fría; I, Tubo de Conducción.

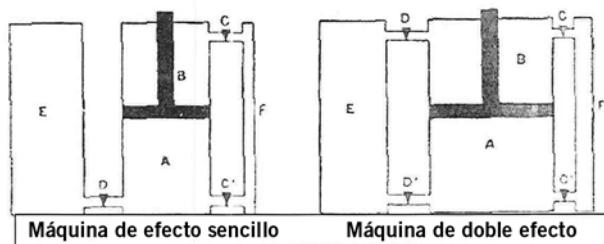


Figura 10. Esquema de las máquinas de Watt. A. Cilindro de la Bomba; B. Émbolo; C. C' Válvulas para la entrada del vapor; D, D'. Válvulas para la salida de vapor; E. Condensador; F. Tubo que comunica con la caldera.

de la termodinámica)¹. Pronto, Watt reparó que la razón del bajo rendimiento de la máquina residía en el ciclo de calentamiento-enfriamiento al que estaban sometidos los cilindros. Si lograba mantener siempre caliente el cilindro, podría incrementarse la eficiencia (véase figura 10).

La solución de Watt consistió en acoplar un condensador de vapor externo al cilindro, que patentó en enero de 1769. La optimización de la máquina de vapor, desde Savery a Watt, pasó por distintas formas de enfriar el cilindro para condensar el vapor de agua. El mayor obstáculo que enfrentó Watt fue la falta de herramientas y tecnología para barrenar el cilindro, de modo de lograr un ajuste con el émbolo sin fugas. La solución apareció gracias a un desarrollo de John Wilkinson en 1774 para fabricar cañones.

Otra dificultad de Watt fue la financiación del proyecto; este problema pudo superarse al establecerse Watt en una nueva firma con Boulton, prestigioso industrial de Soho, Birmingham.

Watt comparó la capacidad energética de sus máquinas con la de los caballos. Al experimentar con estos animales, observó que un caballo podía desarrollar 2.870 kgm/min de trabajo durante 10 horas al día. Para relacionar esta capacidad con la de una máquina, Watt incrementó la invención en un 50% y definió al caballo de fuerza como equivalente a 4.300 kgm/min (recuérdese que 1 kWh = 1,34 HP.h = 860 kcal).

Así, la firma construyó un total de 496 máquinas, de las cuales 164 sirvieron como bombas de agua, 24 se usaron en altos hornos y las restantes 308 sirvieron para suministrar energía motriz a otras máquinas.

Para 1804, Richard Trevithick, ingeniero de minas de Cornualles, construyó la primera locomotora a vapor.

Las máquinas de vapor se multiplicaron y difundieron, para sustituir progresivamente a las ruedas hidráulicas (ver tabla 1).

El crecimiento de la máquina a vapor fue vertiginoso, como muestra la figura 10.

Finalmente, para reproducir el clima que se vivió

	Ruedas Hidráulicas	Máquinas a Vapor
Sheffield, 1794	106	5
Industria Textil Británica, 1839	2.230 (28.000 CV)	3.051 (74.094 CV)

Tabla 1. Evolución de la máquina a vapor

en Inglaterra en esos tiempos, conviene recordar a Francois-Marie Arouet (1694-1778), conocido por su seudónimo Voltaire. El escritor residió en Londres entre 1726 y 1728. Un año antes de morir asistió al funeral de Newton, a quien admiraba profundamente, y se sorprendió de los honores y devoción que se le destinaron por parte de la Corona.

Escribió, entonces, sus famosas Cartas Filosóficas. En su Carta XIV, "Sobre Descartes y Sir Isaac Newton", señaló: "Un francés que llegue a Londres encontrará la filosofía, como cualquier otra cosa, muy cambiada. El ha dejado el mundo de lo pleno y ahora encuentra el mundo del vacío. En París el Universo es visto como formado por vórtices de materia sutil (se refería a las teorías de Descartes); pero nada de ello se ve en Londres".

Resulta obvio que este clima cultural se debía a hombres como Boyle. Hobbes cedía terreno.

Curiosidad e innovación

Los hemisferios de von Guericke constituyen un ejemplo paradigmático de lo que es una curiosidad técnica: las propiedades del vacío se exponen en una demostración en presencia del monarca. Los hemisferios no se separan pese al esfuerzo de los caballos.

¿Qué puede haber ocurrido una vez concluida la prueba? Seguramente, asombro entre los asistentes, animados comentarios, tal vez un banquete... Y nada más.

Los hemisferios pasaron a ser un objeto de vitrina, de museo. No había aplicaciones, no había mercado para ellos.

Sin embargo, había una curiosidad técnica. Faltaba la innovación tecnológica.

Este es el caso más espectacular. Una situación similar, aunque más modesta, ocurría con las demostraciones de la bomba de Boyle en la *Royal Society*. O con la pila de Volta, como lo muestran varios cuadros que exhiben su invento ante un absorto Napoleón Bonaparte.

Estas curiosidades se remontan a Herón de Alejandría, que hacía girar un tubo horizontal curvado en sus extremos (como un moderno regador) por efecto del vapor.

Herón fue, también, el inventor de pájaros que trinan o leones que rugen por efecto del aire impulsado por corrientes de agua. Alexandre Koyré⁽⁴⁾ da cuenta del autómeta en el trono de Salomón en la corte de Bizancio que contaba con tales artificios en el siglo X.

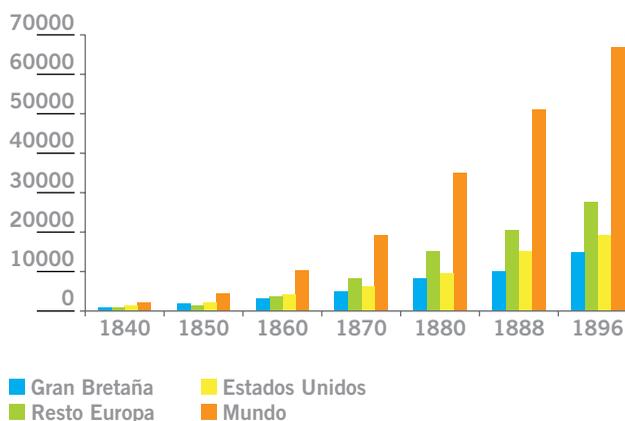


Figura 11. Las máquinas de vapor en el mundo.

El fenómeno existía. Sus inventores sólo pensaban en el experimento por sí mismo, no en sus posibles aplicaciones. Esta era una característica de la antigüedad, cuando los usos y aplicaciones de los inventos se reducían, en la gran mayoría de los casos, a la contemplación o, a lo sumo, a la diversión. Los niños incas tenían juguetes con ruedas pero los mayores no conocieron el carro. El concepto de maquinaria industrial no estaba aún instalado.

Thomas Newcomen rompió con este esquema y cambió la faz de la tierra.

La innovación tecnológica fue patrimonio de la Revolución Industrial. De ahí su mérito e importancia y carácter fundacional y el vacío (¿la nada?) tuvo mucho que ver en ello.

Segunda parte

Los orígenes

Retrocedamos ahora en el tiempo y vayamos a los comienzos de nuestra historia.

Los conceptos de ausencia, carencia, falta, inexistencia, no-algo, no-ser, han sido motivo de atención acompañada de preocupación, aversión y temor durante siglos.

Tales ideas pueden condensarse, a su vez, en cuatro paradigmas del pensamiento, concomitantes con otras tantas ramas del saber: la nada en filosofía, el cero en matemática, el silencio en el lenguaje y el vacío en física.

La nada ocupa capítulos enteros de la historia de la filosofía y en distintas épocas ha generado miedo y hasta rechazo. ¿Dónde está la nada?, ¿Venimos de la nada?, ¿Vamos hacia la nada?, ¿Acaso la conciencia puede ser, al fin de cuentas, un producto de la nada?

Al mismo tiempo, otras consultas surgieron, inversamente: ¿por qué tiene que haber algo?, como se preguntó Leibniz.

El hombre tardó milenios en darse cuenta que el cero era capaz de dar significado a una cantidad (la cantidad de la nada) esto es, constituir un número. Esto ocurrió bastante después de reconocer que había números no enteros. También, después de darse cuenta de que había magnitudes en cuya expresión el cero podía ocupar una posición, esto es, ser un dígito.

Entre tanto, la concepción de la nada en la filosofía hindú fue fundamental en el hallazgo del cero y vinculó ambos conceptos. El cero es la nada numérica.

Por su parte, el silencio es la interrupción del discurso. Es la nada o el cero de la acústica. Es el espacio en blanco del texto del que hablaba Baudelaire.

Y, finalmente, el vacío. Esta idea también tardó milenios en comprenderse, aunque fuese a medias. En esa línea, también demoró en ser negada. Ahí estaba el éter: inasible, inaprehensible, incomprensible. Como la nada. Como el cero. Como el silencio. El vacío es la nada material.

Nada, cero, silencio y vacío representan la aniquilación. La contracara de nosotros mismos. El detrás del espejo de nuestro mundo.

La nada es dispersa y huidiza. Huye hacia la teología y la psicología y nos envuelve.

Schopenhauer, heredero de la filosofía oriental, dijo dialécticamente que hay nada porque hay algo. El filósofo Lacan lo reiteró.

El cero es el misterio nihilista de la matemática y el silencio se expande, de la retórica al psicoanálisis, a la música, al amor. Es la exégesis del no-verbo.

Pero la palabra vacío no está presente en filosofía. Al respecto, el *Diccionario de Filosofía* de José Ferrater Mora dedica varias páginas a la palabra nada pero ni siquiera menciona vacío. Tampoco aparecen los vocablos cero ni silencio.

Exactamente a la inversa se da en física, retórica y tecnología. Cabalgando entre estos conceptos, la matemática habla de un símbolo (o dígito) y una cantidad (o número): el cero, profundamente ligado a la nada, al silencio y al vacío.

El hombre interroga a la naturaleza y ésta le responde con sus leyes. Pero la nada es el silencio del cosmos.

Motivos de controversia, miedo y rechazo, la nada y el cero confluyen en el vacío silente como historia y como concepto.

Para inquietarnos aún más con los significantes, el vacío, el último eslabón de la nada y del cero, es el arquitecto del mundo en el que vivimos. El vacío pone una bisagra a la historia de la tecnología con el maquinismo y la industrialización.

En el principio fue el verbo... y en el arranque del maquinismo, el vacío. Allá vamos, dirá Buda. Somos tributarios de la nada y del vacío.

Paradojas del no-ser y de lo que no existe. Desafío e interrogante que nos envía la naturaleza desde su profundidad más recóndita.

La nada

En *L'evolution creatrice*, Bergson decía que la idea de la nada es "a menudo el escondido resorte, el invisible motor de la especulación filosófica".

La nada no ocupa un lugar importante en la filosofía griega basada, fundamentalmente, en la concepción del ser. Por ello, la nada surge como consecuencia de la negación del ser; sólo cuando éste se niega aparece la nada.

Parménides, Platón y Aristóteles discurrieron sobre la nada, y "nada proviene de la nada" es una aseveración frecuente en la filosofía griega, pues lo contrario significaría negar el principio de causalidad. Lo que, obviamente, contradice al Génesis de la teología judeo cristiana.

Bergson, Kant, Spencer, Hegel, Heidegger, están entre los filósofos que se ocuparon de la nada desde distintas ópticas.

El filósofo Heath⁽⁷⁾ aseveró que "la nada es un concepto imponente aunque esencialmente mal asimilado, muy estimado por escritores de tendencia mística o existencialista, pero considerado con ansiedad, náusea y pánico por casi todos los demás". Obsérvese cuánto de Sartre hay en estos vocablos.

El cosmólogo Barrow⁽¹⁾ hizo un interesante y entretenido análisis al respecto. Señaló, por ejemplo, que en un buen diccionario inglés la entrada para "nothing" proveía como alternativas los vocablos *nil*, *none*, *nowt*, *nulliform*, *nullity*. Con relación a personas, agrega Barrow, aparecen *nihilists*, *nihilianists*, *nihilarians*, *nihilagents*, *nothingarians*, *nullifideans*, *nullihists*, *nomentities* y *nobodies*.

Para la concepción del cero hay un mero paso, plagado de las múltiples facetas que anteceden.

El cero

El cero, como concepto, nos remite al menos a tres cualidades: 1) como número, al indicar la ausencia de magnitud, 2) como dígito, al señalar la ausencia de valor posicional de una decena, centena, etcétera; y 3) como tasa de variación o derivada, al indicar la ausencia de cambio o constancia.

El cero es el primero de los diez símbolos, los dígitos (del latín *digitus*, duda) con los que representamos cualquier número. Sin embargo, el dígito cero fue el último en inventarse. Además, representó el último entre sus congéneres en descubrirse. La invención precede al descubrimiento y, si el dígito se inventa y el número se descubre, la derivada se desarrolla.

La invención del cero precedió a su descubrimiento por varios siglos.

En tiempos de Cristo la idea de cero, como símbolo o número, no se le había ocurrido al hombre.

Para representar cantidades, los egipcios usaban figuras; los griegos, su alfabeto (además del sistema Herodiano); los romanos, los símbolos que llevan su nombre. Su complejidad quedaba expuesta cuando debían recurrir al ábaco para efectuar cálculos (del latín *calculi*, guijarro, piedra, con la que se hacían, precisamente, los cálculos). Entonces, ¿con qué guijarro podía identificarse el cero?

Pese a que adoptó diversas formas y denominaciones en distintas civilizaciones, el ábaco consistía, esencial-

mente, de columnas: cada una representaba una potencia de diez con nueve bolillas. El cero se indicaba por una columna vacía. Hoy puede parecer obvio que debería haber aparecido la idea de dar un símbolo cualquiera a la columna vacía, a la nada. Pero no. No se le ocurrió a Pitágoras, ni a Euclides ni a Arquímedes. El gran misterio del cero es que escapó hasta de los griegos, que recelaban profundamente de esa idea. Tal vez esto se deba a que ellos se ocuparon de develar los secretos de los números y no del cálculo, dejado para los esclavos.

Hay, en cambio, tres culturas en las que aparece el dígito cero: la babilónica, la maya y la hindú. Todas desarrollaron sistemas numéricos posicionales. Entonces, a la posición sin número le asignaron el cero. En las culturas babilónica y maya el cero sólo implica una posición y no, un significado. Entonces, para ellos un número sustraído de sí mismo no constituía cero, no sabían qué era.

A la India debemos el concepto actual de número cero. Algunas fuentes sugieren que un matemático desconocido indicó la nada con un guión que bautizó como *suniya*, probablemente en el siglo VIII. Otros indican que en el siglo VI, en la ciudad india de Gwalior, se mostraron los números del 0 al 9⁽⁸⁾.

El *suniya* no equivalía al número cero, simplemente indicaba un espacio vacío. Precisamente, los hindúes también denominan *suniya* a la incógnita en una ecuación (nuestra x).

Con *suniya* se había logrado inventar el símbolo cero; no obstante, restaba descubrir el número. Este descubrimiento se concatenó con el concepto de la nada presente en la filosofía hindú.

Los calculistas hindúes definieron al cero como el resultado de sustraer un número de sí mismo. En el año 628 el astrónomo Brahmagupta definió reglas algebraicas del uso del cero en distintas operaciones.

Para Occidente fue necesario esperar a los árabes para disponer de tal descubrimiento. Esta cultura denominó al cero como *céfer*, que significa “vacío”. Del árabe *céfer* surgió el *cipher* inglés que, vía *zephirum*, derivó en *zero*. En castellano tenemos “cifra” y “cero”. En inglés, *to cipher* significa calcular o numerar.

La importancia del cero se refleja en el hecho de que una de las acepciones de “cifra” (si bien algo arcaica) es “suma y compendio”.

Así pues, la familiaridad de la filosofía hindú con los conceptos de nada y vaciedad pavimentó el camino hacia el cero. En tal sentido, hubo una rica variedad de conceptos derivados de la nada que eran de uso extendido. Por el contrario, la tradición hebrea consideró el vacío como el estado de origen del mundo ante el cual había que retroceder: significaba la separación de Dios y la pérdida de sus favores. Era un anatema. Algo similar ocurrió con los griegos, a quienes su respeto por la lógica los llevó a una contradicción en el tratamiento de la nada como si fuera algo.

En cambio, los místicos hindúes aceptaron, en un pie de igualdad, los conceptos del ser con los del no-ser. Se podía venir de y retornar a la nada muchas veces. El estado del no-ser era buscado en la meditación budista para alcanzar el nirvana y la unidad con el cosmos.

Para el siglo VII, Bagdad se erigía como un gran centro cultural y allí fueron traducidas muchas obras griegas e hindúes. En el año 773, el Califa de Bagdad recibió un manual astronómico indio de 150 años de antigüedad, el *Brahmasphutasiddhanta* que empleaba el cero y la rotación posicional. Al-Jowarizmi (780-850) (al que recordamos cuando pronunciamos algoritmo) escribió su clásico sobre aritmética 47 años más tarde, difundiendo y recomendando el nuevo método.

Finalmente, la introducción en Europa del sistema indo-arábico se atribuye a Gerberto de Aurillac (945-1003, luego Papa Silvestre II), en 999, en principio, por España.

Hubo que esperar al siglo XVII para, con Newton y Leibniz, llegar al concepto de derivada nula (ausencia de cambio).

Las dificultades inherentes a un concepto claro del significado del cero (la nada, el vacío) se evidenciaron en las dudas que surgieron cuando se lo usaba en operaciones aritméticas (de ahí el concepto de indeterminado) o cuando se discutía cuándo empezaba realmente el siglo XXI: ¿existió el año cero?

El carácter inasible, inaprehensible, escurridizo, del cero se muestra en varias facetas de la vida moderna, como bien muestra Barrow⁽¹⁾. Así pues, en inglés, el cero no se dice *nil* sino que se retiene el antiguo *love*, que viene del francés *l'oeuf*, “huevo”, representativo de la redondez del cero. Asimismo, la nada está presente cuando decimos “estar jugando por amor” (o “por amor al arte”). Los jugadores norteamericanos de bolos indican el lanzamiento fallido como *goose egg*; el cero en fútbol es *nil*, en cricket es *nought* y en los números de teléfono es *ow*.

El cero es una totalidad sin contenido. Los números son como los cuántos de la unidad, del uno, pero no del cero.

Bertrand Russell decía que no puede existir cantidad cuya magnitud sea cero.

El cero no tiene forma ni medida.

El filósofo argentino Santiago Kovadloff⁽³⁾ dice que “el fondo al que remite el cero es el vacío”, “y acaso está donde está para que la nada, precisamente, sea viable en la intuición matemática”.

El cero cuantifica la vacuidad, decimos nosotros. El cero está, pero lo evitamos. ¿Hay horror al cero? No olvidemos que, cuando interpretamos un código, decimos de lo “desciframos”, es decir, nos deshacemos del cero.

Como una imagen de la frase helénica “nada proviene de la nada”, Lacan⁽⁵⁾, en su Seminario X, nos persuadió de que la angustia surge toda vez que “falta la falta”. Algo así como decir que necesitamos de la nada (¿del vacío?, ¿del cero?) para sobrevivir.

La metáfora cotidiana nos devuelve un “de nada”, “para nada”, “por nada” como indicativos de que el agradecimiento se hace innecesario, de que podría “haber faltado” o “estado ausente”.

Parafraseando a Lacan, “leer la letra” del inconsciente por parte del analista, a través del discurso del analizante², supone resaltar, en lo manifiesto de lo dicho, lo tácito y no sabido. Es el camino de acceso a lo encubierto.

Así pues, se encadenan lo oculto con lo ausente y lo ignorado. Lo oculto es motivo de curiosidad, y también de angustia.

Lo oculto da origen por igual a la magia y el ocultismo, al saber hermético y esotérico.

Pero también genera la ciencia, el saber exotérico.

El más grande de todos, Newton, era ambas cosas a la vez.

El invento del cero marca lo que hasta el momento estaba constituido por lo indecible. En cambio, su posterior descubrimiento nos puso frente a lo inefable, que no es lo indecible.

El silencio

Kovadloff ha discurrido en abundancia sobre este concepto⁽³⁾. El filósofo señala que “no estamos ante lo silencioso sino ante lo silenciado” y muestra que lo que nos interesa es el carácter volitivo, provocado, de la ausencia (pensemos en lo indecible y lo inefable). Lo indecible como indicador del otro lado de la finitud, frente a lo inefable como expresión de un momento infinito en el que todo está por ser dicho.

De este modo, el silencio pasa a ser, por omisión de voz, mensaje.

El silencio es “el” mensaje en la sesión psicoanalítica, tanto para el analizado como para el terapeuta.

Curiosamente y por encadenamiento con la nada y el cero, los griegos no concibieron una deidad para el silencio.

Por esta razón, no resulta extraño que la interpretación más remota del silencio provino también de Oriente.

Para nosotros, en cambio, la primera exégesis del silencio es la cristiana. El monje es silente: con el silencio se enfrenta a Dios y con el silencio dialoga con Dios.

Al citar a Octavio Paz, Kovadloff⁽³⁾ dice que “el silencio no es el fracaso sino el acabamiento, la culminación del lenguaje”. ¿Qué hubiera dicho Freud frente a este concep-

to? Si crear es, al fin de cuentas, extraer de la nada, probablemente allí resida la respuesta.

El silencio de lo mudo no es el silencio de lo acallado. El psicoanálisis da vuelta a esta idea y la hace enunciable. Devela lo velado.

La resistencia freudiana es la palabra que nos aleja del mensaje. La tarea es, pues, recuperar el silencio.

El silencio también está en la música que, como armonía de sonidos, es también una forma de silencio.

“La música, silencio audible”, califica Kovadloff⁽³⁾.

Pasando a la matemática, su silencio es el cero.

Cero, infinito y vacío

Hasta acá hemos tratado en forma separada los conceptos de nada, cero y silencio. Este parcelamiento sólo lo efectuamos para buscar la claridad expositiva.

Sin embargo, la realidad transcurre de manera muy distinta. En efecto, los acontecimientos que se exponen aquí tienen lugar en forma simultánea, interactiva entre sí, e influyen unos sobre otros.

Veremos ahora la interacción entre cero (y su contracara, el infinito) y el vacío y cómo los dos primeros fueron abriendo camino al último, mientras la nada actuaba como telón de fondo de la obra.

La matemática de Babilonia implicaba un sistema sexagesimal con el cero. La aversión de griegos y romanos por este concepto los hacía aferrarse a otro sistema. Pero como el cálculo con este último se tornaba muy complicado, procedían, entonces, a convertir las fracciones al sistema babilónico para hacer el cálculo con éste y luego retornaban a su propio sistema. Una moderna transformación conforme.

La aversión al cero era la explicación de este circuito.

En rigor, los griegos habían heredado sus números de los geometras egipcios. Por eso, en la matemática griega no hay distinción entre formas y números (aún hoy hablamos del cuadrado y el cubo).

El álgebra se hacía con figuras geométricas. En vez de hojas de papel y lápiz, los griegos usaban la regla y el compás. Pitágoras demostró su teorema con figuras.

La ausencia del cero en la matemática griega explicó la supervivencia de la paradoja de Zenón sobre Aquiles y la tortuga³. Ellos atribuían la paradoja al infinito (esto es, al infinito número de etapas involucradas).

Faltaba, todavía, una abstracción que la humanidad tardó siglos en elaborar: el concepto de límite y el del incremento que se reduce y tiende a cero.

Hoy sabemos que la paradoja representa una serie convergente de infinitos términos que tienden a cero.

Los griegos no usaban el concepto de límite porque no creían en el cero. En consecuencia, no podían manejar el de infinito. Examinaban el concepto de vacío, rechazaban el cero y jugaban con el infinito, pero desechaban darle un lugar en el reino de los números.

Esta es la mayor falla en la matemática griega y la única causa que pudo impedirles descubrir el cálculo diferencial.

Cero, infinito y límite están todos enraizados en un mismo manojo.

El universo no era infinito, estaba encapsulado en una cáscara de nuez y no había vacío. Era la filosofía de Aristóteles, propagada por Alejandro, que reinaría por centurias en Occidente hasta el siglo XVI.

La negación aristotélica del infinito implicaba la negación del vacío porque la existencia del vacío requiere el infinito: si hay una cantidad infinita de vacío, el infinito existe. En segunda instancia, puede haber una cantidad finita de vacío, pero como el vacío es ausencia de materia, tiene que haber una cantidad infinita de materia para asegurar un vacío finito; luego, el infinito existe.

Del mismo modo, si hubo un principio para el Universo, ¿qué había antes? ¿Vacío? Esta idea era inaceptable para Aristóteles, que postulaba el universo eterno.

Ese temor al vacío fue tan grande que se buscó adaptar la Biblia a Aristóteles y no a la inversa.

En la filosofía hindú, en cambio, la deidad Nishikala Shiva representaba la “sin partes”: era el vacío último, la nada suprema. El universo había nacido de la nada y era infinito. La meta final del hombre era volver a alcanzar la nada. En esta cultura, no había problemas con el cero, ni con el infinito.

A su vez, los hindúes se interesaron muy poco por la geometría griega. Nunca les preocupó que la diagonal de un cuadrado fuera un número racional o irracional. Tampoco investigaron las secciones cónicas de Arquímedes. Pero aprendieron a manejar los números: paradojas de los distintos caminos de las culturas.

En el siglo XII Bhaskara decía que $1+0$ era igual a infinito. Agregaba que nada cambiaba dicho resultado al sumar o restar un número determinado pues “no tiene lugar ningún cambio en el infinito e inmutable Dios”. Se había encontrado a Dios en el infinito y en el cero. Justo a la inversa que los griegos. Cero, en hindú, se dice *sunīya*, que significa vacío (*empty*, en inglés).

Ahora bien, si los árabes aceptaban el cero, debían rechazar a Aristóteles. Así sucedió a través de Maimónides, que suplantó a Aristóteles por sus archirrival, los atomistas. Para estas culturas la existencia del átomo exigía la del vacío.

Existe, además, una interpretación reciente de la disputa de Galileo con la jerarquía eclesiástica que atribuye la confrontación al hecho de que Galileo fuera atomista. Ello implicaba decir que creía en la existencia del vacío, cosa inaceptable para la Iglesia.

El cero venía con el vacío. Para refutar a Aristóteles se apeló al Génesis de la Biblia, *creatio ex nihilo*. El mundo fue creado por Dios a partir de la nada.

Más tarde, el cero se popularizó en Europa empujado por el comercio. Fue Leonardo de Pisa, más conocido como Fibonacci, el que lo difundió luego de haberlo aprendido de los árabes. Para ello, publicó su libro *Liber Abaci*, en 1202.

Cero e infinito ocuparon, posteriormente, una posición central en el Renacimiento y pavimentaron el camino para la Revolución Científica.

Entonces, el cero apareció en la pintura con el punto de fuga, al contener un espacio infinito. Aquí el arte precedió a la ciencia, del mismo modo que con el descubrimiento del espacio en la catedral gótica, que anticipa a Galileo. Con Dalí y Picasso, surgieron los relojes que se licúan y cuerpos que se desdobl原因, para satisfacción de Einstein.

Analicemos ahora a Descartes, con su sistema de coordenadas ortogonales, que tienen un origen: cero, aunque no ingresan en los ejes negativos. No obstante, Descartes mantuvo su adhesión a Aristóteles en cuanto a negar la existencia del vacío.

En tanto, un ingeniero militar amigo de Etienne Pascal, padre de Blaise, presentó el experimento de Torricelli a la familia Pascal.

Blaise se interesó y repitió la experiencia con agua, vino y otros líquidos. Todo fue publicado en 1647 en *New experiments concerning the vacuum*. En 1648, Blaise envió a su cuñado a repetir el experimento a distintas alturas en una montaña. Pascal concluyó que “la naturaleza no aborrece el vacío, no hace ningún esfuerzo por evitarlo, es decir, admite el vacío sin dificultad ni resistencia”. Así,

la humanidad ingresó en la época de la búsqueda de las causas por la vía de la experimentación material en lugar de la filosófica, en el debate Boyle versus Hobbes.

El cero y el infinito destruyeron la filosofía aristotélica y le abrieron camino al vacío. Culturalmente, la ruta estaba preparada para la aparición del cálculo diferencial a través de Newton y Leibniz.

En efecto, este cálculo se basa por un lado en el concepto de un límite incremental que tiende a cero para la derivación. Por otro lado, en la integración, implica trabajar con un número infinito de incrementos diferenciales.

De este modo, se derrotó la paradoja de Zenón.

Pese a estar infundido por ceros e infinitos, el cálculo diferencial expresa el lenguaje de la naturaleza, la obsesión de Galileo.

El golpe final fue dado por L'Hôpital con su conocida regla. Mientras las matemáticas develaban la conexión entre cero e infinito, los físicos comenzaron a encontrar el cero en la naturaleza. Lord Kelvin mostró una barrera infranqueable para la termodinámica: el cero absoluto en temperatura; en la teoría general de la relatividad, el cero de espacio es un agujero negro. A la velocidad de la luz, el tiempo se hace cero. El electrón ocupa un espacio nulo. La Ley de Rayleigh-Jeans trata la energía irradiada por un objeto e indica que cuando la longitud de onda tiende a cero, la energía tiende a infinito: es la “catástrofe ultravioleta”.

Finalmente, como moderna síntesis del misterio, el cero se aprieta contra el infinito y espacio se acompaña con vacío, en el nacimiento del todo, del universo, a través del *Big Bang* y su teoría, que, llevado a la máquina, marca el vínculo entre el desenfreno y la continencia.

Conclusiones

Nada, cero, silencio y vacío son conceptos relacionados entre sí pero pertenecientes a distintas ramas del saber.

Nada, cero y silencio son inventos del intelecto humano pero el vacío pertenece a la naturaleza. Nada, cero y silencio son ideas. El vacío es materia (aunque sea inmaterial).

- El vacío es la nada de la física.
- El cero es la nada de la matemática.
- El silencio es la nada del lenguaje.
- La nada es la falta.
- La angustia es la falta de la falta.

El 100% no existe en la naturaleza. El 0% tampoco. Vale también para el vacío, pero no para la nada. El cero vale por sí mismo y el silencio es mensaje.

La naturaleza nos reservó una sorpresa y paradoja, a través del vacío, al constituirlo en bisagra de nuestra civilización. Y con lo menos inmaterial imaginable: la máquina.

El vacío y su máquina vinieron a llenar la falta de la falta.

El *Big Bang* es el límite de los límites, el *non plus ultra*, la nada del todo.

El espacio se hace cero, la densidad deviene infinita, el vacío no existe.

En el tiempo cero del *Big Bang* y en el cero del agujero negro, las ecuaciones que describen el universo pierden sentido.

Pero de ahí venimos. ¿Qué hubiera dicho Aristóteles? ¿Tiene esencia la nada?, ¿De nuevo Zenón? ■

Referencias

1. Barrow, John D., *El Libro de la Nada*, Editorial Crítica, Barcelona, 2001.
2. Boyle, R., *New Experiments Physico-Mechanical, touching the Spring of the Air I. 1660. A Continuation of the New Experiments Physico-Mechanical touching the Spring and Wight of the Air, and their Effects III. 1669.*
3. Kovadloff, S. *El Silencio Primordial*, Emecé Editores, Buenos Aires, 1993.
4. Koyré, A. *Speculum*, Vol. XXIX, N° 3, 477-487, julio, 1954.
5. Lacan, J. *El Seminario. Libro 10. La Angustia*. Editorial Paidós, Barcelona, 2006.
6. Shapin S.-Schaffer, S. *El Leviatán y la Bomba de Vacío*. Universidad Nacional de Quilmes, Buenos Aires, 2005.
7. *The Encyclopedia of Philosophy*, Macmillan, NY (1967). Editorial P. Edwards, p. 524.
8. Teresi, D. *Los Grandes Descubrimientos Perdidos*, Editorial Crítica, Barcelona, 2004.

Otras obras consultadas

- Basalla, G. *La Evolución de la Tecnología*, Editorial Crítica, Barcelona, 1991.
- Burke, J. y Ornstein, R. *Del Hacha al Chip*, Editorial Planeta, Barcelona, 2001
- Cardweell, D. *Historia de la Tecnología*, Alianza Universidad, Madrid, 2001.
- Derry, T.K. y Williams, T. *Historia de la Tecnología*, Vol. 2, Editorial Siglo Veintiuno Editores, Madrid, 1960.
- Merton, R.K. *Ciencia, Tecnología y Sociedad en la Inglaterra del siglo XVII*, Alianza Universidad, Madrid, 1984.

Mumford, L. *Técnica y Civilización*, Alianza Editorial, Madrid, 1997.

Reid, C. *From Zero to Infinity*, Apollo Editions, New York, 1955.

Seife, Ch. *Zero*, Penguin Books, New York, 2000.

Notas

1 Black observó que calentando distintos materiales en un horno, estos alcanzaban temperaturas distintas a tiempos iguales.

2 Lacan utiliza “analizante” como sinónimo de paciente.

3 Recordemos la paradoja de Zenón: Aquiles corría al doble de velocidad que la tortuga y la carrera comenzaba con el animal ubicado a mitad de camino entre largada (donde estaba Aquiles) y llegada.

Cuando Aquiles llegaba al lugar desde el cual partía la tortuga, ésta ya había cubierto la mitad del camino que restaba. Todo ello en un intervalo dado.

En el paso siguiente, en un intervalo dado por la mitad del anterior, Aquiles llegaba donde había llegado la tortuga en la primera etapa. Pero, ahora, ésta ya había hecho la mitad de la distancia que le faltaba para llegar a la meta... y así sucesivamente.

En conclusión, Aquiles nunca alcanzaba a la tortuga.

Los filósofos de la época eran incapaces de refutar a Zenón, pese a que sabían que su conclusión era falsa.