

## **CAPÍTULO 3**

### **LA PROBLEMÁTICA DEL VACÍO**

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

#### **EXPLORACIÓN DE IDEAS**

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

## EL PROBLEMA DEL VACÍO EN LA ANTIGÜEDAD

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

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

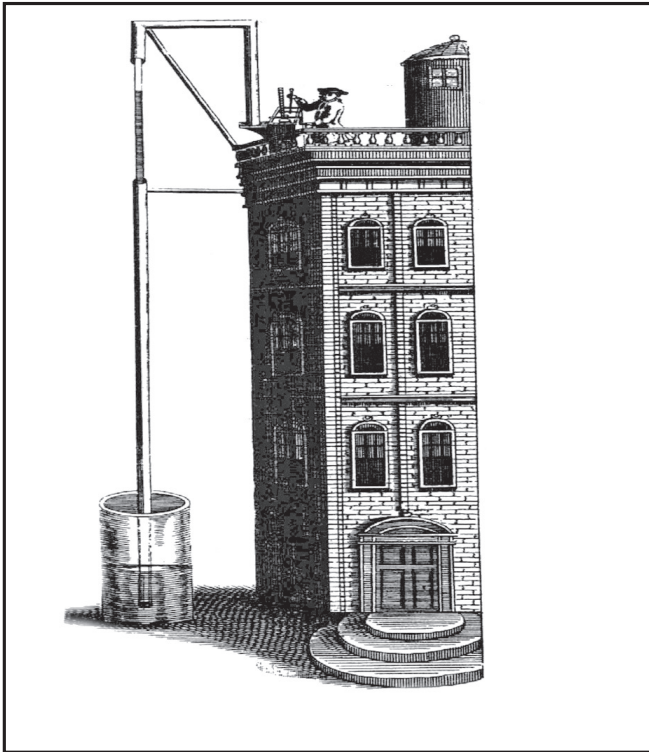


Fig. 1  
La bomba impelente de la Edad Media.

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

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

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

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

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

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

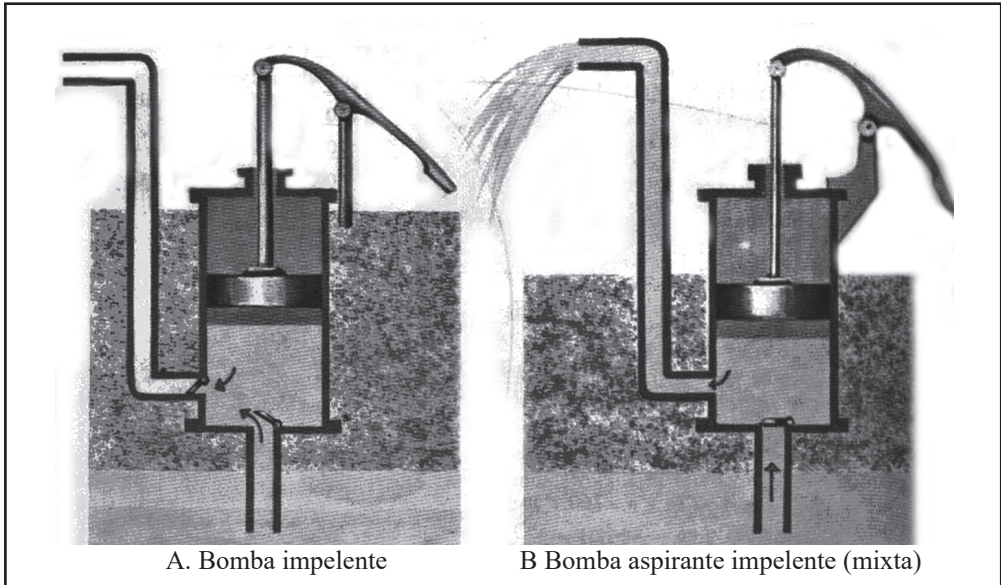


Fig. 2

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

## EL VACÍO EN LA EDAD MEDIA

### **Galileo y la fuerza de vacío**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

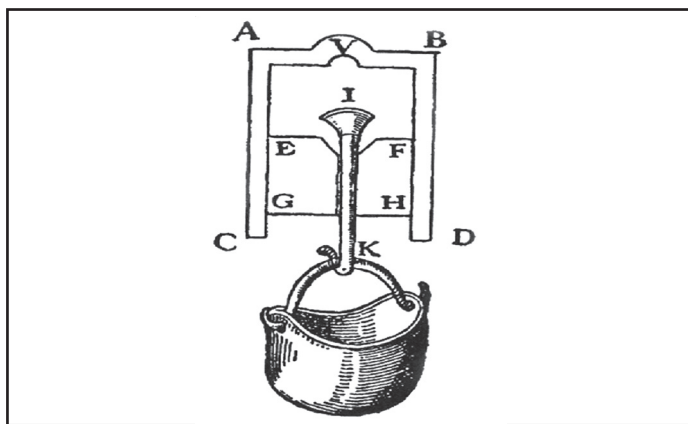


Fig. 3  
Experimento de Galileo sobre la fuerza del vacío.

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

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

### ***Torricelli y la existencia del vacío***



Fig. 4  
Barómetro de Torricelli.

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

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

Torricelli lo describe así:

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

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

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

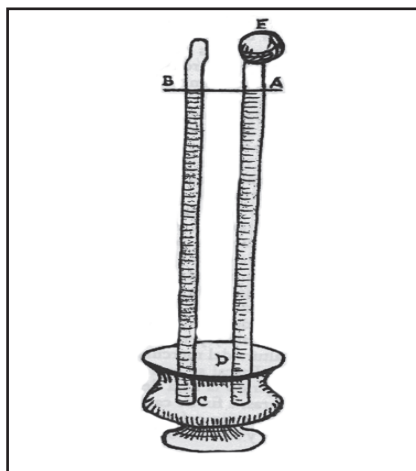


Fig. 5  
Experimento de Torricelli.

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



## ***Pascal y la inactividad del vacío***

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

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

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

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

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

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

### **Experimentos con jeringas**

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

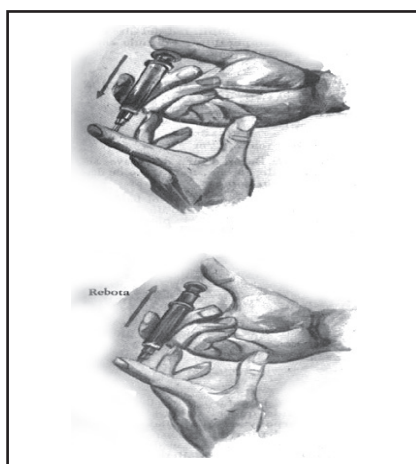


Fig. 6  
Experimentos de Pascal sobre el vacío aparente

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

### **Experimentos con tubos**

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

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

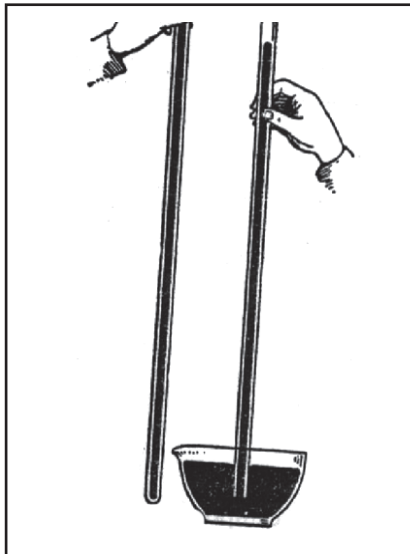


Fig. 7  
Tubos de vidrio de 16 m de largo.

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

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

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

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

### **Experimentos con sifones**

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

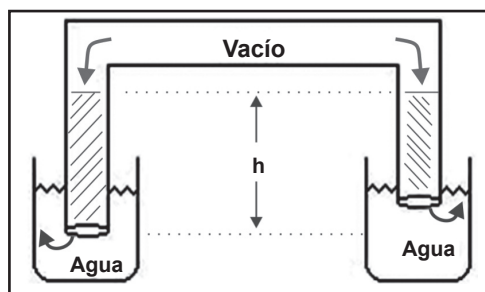


Fig. 8

El agua cae por los brazos del sifón.

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

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

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

### ***Sobre las Máximas de Pascal:***

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

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

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

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

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

### **ACTIVIDADES ADICIONALES**

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

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

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

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

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

**LECTURA COMPLEMENTARIA**  
**NUEVOS EXPERIMENTOS SOBRE EL VACÍO**  
**B. PASCAL**

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

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

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

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

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

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

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



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

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

### **Preguntas de seguimiento y valoración**

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