

La historia oficial de la ley de Boyle

Alberto Lahore

marzo de 2004



ADMINISTRACIÓN NACIONAL
DE EDUCACIÓN PÚBLICA



Uruguay
Educa
Un portal en movimiento

Consideremos un cilindro hueco provisto de un pistón. Dentro del cilindro tenemos una masa de gas. El manómetro indica la presión de ese gas. Figura 1.

Si accionamos el pistón reduciendo el volumen del gas a temperatura constante, se observa en el manómetro que la presión aumenta. Figura 2.

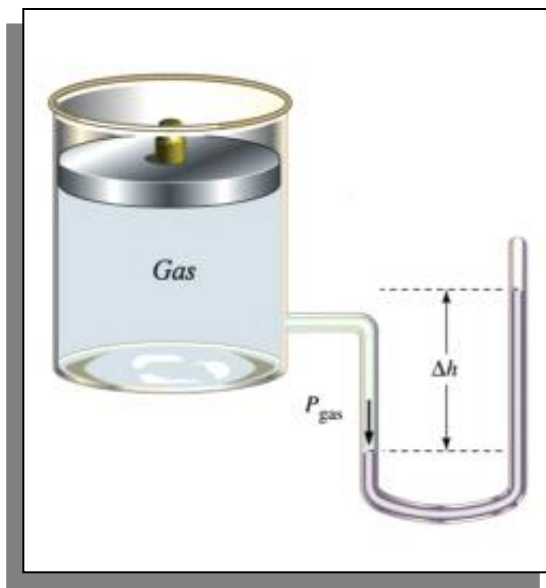


Fig. 1

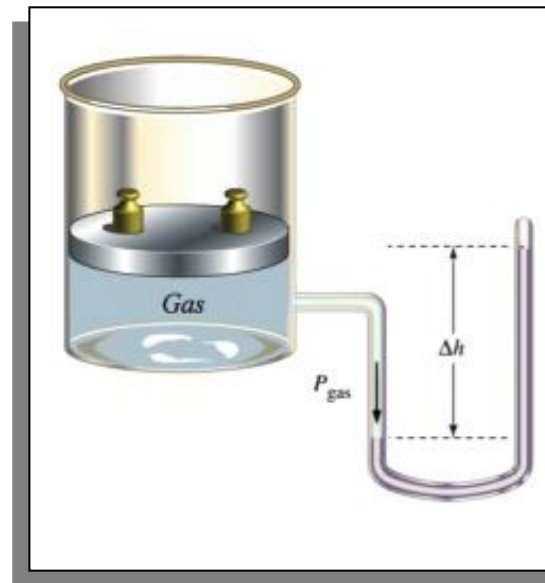


Fig. 2

Los datos experimentales permiten observar que existe una relación matemática entre el volumen de un gas y la presión: si el volumen de gas se reduce por ejemplo a la mitad del inicial, la presión se duplicará; si el volumen se reduce a la cuarta parte, la presión se cuadruplicará, etc.



Si se grafican los valores de presión en función del volumen, o el volumen en función de la presión, se obtiene la siguiente curva:

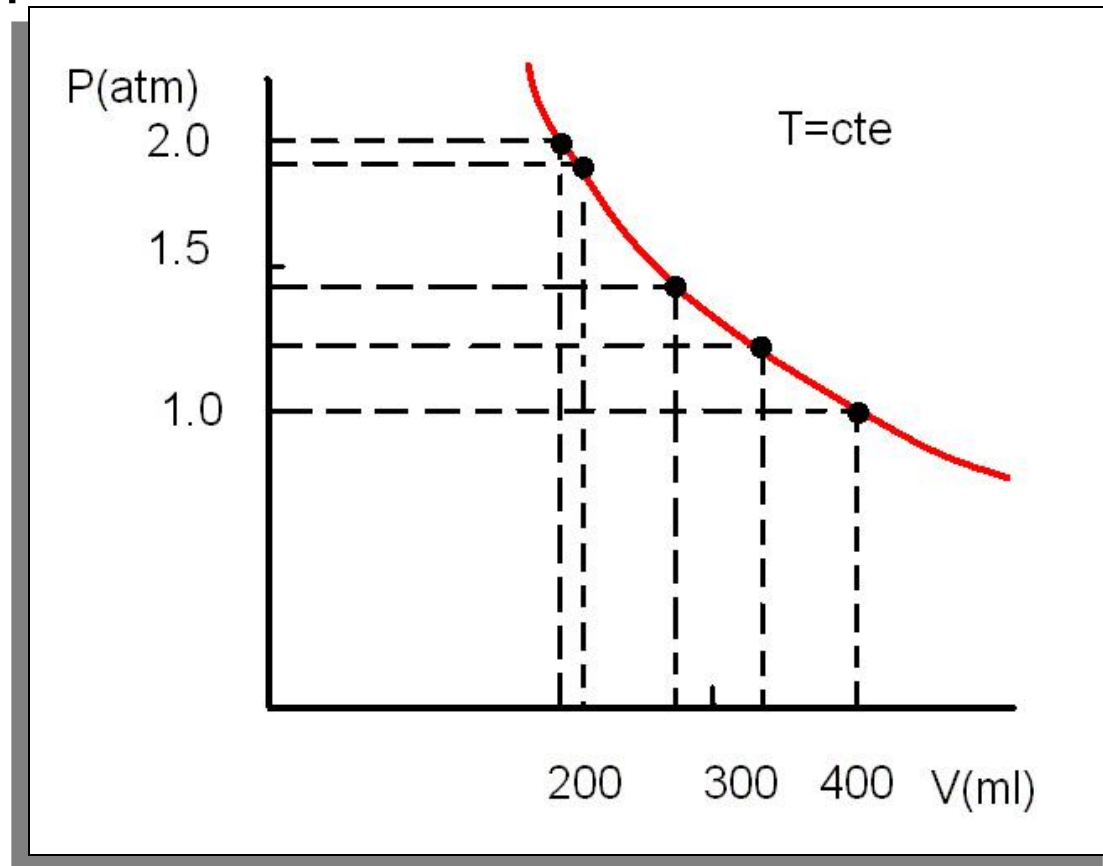


Fig. 3

Se trata de una *hipérbola equilátera*, característica de la proporcionalidad inversa.



Si se grafica la presión en función de la inversa del volumen ¿qué gráfica se obtiene?



Matemáticamente puede plantearse entonces la ecuación:

$$PV = k \quad |t \quad |m$$

La representación indica temperatura constante y masa de gas constante, condiciones *restrictivas* para que el producto PV sea constante.

Los gases presentan este comportamiento general si las presiones no son demasiado elevadas; (llamamos elevadas a las del orden de decenas o centenas de atmósferas).

Se trata de *una de las leyes del estado gaseoso*, llamada **ley de Boyle**.

Robert Boyle nació en Lismore, Irlanda, en 1627.

Retrato de Robert Boyle usando peluca, moda de la época.





Un posible enunciado de la ley:

.....



Otro posible enunciado:

.....

En el siglo XVII, gran parte de la experimentación con gases fue motivada por el debate acerca de la existencia del *vacío*. La filosofía escolástica negaba la posibilidad de su existencia. Los “plenistas” (Descartes entre los más renombrados), sostenían como Aristóteles, que “la naturaleza tiene horror al vacío”.

Este debate filosófico de la época se observa también en la escena segunda del acto III de la comedia de Shakespeare *Much Ado About Nothing*, cuando uno de los personajes, que se mueve de un lugar a otro sobre el escenario, explica que cada lugar vacío que deja, debe ser llenado inmediatamente por el aire...

Hacia 1650, filósofos de la naturaleza como Franciscus Linus, y otros, negaban la existencia de un vacío en el tubo de Torricelli. Negarlo significaba además, no aceptar que el tubo y la cubeta con mercurio medían la presión de la atmósfera...



El espacio entre la Tierra y los demás cuerpos del universo se consideraba ocupado por el *éter*, la “quinta esencia” de Aristóteles. La idea del *éter* universal persistió en la Física hasta el experimento crucial de Michelson y Morley en 1881.



“Han sido propuestas distintas maneras de mostrar tanto la Presión del Aire, como que la Atmósfera es un cuerpo pesante; y el Aire, especialmente cuando es comprimido por una fuerza externa ... tiene no solamente un Resorte que le permite sostener o resistir, sino también un Resorte activo (si puedo decirlo así) ”.

Robert Boyle. *New Experiments Physico-Mechanicall touching the Spring of the Air, and its Effects; made, for the most part, in a New Pneumatical Engine;* London, 1660.



La publicación de este libro originó una fuerte crítica a las interpretaciones que hizo Boyle sobre la presión del aire y la existencia del vacío. Principalmente fueron tres los libros donde se atacaron las ideas de Boyle: *Tractatus de corporum inseparabilitate*, de Franciscus Linus, 1661; *Dialogus physicus*, de Thomas Hobbes, 1661; y *Antidote against Atheism*, de Henry More, 1662.

La controversia originada condujo a Boyle a la publicación en 1662 de su célebre artículo *Two New Experiments touching the measure of the Force of the Spring of Air compressed and dilated*, artículo en el que "podemos descubrir" la ley de Boyle...



Boyle se propuso demostrar, sobre todo frente a las objeciones del jesuita Franciscus Linus (plenista), que la *fuerza de resorte* del aire era lo suficientemente poderosa como para sostener una columna de mercurio de 76 cm de altura, o una columna de agua de más de 10 metros, etc., tal como Torricelli había afirmado.

Uno de los experimentos realizados por Boyle para medir *la fuerza de resorte del aire comprimido y dilatado*, consistió en medir con precisión cómo la “fuerza de resorte” aumenta cuando el aire se comprime, y decrece cuando el aire se “enrarece”...



divisions in the shorter Tube, the several Observations that were thus successively made, and as they were made set down, afforded us the ensuing Table.

A Table of the Condensation of the Air.

A	A	B	C	D	E
48	12	00		29 $\frac{7}{16}$	29 $\frac{7}{16}$
46	11 $\frac{1}{2}$	01 $\frac{7}{16}$		30 $\frac{2}{16}$	30 $\frac{6}{16}$
44	11	02 $\frac{1}{9}$		31 $\frac{1}{16}$	31 $\frac{1}{16}$
42	10 $\frac{1}{2}$	04 $\frac{1}{16}$		33 $\frac{8}{16}$	33 $\frac{1}{2}$
40	10	06 $\frac{1}{16}$		35 $\frac{1}{16}$	35--
38	9 $\frac{1}{2}$	07 $\frac{1}{16}$		37--	36 $\frac{1}{9}$
36	9	10 $\frac{1}{16}$		39 $\frac{1}{16}$	38 $\frac{7}{8}$
34	8 $\frac{1}{2}$	12 $\frac{1}{16}$		41 $\frac{1}{16}$	41 $\frac{1}{16}$
32	8	15 $\frac{1}{16}$		44 $\frac{1}{16}$	43 $\frac{1}{16}$
30	7 $\frac{1}{2}$	17 $\frac{1}{16}$		47 $\frac{1}{16}$	46 $\frac{1}{2}$
28	7	21 $\frac{1}{16}$		50 $\frac{1}{16}$	50--
26	6 $\frac{1}{2}$	25 $\frac{1}{16}$		54 $\frac{1}{16}$	53 $\frac{1}{3}$
24	6	29 $\frac{1}{16}$		58 $\frac{1}{16}$	58 $\frac{1}{8}$
23	5 $\frac{3}{4}$	32 $\frac{1}{16}$		61 $\frac{1}{16}$	60 $\frac{1}{2}$
22	5 $\frac{1}{2}$	34 $\frac{1}{16}$		64 $\frac{1}{16}$	63 $\frac{1}{16}$
21	5 $\frac{1}{4}$	37 $\frac{1}{16}$		67 $\frac{1}{16}$	66 $\frac{1}{7}$
20	5	41 $\frac{1}{16}$		70 $\frac{1}{16}$	70--
19	4 $\frac{3}{4}$	45--		74 $\frac{1}{16}$	73 $\frac{1}{9}$
18	4 $\frac{1}{2}$	48 $\frac{1}{16}$		77 $\frac{1}{16}$	77 $\frac{1}{3}$
17	4 $\frac{1}{4}$	53 $\frac{1}{16}$		82 $\frac{1}{16}$	82 $\frac{1}{7}$
16	4	58 $\frac{1}{16}$		87 $\frac{1}{16}$	87 $\frac{1}{8}$
15	3 $\frac{3}{4}$	63 $\frac{1}{16}$		93 $\frac{1}{16}$	93 $\frac{1}{3}$
14	3 $\frac{1}{2}$	71 $\frac{1}{16}$		100 $\frac{1}{16}$	99 $\frac{1}{7}$
13	3 $\frac{1}{4}$	78 $\frac{1}{16}$		107 $\frac{1}{16}$	107 $\frac{1}{3}$
12	3	88 $\frac{1}{16}$		117 $\frac{1}{16}$	116 $\frac{1}{8}$

Added to 29 $\frac{7}{16}$ makes

- AA. The number of equal spaces in the shorter leg, that contained the same parcel of Air diversly extended.
- B. The height of the Mercurial Cylinder in the longer leg, that compress'd the Air into those dimensions.
- C. The height of a Mercurial Cylinder that counterbalanc'd the pressure of the Atmosphere.
- D. The Aggregate of the two last Columns B and C, exhibiting the pressure sustained by the included Air.
- E. What that pressure should be according to the *Hypothesis*, that supposes the pressures and expansions to be in reciprocal proportion.

For the better understanding of this Experiment it may not be amiss to take notice of the following particulars :

1. That the Tube being so tall that we could not conveniently make use of it in a Chamber, we were fain to use it on a pair of Stairs, which yet were very lightsom, the Tube being for prefer-
vations

“Una tabla de la condensación del aire”, en: *A Defence of the Doctrine touching the Spring and Weight of Air, against the objections of Franciscus Linus.* Robert Boyle, 1662; p. 60.

El experimento de Boyle.

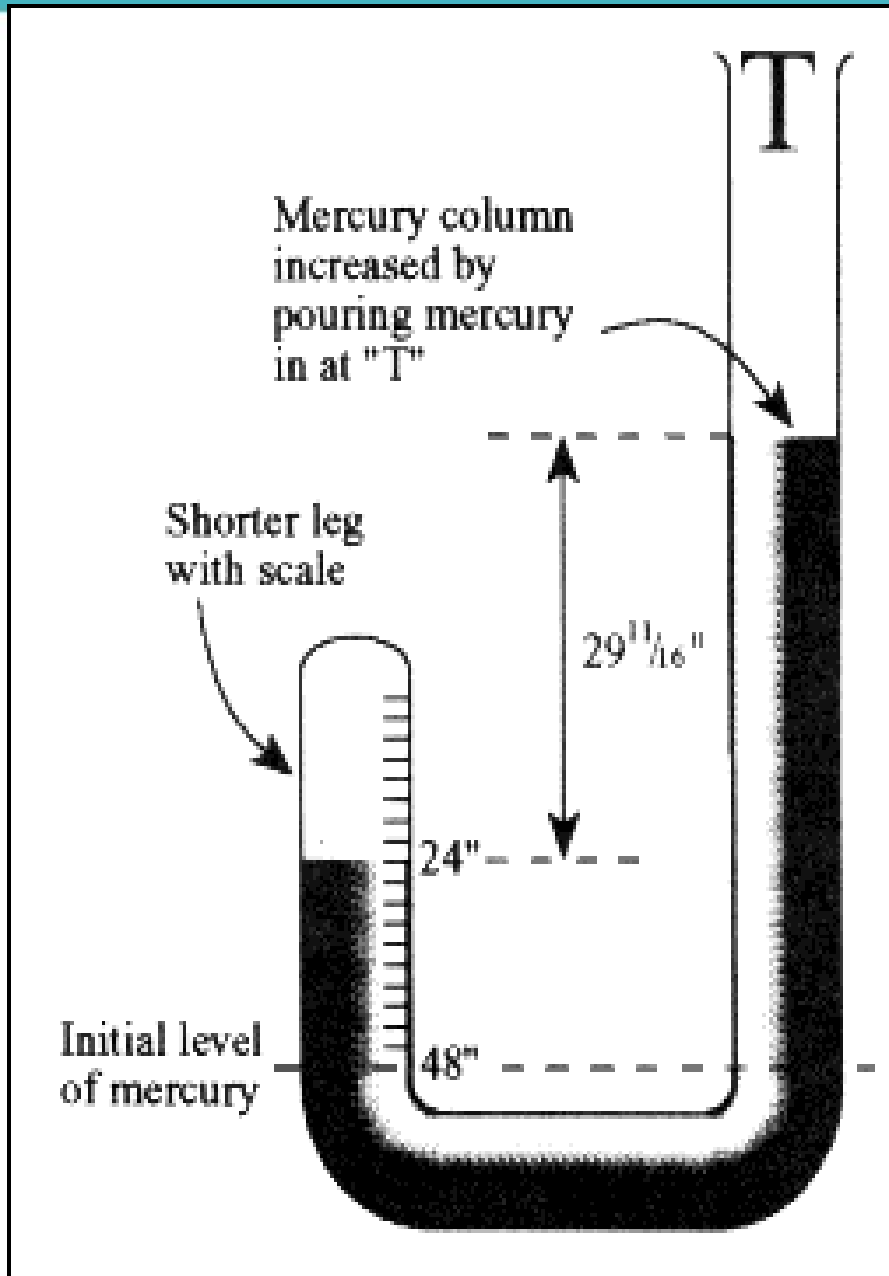
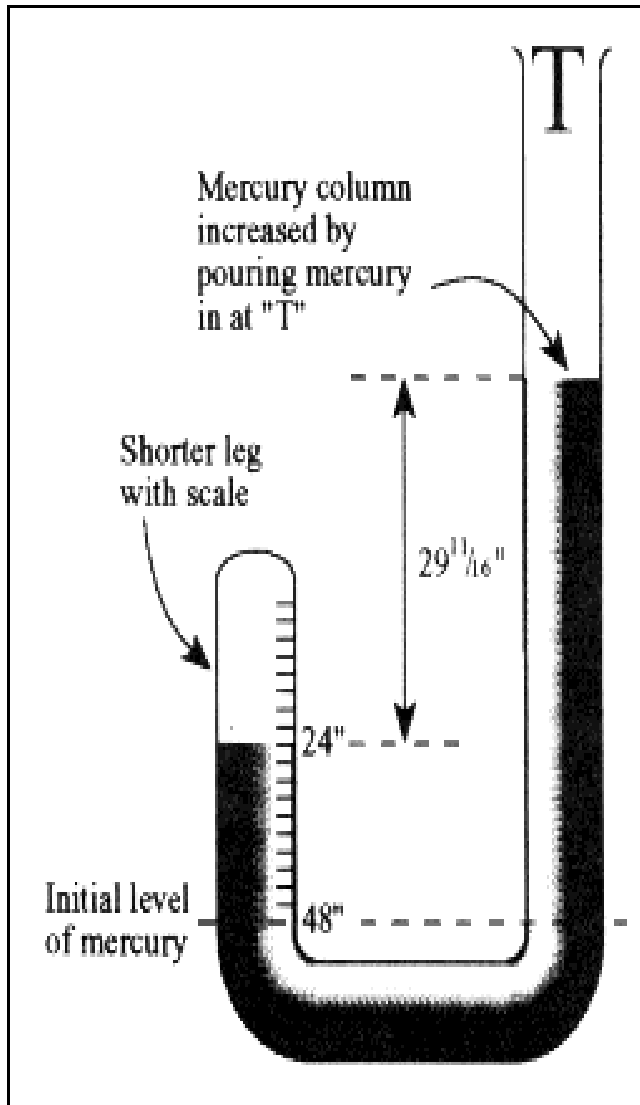


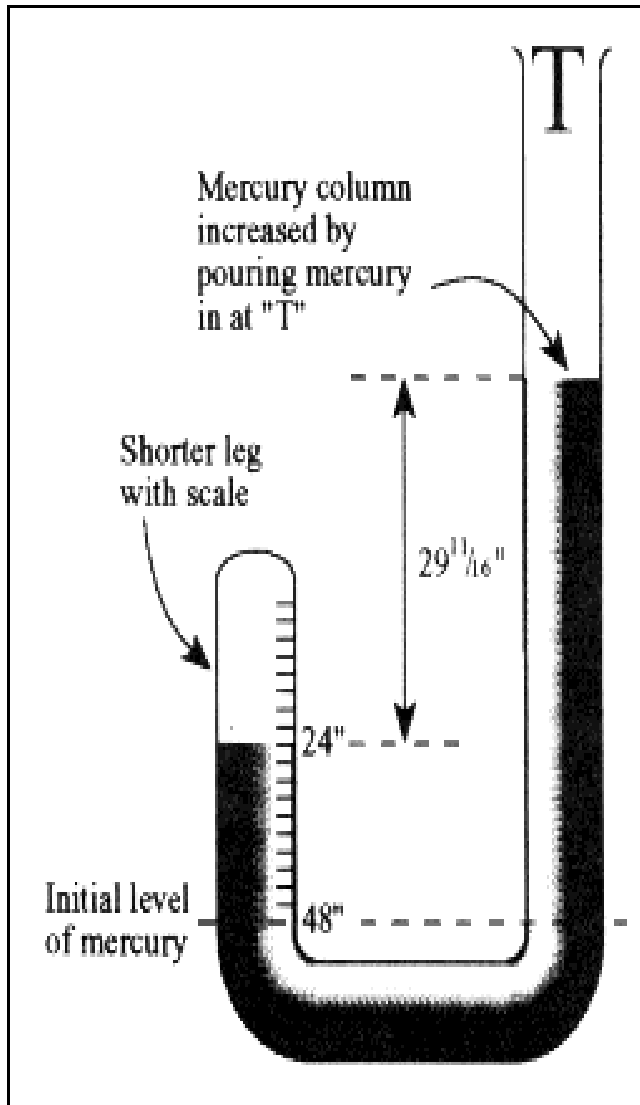
Fig. 4. Este dibujo muestra un momento importante del experimento.

El tubo en forma de J no está dibujado a escala, sino que era estrecho y la rama abierta medía casi 3 metros. No estaba graduado, sino que Boyle pegó sobre el vidrio tiras de papel que marcaban las pulgadas...



Robert Boyle realizaba las mediciones, y su ayudante Robert Hooke, subido en una escalera, vertía mercurio en el tubo (de sección interior constante).

En el laboratorio, el *tubo de Torricelli* que actualmente llamamos barómetro, indicaba una presión atmosférica de *29 pulgadas y fracción*. Cuando el volumen de aire contenido en la rama cerrada del tubo, quedó reducido a la mitad del inicial (dibujo), la diferencia de alturas Δh entre los niveles de mercurio en ambas ramas fue de *29 pulgadas y fracción...*

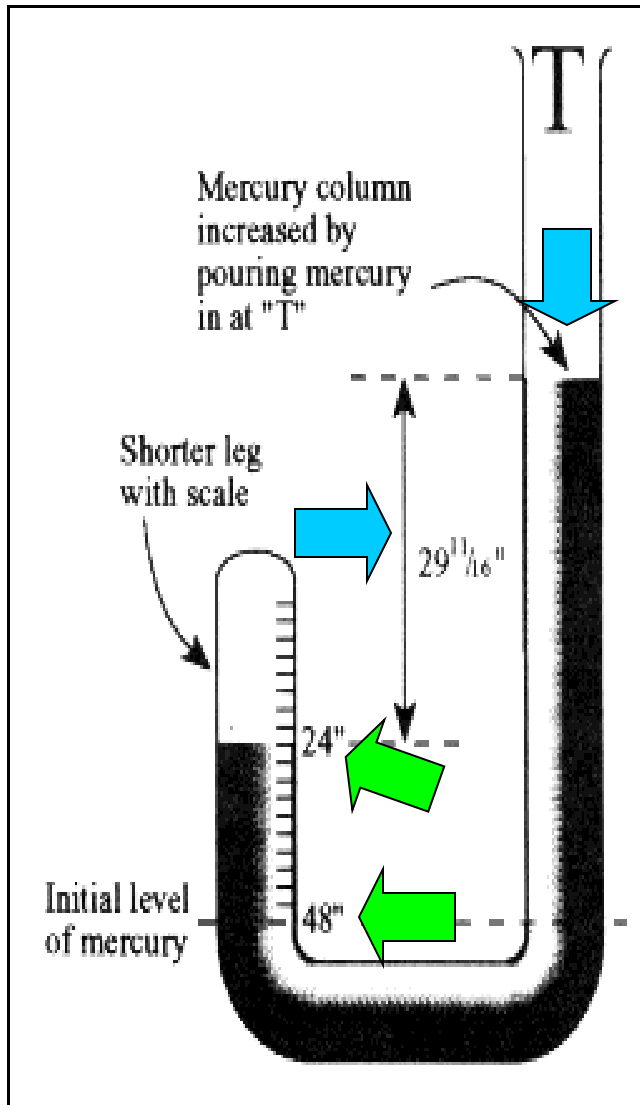


En este momento del experimento, y según lo que el propio Boyle escribió en su artículo, *"observé no sin agrado y satisfacción... que la diferencia de niveles era de 29 pulgadas..."*



¿Por qué "agrado y satisfacción"...?





Para Boyle, la conclusión era evidente. El volumen de aire encerrado se había reducido a **la mitad del valor inicial** porque la presión sobre ese aire se había **duplicado**: *una presión de 29 pulgadas y fracción, ejercida por la columna mercurial, + 29 pulgadas y fracción debidas a la presión atmosférica...*

Datos del experimento de Boyle (1662).



Los valores son en pulgadas.
En todos los casos la presión atmosférica era de
29 $\frac{2}{16}$ pulgadas de mercurio.

Aire encerrado (pulgadas lineales)

diferencia de niveles entre ambas ramas

Presión teórica calculada

I	II	III	IV
48	00	29 2/16	29 2/16
46	01 7/16	30 9/16	30 6/16
44	02 13/16	31 15/16	31 12/16
42	04 6/16	33 8/16	33 1/7
40	06 3/16	35 5/16	35
38	07 14/16	37	36 15/19
36	10 2/16	39 5/16	38 7/8
34	12 8/16	41 10/16	41 2/17
32	15 1/16	44 3/16	43 11/16
30	17 15/16	47 1/16	46 3/5
28	21 3/16	50 5/16	50
26	25 3/16	54 5/16	53 10/13
24	29 11/16	58 13/16	58 2/8
23	32 3/16	61 5/16	60 18/23
22	34 15/16	64 1/16	63 6/11
21	37 15/16	67 1/16	66 4/7
20	41 9/16	70 11/16	70
19	45	74 2/16	73 11/19
18	48 12/16	77 14/16	77 2/3
17	53 11/16	82 12/16	82 4/17
16	58 2/16	87 14/16	87 3/8
15	63 15/16	93 1/16	93 1/5
14	71 5/16	100 7/16	99 6/7
13	78 11/16	107 13/16	107 7/13
12	88 7/16	117 9/16	116 4/8

presión total sobre el aire encerrado (pulgadas de mercurio)



Aire encerrado (pulgadas lineales)

diferencia de niveles entre ambas ramas

Presión teórica calculada

I	II	III	IV
48	00	29 2/16	29 2/16
46	01 7/16	30 9/16	30 6/16
44	02 13/16	31 15/16	31 12/16
42	04 6/16	33 8/16	33 1/7
40	06 3/16	35 5/16	35
38	07 14/16	37	36 15/19
36	10 2/16	39 5/16	38 7/8
34	12 8/16	41 10/16	41 2/17
32	15 1/16	44 3/16	43 11/16
30	17 15/16	47 1/16	46 3/5
28	21 3/16	50 5/16	50
26	25 3/16	54 5/16	53 10/13
24	29 11/16	58 13/16	58 2/8
23	32 3/16	61 5/16	60 18/23
22	34 15/16	64 1/16	63 6/11
21	37 15/16	67 1/16	66 4/7
20	41 9/16	70 11/16	70
19	45	74 2/16	73 11/19
18	48 12/16	77 14/16	77 2/3
17	53 11/16	82 12/16	82 4/17
16	58 2/16	87 14/16	87 3/8
15	63 15/16	93 1/16	93 1/5
14	71 5/16	100 7/16	99 6/7
13	78 11/16	107 13/16	107 7/13
12	88 7/16	117 9/16	116 4/8

presión total sobre el aire encerrado (pulgadas de mercurio)

Los últimos valores de Δh , explican que Boyle incluyera en su experimento una buena escalera...

Pero veamos la tercera columna: mientras que la primera y la segunda corresponden a datos empíricos tomados por Boyle en el momento del experimento, la tercera columna puede resultar engañosa para el lector...



Aire encerrado (pulgadas lineales)

diferencia de niveles entre ambas ramas

presión total sobre el aire encerrado (pulgadas de mercurio)

Presión teórica calculada

I	II	III	IV
48	00	29 2/16	29 2/16
46	01 7/16	30 9/16	30 6/16
44	02 13/16	31 15/16	31 12/16
42	04 6/16	33 8/16	33 1/7
40	06 3/16	35 5/16	35
38	07 14/16	37	36 15/19
36	10 2/16	39 5/16	38 7/8
34	12 8/16	41 10/16	41 2/17
32	15 1/16	44 3/16	43 11/16
30	17 15/16	47 1/16	46 3/5
28	21 3/16	50 5/16	50
26	25 3/16	54 5/16	53 10/13
24	29 11/16	58 13/16	58 2/8
23	32 3/16	61 5/16	60 18/23
22	34 15/16	64 1/16	63 6/11
21	37 15/16	67 1/16	66 4/7
20	41 9/16	70 11/16	70
19	45	74 2/16	73 11/19
18	48 12/16	77 14/16	77 2/3
17	53 11/16	82 12/16	82 4/17
16	58 2/16	87 14/16	87 3/8
15	63 15/16	93 1/16	93 1/5
14	71 5/16	100 7/16	99 6/7
13	78 11/16	107 13/16	107 7/13
12	88 7/16	117 9/16	116 4/8

Cuando el volumen inicial de aire encerrado (longitud 48 pulgadas), se reduce a 24 pulgadas por la presión del mercurio vertido, la diferencia de niveles entre ambas ramas (Δh) es de 29 pulgadas y fracción (**dato**).



Entonces Boyle escribe en la tercera columna 58 pulgadas y fracción, porque *considera* que la presión aplicada sobre el aire encerrado, resulta de la suma de las 29 pulgadas y fracción de mercurio + las 29 pulgadas y fracción debidas a la presión del aire, tal como Torricelli había sostenido (**teoría**).

La tercera columna, por lo tanto, no contiene datos empíricos como la primera y la segunda, sino que Boyle la deduce, la infiere, a partir de la teoría: la teoría de Torricelli sobre la presión atmosférica.

La columna IV tampoco es una columna de datos experimentales. Muestra los valores calculados matemáticamente, considerando que la presión y el volumen de aire son inversamente proporcionales...



La *hipótesis de Boyle* sobre la relación inversa entre volumen y presión, tenía el objetivo de apoyar la teoría de Torricelli. Efectivamente, la presión del aire encerrado, calculada según esta hipótesis (valores de la columna IV), concordaba con la presión calculada asumiendo que había que sumar 29 pulgadas a la diferencia de niveles (valores de la columna III).

De acuerdo al experimento de Boyle, si es verdadero el enunciado "la presión y el volumen del aire encerrado son inversamente proporcionales", entonces también será verdadero que "el tubo de Torricelli mide la presión atmosférica".



¿Podrían ser falsos ambos enunciados?

El diseño del experimento de Boyle no hubiera sido posible si el irlandés no hubiera comprendido de antemano la acción que ejerce la atmósfera, tal como Torricelli lo había sostenido 15 años antes.

Para Boyle, su experimento demostraba que la presión atmosférica era medible mediante el tubo de Torricelli. El dispositivo inventado por el italiano, era verdaderamente un *barómetro*. Por encima del mercurio del barómetro había un *vacío*...

Usualmente, los textos de Química informan al estudiante sobre el resultado de los experimentos de los científicos del pasado, pero raramente informan sobre las cuestiones que *motivaron* dichos experimentos.

En resumen: Boyle se propuso defender la teoría de Torricelli sobre la presión que ejerce la atmósfera. Como hipótesis auxiliar, supuso la proporcionalidad inversa entre presión y volumen del aire en su experimento.



La contrastación entre “la historia oficial” de los libros de texto, y los escritos originales de los científicos, configura un campo de investigación epistemológica e historiográfica, que ilustra al alumno y al docente sobre cómo se escribe la ciencia y cómo se escribe la historia...





Créditos de las imágenes utilizadas

- Figuras 1 y 2: http://images.slideplayer.gr/7/1879291/slides/slide_10.jpg
- Retrato de Boyle:
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a3/The_Shannon_Portrait_of_the_Hon_Robert_Boyle.jpg/612px-The_Shannon_Portrait_of_the_Hon_Robert_Boyle.jpg
- Tabla de condensación del aire:
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/40/Boyle%27s_Law._Wellcome_M0014010.jpg/529px-Boyle%27s_Law._Wellcome_M0014010.jpg
- El experimento de Boyle: <http://gasesidealesuc.galeon.com/image1.gif>
- Información: https://cdn.pixabay.com/photo/2016/04/21/13/28/info-symbol-1343394_960_720.png
- Historia oficial:
<http://www.personal.psu.edu/users/s/a/sam50/cinergia/mf/ho2.jpg>

Lahore, A. (2004, actualización 2017). *Presentación La Historia oficial de la Ley de Boyle*. Portal Uruguay Educa. CC BY-SA 4.0



Este obra está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).