Guía docente: práctica de laboratorio «Ley de Boyle-Mariotte»

Ficha rápida

Práctica de laboratorio simulada en la que el alumnado encierra aire en una jeringa con una llave de tres vías, cambia su volumen con el émbolo, lee la presión en un manómetro de aguja y comprueba que, a temperatura constante, el producto P · V no cambia. No es una explicación proyectada, sino una práctica que hace cada alumno o cada pareja: la simulación nunca da la presión ni el volumen y hay que leerlos en las escalas, y los errores de procedimiento tienen las mismas consecuencias que en el laboratorio. Su uso principal es 3.º ESO, con aplicación en 4.º ESO.

Dato	Detalle
Enlace	simulaciencia.es/simulaciones/practica-boyle
Guion del alumnado	simulaciencia.es/guiones/practica-boyle, en Word y LibreOffice para adaptarlo, y en PDF
Cursos	3.º ESO (uso principal), 4.º ESO
Materia	Física y Química
Duración orientativa	Una sesión de 50 minutos: 20 con el nivel guiado y 20 con el nivel libre y el guion
Agrupamiento	Individual o por parejas, con un ordenador, tableta o móvil por grupo
Material	Navegador, sin instalar nada. El guion impreso o en digital para el nivel libre, y papel milimetrado si las gráficas se hacen a mano
Conocimientos previos	Presión y sus unidades (kPa), presión atmosférica, volumen en mL, modelo de partículas de un gas
Accesibilidad	Tema oscuro, claro y de alto contraste (botón del engranaje). Se maneja con ratón, con el dedo o con el teclado, y «Describir las escalas» dice dónde están la aguja y el émbolo

Cómo funciona la práctica

En la mesa hay un manómetro de aguja, una llave de tres vías, una jeringa tumbada y una lupa. El mango del émbolo y la lupa se arrastran con el ratón o con el dedo, y la palanca de la llave se pulsa. En el móvil, unos botones bajo la mesa abren y cierran la llave y mueven el émbolo.

La llave tiene tres salidas: el manómetro, la jeringa y el aire de la sala. La palanca apunta a la salida que cierra. **Hacia arriba**, todo está abierto al aire y la presión es la de la sala. **Hacia abajo**, el aire de la jeringa queda encerrado con el manómetro y, desde ese momento, siempre es el mismo aire.

Dos niveles

Nivel	Qué hace el alumnado	Qué comprueba la simulación
Guiada (paso a paso)	Sigue nueve pasos numerados y apunta siete medidas en un cuaderno de laboratorio en pantalla (40, 35, 30, 25, 20, 50 y 60 mL). Ve sus puntos en las gráficas P–V y P–1/V, predice la presión con 45 mL y responde una pregunta de partículas	Cada lectura y cada cálculo al apuntarlo, la predicción y la respuesta. Siempre usa la jeringa de 60 mL y el manómetro absoluto
Libre (con guion)	Sigue el guion del alumnado, elige la jeringa y el manómetro, decide dónde cierra la llave y a qué volúmenes mide, y hace los cálculos y las gráficas en la hoja	Nada. Solo pone los instrumentos y el número del montaje. Corrige el profesorado con la clave de esta guía

Los nueve pasos del nivel guiado son: poner el émbolo en 40 mL con la llave abierta; leer la presión de la sala; cerrar la llave; empujar hasta 35, 30, 25 y 20 mL y leer; tirar hasta 50 y 60 mL y leer; calcular P · V en cada medida; mirar la gráfica P frente a 1/V; predecir la presión con 45 mL y comprobarla, y explicarlo con partículas.

Instrumentos del nivel libre

Instrumento	Escala	División
Jeringa de 60 mL	De 0 a 60 mL	1 mL
Jeringa de 20 mL	De 0 a 20 mL	0,5 mL
Manómetro absoluto	De 0 a 200 kPa	2 kPa
Manómetro relativo, con barómetro de pared	De −100 a 100 kPa	2 kPa

El manómetro relativo marca lo que la presión del aire se pasa de la atmosférica (o lo que le falta, con números negativos), como el de las ruedas de una bici. Para tener la presión absoluta hay que sumarle la que marca el barómetro de la pared, que está en hPa.

Lo que hay que saber de la medida

- **Ni la presión ni el volumen aparecen escritos.** Se leen con la lupa en la escala del manómetro y en la de la jeringa.
- **El volumen se lee en el borde de la goma que toca el aire,** el de la izquierda. El otro borde da unos mililitros de más.
- **La aguja se pasa si el émbolo se mueve deprisa.** Al empujar rápido, el aire se calienta un poco y la presión sube de más; al tirar rápido, se enfría. En unos 4 segundos vuelve a la temperatura de la sala y la aguja se para. La primera vez, un aviso lo explica. Es la razón de que la ley pida temperatura constante, y se puede comentar en clase.
- **Cada número de montaje es siempre el mismo día de laboratorio:** la presión atmosférica (la habitual en Madrid, de 93 a 96 kPa, por la altitud; al nivel del mar sería de unos 101 kPa, 1 atm) y la temperatura de la sala. Al abrir la práctica sale un montaje al azar; se puede elegir otro en el desplegable o con «Otro al azar».
- **En el nivel guiado** se da por bueno el volumen exacto y la presión a menos de media división (1 kPa). Con esas lecturas, P · V sale igual en todas las medidas con menos de un 3,5 % de diferencia.

Errores con consecuencias

Los errores de procedimiento no se castigan de forma arbitraria: cada uno estropea la medida por una razón física que se puede explicar en clase.

Error	Qué pasa en la simulación
Medir con la llave abierta	El aire entra y sale por la llave: la presión es siempre la de la sala y no cambia con el volumen. En el nivel guiado, la simulación no deja cerrar la llave antes de leer la presión de la sala
Leer sin esperar a que la aguja se pare	La lectura sale alta al empujar y baja al tirar, y P · V no se repite
Leer el volumen por el borde equivocado de la goma	Todos los volúmenes salen unos mililitros de más y P · V crece con el volumen
Empujar hasta pasar del final de la escala del manómetro	El tubo se suelta, se escapa aire y hay que empezar de nuevo con el mismo montaje
Tirar del émbolo más allá de la última raya	El émbolo se sale de la jeringa, entra aire y hay que empezar de nuevo
Abrir la llave después de empezar a medir (nivel guiado)	Entra o sale aire, ya no es el mismo gas y hay que empezar de nuevo
Cerrar la llave con la jeringa llena y empujar mucho (nivel libre)	Cerrando en 60 mL, la presión pasa de 200 kPa antes de llegar a 20 mL y el tubo se suelta. El guion pide cerrar en 40 mL

Repartir la práctica ya preparada

La dirección de la práctica admite cuatro parámetros, que se pueden combinar y pegar en Classroom, Moodle o Teams:

Parámetro	Efecto	Ejemplo
`nivel=libre`	Abre el nivel libre	simulaciencia.es/simulaciones/practica-boyle/?nivel=libre
`montaje=N`	Empieza con el montaje N (de 1 a 12)	.../practica-boyle/?nivel=libre&montaje=7
`jeringa=20`	En el nivel libre, empieza con la jeringa de 20 mL	.../practica-boyle/?nivel=libre&jeringa=20
`manometro=relativo`	En el nivel libre, empieza con el manómetro relativo y el barómetro	.../practica-boyle/?nivel=libre&manometro=relativo

Clave de los montajes

Para corregir. Si se cierra la llave con V_0 mL de aire a la presión de la sala, en todas las medidas se cumple $\mathbf{P \cdot V = P_{atm} \cdot V_0}$. La tabla da los valores con V_0 = 40 mL, que es lo que hace el nivel guiado y lo que pide el guion.

Montaje	P_{atm} (kPa)	Sala (°C)	P · V (kPa·mL)	P con 20 mL (kPa)	P con 30 mL (kPa)	P con 45 mL (kPa)	P con 60 mL (kPa)
1	94,6	21	3784	189,2	126,1	84,1	63,1
2	93,4	22	3736	186,8	124,5	83,0	62,3
3	95,2	20	3808	190,4	126,9	84,6	63,5
4	94,1	23	3764	188,2	125,5	83,6	62,7
5	95,8	19	3832	191,6	127,7	85,2	63,9
6	93,0	24	3720	186,0	124,0	82,7	62,0

Montaje	P_{atm} (kPa)	Sala (°C)	P · V (kPa·mL)	P con 20 mL (kPa)	P con 30 mL (kPa)	P con 45 mL (kPa)	P con 60 mL (kPa)
7	94,9	22	3796	189,8	126,5	84,4	63,3
8	93,7	20	3748	187,4	124,9	83,3	62,5
9	95,5	21	3820	191,0	127,3	84,9	63,7
10	94,3	19	3772	188,6	125,7	83,8	62,9
11	96,0	23	3840	192,0	128,0	85,3	64,0
12	93,9	22	3756	187,8	125,2	83,5	62,6

Con el manómetro de aguja, la presión se lee a 1 kPa como mucho, así que lo razonable es aceptar P · V con un 3 o 4 % de diferencia respecto a la clave. Con la jeringa de 20 mL el guion pide cerrar en 15 mL, así que P · V vale P_{atm} × 15. Si un alumno cierra la llave en otro volumen, su P · V es P_{atm} por ese volumen. Con el manómetro relativo, la lectura más la presión del barómetro (pasada de hPa a kPa) tiene que dar los valores de la tabla.

Uso en cada curso

En 3.º ESO la práctica sirve para descubrir la ley de Boyle a partir de medidas propias; en 4.º ESO, para trabajar presión absoluta y relativa, el error de la medida y el análisis de datos. Los saberes citados son los del currículo LOMLOE de la Comunidad de Madrid para Física y Química.

3.º ESO: descubrir la ley de Boyle

14–15 años · 9th grade en EE. UU. · Year 10 en Reino Unido

Saberes básicos. Bloque A: «Empleo de diversos entornos y recursos de aprendizaje científico, como el laboratorio o los entornos virtuales» y «Registro de datos y resultados empleando tablas, gráficos y expresiones matemáticas». Bloque B: «Profundización en el modelo cinético-molecular de la materia [...]. Leyes de los gases. Modelo cinético-molecular de la materia» y «Realización de experimentos de forma guiada relacionados con los sistemas materiales».

Objetivos. Seguir un procedimiento de laboratorio en el orden correcto. Leer un manómetro de aguja y la escala de una jeringa. Comprobar que, a temperatura constante, P · V no cambia. Reconocer en una gráfica una relación de proporcionalidad inversa y convertirla en una recta con P frente a 1/V. Explicar la ley con el modelo de partículas.

Propuesta de sesión (50 min).

1. **Pregunta inicial (5 min).** Tapar con el dedo la punta de una jeringa (real, si se tiene) y empujar el émbolo: «¿por qué cuesta cada vez más?, ¿qué pasaría si empujáramos hasta la mitad?». Recoger predicciones.
2. **Nivel guiado, por parejas (20 min).** Cada pareja con el montaje que le salga. Al terminar las medidas, la gráfica P–V sale curva; con P frente a 1/V, recta. La predicción con 45 mL es el momento de comprobar que la ley sirve para algo.
3. **Nivel libre con el guion (15 min).** Repartir montajes distintos con el parámetro `montaje=N`. Las parejas cierran en 40 mL, miden a los volúmenes que elijan y calculan P · V.
4. **Puesta en común (10 min).** Cada pareja dice su P · V. No sale el mismo número en toda la clase, porque cada montaje es un día con otra presión atmosférica, pero dentro de cada pareja se repite.

Cerrar con la pregunta de partículas: la mitad de volumen, el doble de choques contra las paredes, el doble de presión.

4.º ESO: presión absoluta y relativa, y el error de la medida

15–16 años · 10th grade en EE. UU. · Year 11 en Reino Unido

Saberes básicos. Bloque A: «La medida y su error», «Análisis de datos experimentales» y «Utilización adecuada del material de laboratorio e instrumentos de medida». Bloque B: «Los gases. Ley general de los gases». Bloque D: «Concepto de Presión. […] Presión atmosférica».

Objetivos. Distinguir presión absoluta y relativa y pasar de una a otra con un barómetro. Elegir el instrumento según la precisión que hace falta. Obtener la constante de la ley a partir de la pendiente de la recta P–1/V. Relacionar la ley de Boyle con la ley general de los gases.

Propuesta de sesión (50 min).

1. **Repaso con el nivel guiado (10 min).** Solo hasta el paso 5, para recordar el manejo.
2. **Manómetro relativo (15 min).** En el nivel libre, con `manometro=relativo`. Medir con la llave abierta: marca 0, aunque el aire de la jeringa sí tiene presión. Repetir las medidas sumando la presión del barómetro. Pregunta para discutir: ¿por qué las ruedas de la bici usan un manómetro relativo?
3. **Dos jeringas (15 min).** Repetir con la jeringa de 20 mL (`jeringa=20`). Comparar cuánto pesa una división de cada jeringa en el error de V y, por tanto, en el de P · V.
4. **Análisis (10 min).** Hacer la gráfica P frente a 1/V con 1/V en L^{-1} (1000 / V con V en mL), trazar la recta y calcular la pendiente: es P · V. Comparar con la media de los productos.

Evaluación

Cada montaje tiene su propio P · V, y en el nivel libre el alumnado elige los volúmenes, así que se corrige el procedimiento y el cálculo con los datos de cada alumno y el valor de la constante con la clave. Una rúbrica sencilla:

Criterio	Qué se mira
Procedimiento	Cierra la llave antes de medir, mueve el émbolo despacio y espera a que la aguja se pare. Si tuvo que empezar de nuevo por un error, que explique cuál fue y por qué estropea la medida
Medida	Lecturas con su unidad y con la precisión del instrumento: el volumen con la división de la jeringa y la presión con la del manómetro
Cálculo	P · V bien hecho en cada medida, con unidades. Con el manómetro relativo, presión absoluta bien obtenida con el barómetro
Gráficas	Ejes con magnitud y unidad, escalas adecuadas, curva en P–V y recta en P–1/V
Conclusión	Enuncia la ley con sus palabras, explica de dónde vienen las diferencias entre los productos y la relaciona con el modelo de partículas

Concepciones alternativas que ayuda a corregir

Idea del alumnado	Idea correcta	Cómo mostrarlo
«Al comprimir el aire, las partículas se hacen más pequeñas»	Las partículas no cambian de tamaño: se reduce el espacio vacío entre ellas	La pregunta de partículas del nivel guiado, que explica cada respuesta errónea

Idea del alumnado	Idea correcta	Cómo mostrarlo
«La presión sube porque las partículas, más juntas, se repelen»	En un gas las partículas casi no se notan; la presión se debe a sus choques contra las paredes	Las mismas partículas en la mitad de espacio dan el doble de choques por segundo en cada trozo de pared
«Si el volumen baja a la mitad, la presión baja a la mitad», «más volumen, más presión»	Presión y volumen son inversamente proporcionales: con la mitad de volumen, el doble de presión	Predecir antes de empujar de 40 a 20 mL y comprobarlo en el manómetro
«Una curva que baja es una recta que baja»	P–V es una hipérbola; P–1/V es una recta que pasa por el origen	Las dos pestañas de la gráfica del nivel guiado, con los puntos de cada alumno
«El aire de la jeringa abierta no tiene presión»	Tiene la presión atmosférica, unos 94 kPa en Madrid	El manómetro absoluto marca unos 94 kPa con la llave abierta; el relativo, 0
«El aire no pesa ni empuja»	El aire de la sala empuja con la presión atmosférica	El barómetro de pared y la lectura con la llave abierta
«Da igual mover el émbolo deprisa o despacio»	Al comprimir deprisa el aire se calienta; la ley vale a temperatura constante	La aguja se pasa y tarda unos segundos en volver

Simplificaciones que conviene conocer

1. **Sin volumen muerto.** El aire del tubo y del manómetro no cuenta: todo el aire encerrado está en la jeringa. En una jeringa real, el aire del tubo hace que P · V salga algo distinto del esperado.
2. **Sin fugas ni rozamiento.** La goma del émbolo cierra perfectamente y el émbolo se queda donde se deja, aunque la presión de dentro sea muy distinta de la de fuera.
3. **Gas ideal.** El aire cumple la ley exactamente en todo el intervalo de presiones de la práctica, como pasa en la realidad con muy buena aproximación.
4. **Calentamiento suavizado.** Al mover el émbolo deprisa el aire se calienta o se enfría solo una fracción de lo que lo haría sin intercambio de calor, y vuelve a la temperatura de la sala en unos 4 segundos.
5. **Escalas perfectas.** El manómetro no tiene error de cero ni histéresis, y la aguja no tiene holgura.
6. **Ajuste al mililitro en el nivel guiado.** Al soltar el émbolo, encaja en el mililitro más cercano para que el volumen se pueda leer sin dudas. En el nivel libre se queda donde se suelta.

Juan Ramón Grijota · SimulaCiencia. Guía publicada bajo licencia CC BY-SA 4.0: puedes adaptarla y compartirla citando la autoría y con la misma licencia. Versión actualizada y simulación en simulaciencia.es/guias/practica-boyle/.