# Guia docent: pràctica de laboratori «Llei de Boyle-Mariotte»

## Fitxa ràpida

Pràctica de laboratori simulada en què l'alumnat tanca aire en una xeringa amb una clau de tres vies, en canvia el volum amb l'èmbol, llegeix la pressió en un manòmetre d'agulla i comprova que, a temperatura constant, el producte P · V no canvia. No és una explicació projectada, sinó una pràctica que fa cada alumne o cada parella: la simulació mai no dona la pressió ni el volum i cal llegir-los a les escales, i els errors de procediment tenen les mateixes conseqüències que al laboratori. A Catalunya el seu ús principal és 4t d'ESO, amb aplicació a Química de 1r de Batxillerat.

| Dada | Detall |
|---|---|
| Enllaç | simulaciencia.es/ca/simulacions/practica-boyle |
| Guió de l'alumnat | simulaciencia.es/ca/guions/practica-boyle, en Word i LibreOffice per adaptar-lo, i en PDF |
| Cursos | 4t d'ESO (ús principal), Química de 1r de Batxillerat |
| Matèria | Física i Química; Química |
| Durada orientativa | Una sessió de 50 minuts: 20 amb el nivell guiat i 20 amb el nivell lliure i el guió |
| Agrupament | Individual o per parelles, amb un ordinador, tauleta o mòbil per grup |
| Material | Navegador, sense instal·lar res. El guió imprès o en digital per al nivell lliure, i paper mil·limetrat si les gràfiques es fan a mà |
| Coneixements previs | Pressió i les seves unitats (kPa), pressió atmosfèrica, volum en mL, model de partícules d'un gas |
| Accessibilitat | Tema fosc, clar i d'alt contrast (botó de l'engranatge). Es fa servir amb ratolí, amb el dit o amb el teclat, i «Descriure les escales» diu on són l'agulla i l'èmbol |

## Com funciona la pràctica

A la taula hi ha un manòmetre d'agulla, una clau de tres vies, una xeringa ajaguda i una lupa. El mànec de l'èmbol i la lupa s'arrosseguen amb el ratolí o amb el dit, i la palanca de la clau es prem. Al mòbil, uns botons sota la taula obren i tanquen la clau i mouen l'èmbol.

La clau té tres sortides: el manòmetre, la xeringa i l'aire de la sala. La palanca apunta a la sortida que tanca. **Cap amunt**, tot és obert a l'aire i la pressió és la de la sala. **Cap avall**, l'aire de la xeringa queda tancat amb el manòmetre i, des d'aquell moment, sempre és el mateix aire.

### Dos nivells

| Nivell | Què fa l'alumnat | Què comprova la simulació |
|---|---|---|
| Guiada (pas a pas) | Segueix nou passos numerats i apunta set mesures en un quadern de laboratori a la pantalla (40, 35, 30, 25, 20, 50 i 60 mL). Veu els seus punts a les gràfiques P–V i P–1/V, prediu la pressió amb 45 mL i respon una pregunta de partícules | Cada lectura i cada càlcul en apuntar-lo, la predicció i la resposta. Sempre fa servir la xeringa de 60 mL i el manòmetre absolut |

| Nivell | Què fa l'alumnat | Què comprova la simulació |
|---|---|---|
| Lliure (amb guió) | Segueix el guió de l'alumnat, tria la xeringa i el manòmetre, decideix on tanca la clau i a quins volums mesura, i fa els càlculs i les gràfiques al full | Res. Només posa els instruments i el número del muntatge. Corregeix el professorat amb la clau d'aquesta guia |

Els nou passos del nivell guiat són: posar l'èmbol a 40 mL amb la clau oberta; llegir la pressió de la sala; tancar la clau; empènyer fins a 35, 30, 25 i 20 mL i llegir; estirar fins a 50 i 60 mL i llegir; calcular P · V a cada mesura; mirar la gràfica P davant 1/V; predir la pressió amb 45 mL i comprovar-la, i explicar-ho amb partícules.

## Instruments del nivell lliure

| Instrument | Escala | Divisió |
|---|---|---|
| Xeringa de 60 mL | De 0 a 60 mL | 1 mL |
| Xeringa de 20 mL | De 0 a 20 mL | 0,5 mL |
| Manòmetre absolut | De 0 a 200 kPa | 2 kPa |
| Manòmetre relatiu, amb baròmetre de paret | De −100 a 100 kPa | 2 kPa |

El manòmetre relatiu marca quant passa la pressió de l'aire de l'atmosfèrica (o quant li falta, amb nombres negatius), com el de les rodes d'una bici. Per tenir la pressió absoluta cal sumar-hi la que marca el baròmetre de la paret, que és en hPa.

## El que cal saber de la mesura

- **Ni la pressió ni el volum no apareixen escrits.** Es llegeixen amb la lupa a l'escala del manòmetre i a la de la xeringa.
- **El volum es llegeix a la vora de la goma que toca l'aire,** la de l'esquerra. L'altra vora dona uns mil·lilitres de més.
- **L'agulla es passa si l'èmbol es mou de pressa.** En empènyer ràpid, l'aire s'escalfa una mica i la pressió puja de més; en estirar ràpid, es refreda. En uns 4 segons torna a la temperatura de la sala i l'agulla s'atura. La primera vegada, un avís ho explica. És la raó que la llei demani temperatura constant, i es pot comentar a classe.
- **Cada número de muntatge és sempre el mateix dia de laboratori:** la pressió atmosfèrica (l'habitual a Madrid, de 93 a 96 kPa, per l'altitud; al nivell del mar seria d'uns 101 kPa, 1 atm) i la temperatura de la sala. En obrir la pràctica surt un muntatge a l'atzar; se'n pot triar un altre al desplegable o amb «Un altre a l'atzar».
- **Al nivell guiat** es dona per bo el volum exacte i la pressió a menys de mitja divisió (1 kPa). Amb aquestes lectures, P · V surt igual a totes les mesures amb menys d'un 3,5 % de diferència.

## Errors amb conseqüències

Els errors de procediment no es castiguen de manera arbitrària: cadascun espatlla la mesura per una raó física que es pot explicar a classe.

| Error | Què passa a la simulació |
|---|---|
| Mesurar amb la clau oberta | L'aire entra i surt per la clau: la pressió és sempre la de la sala i no canvia amb el volum. Al nivell guiat, la simulació no deixa tancar la clau abans de llegir la pressió de la sala |

| Error | Què passa a la simulació |
|---|---|
| Llegir sense esperar que l'agulla s'aturi | La lectura surt alta en empènyer i baixa en estirar, i P · V no es repeteix |
| Llegir el volum per la vora equivocada de la goma | Tots els volums surten uns mil·lilitres de més i P · V creix amb el volum |
| Empènyer fins a passar del final de l'escala del manòmetre | El tub es deixa anar, s'escapa aire i cal començar de nou amb el mateix muntatge |
| Estirar l'èmbol més enllà de l'última ratlla | L'èmbol surt de la xeringa, hi entra aire i cal començar de nou |
| Obrir la clau després de començar a mesurar (nivell guiat) | Entra o surt aire, ja no és el mateix gas i cal començar de nou |
| Tancar la clau amb la xeringa plena i empènyer molt (nivell lliure) | Tancant a 60 mL, la pressió passa de 200 kPa abans d'arribar a 20 mL i el tub es deixa anar. El guió demana tancar a 40 mL |

### Repartir la pràctica ja preparada

L'adreça de la pràctica admet quatre paràmetres, que es poden combinar i enganxar a Classroom, Moodle o Teams:

| Paràmetre | Efecte | Exemple |
|---|---|---|
| `nivel=libre` | Obre el nivell lliure | simulaciencia.es/ca/simulacions/practica-boyle/?nivel=libre |
| `montaje=N` | Comença amb el muntatge N (d'1 a 12) | .../practica-boyle/?nivel=libre&montaje=7 |
| `jeringa=20` | Al nivell lliure, comença amb la xeringa de 20 mL | .../practica-boyle/?nivel=libre&jeringa=20 |
| `manometro=relativo` | Al nivell lliure, comença amb el manòmetre relatiu i el baròmetre | .../practica-boyle/?nivel=libre&manometro=relativo |

## Clau dels muntatges

Per corregir. Si es tanca la clau amb $V_0$ mL d'aire a la pressió de la sala, a totes les mesures es compleix **$P \cdot V = P_{atm} \cdot V_0$**. La taula dona els valors amb $V_0$ = 40 mL, que és el que fa el nivell guiat i el que demana el guió.

| Muntatge | $P_{atm}$ (kPa) | Sala (°C) | P · V (kPa·mL) | P amb 20 mL (kPa) | P amb 30 mL (kPa) | P amb 45 mL (kPa) | P amb 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 |
| 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 |

| Muntatge | $P_{atm}$ (kPa) | Sala (°C) | P · V (kPa·mL) | P amb 20 mL (kPa) | P amb 30 mL (kPa) | P amb 45 mL (kPa) | P amb 60 mL (kPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 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 |

Amb el manòmetre d'agulla, la pressió es llegeix a 1 kPa com a molt, així que el raonable és acceptar P · V amb un 3 o 4 % de diferència respecte de la clau. Amb la xeringa de 20 mL el guió demana tancar a 15 mL, així que P · V val $P_{atm}$ × 15. Si un alumne tanca la clau en un altre volum, el seu P · V és $P_{atm}$ per aquest volum. Amb el manòmetre relatiu, la lectura més la pressió del baròmetre (passada d'hPa a kPa) ha de donar els valors de la taula.

## Ús a cada curs

A 4t d'ESO la pràctica serveix per descobrir la llei de Boyle a partir de mesures pròpies; a Química de 1r de Batxillerat, per treballar la pressió absoluta i relativa, l'error de la mesura i l'anàlisi de dades.

Els sabers i els criteris d'avaluació citats són els del currículum de Catalunya: Decret 175/2022 (DOGC núm. 8762, de 29 de setembre de 2022) per a l'ESO i Decret 171/2022 (DOGC núm. 8758, de 22 de setembre de 2022) per al batxillerat. Està previst que a partir del curs 2026-27 la Física i la Química de 1r de Batxillerat es fusionin en una sola matèria, «Física i Química»; quan se'n publiqui el currículum caldrà revisar l'apartat de 1r.

El currículum català d'ESO no anomena les lleis dels gasos. La pressió en gasos és a 4t, i les variables d'estat dels gasos ideals, a Química de 1r de Batxillerat. Per això l'ús principal va a 4t, i no al bloc de 1r a 3r.

### 4t d'ESO: descobrir la llei de Boyle

*15–16 anys · 10th grade als EUA · Year 11 al Regne Unit*

**Sabers.** La interacció: «Valoració dels efectes de les forces aplicades en líquids i gasos, i especialment del concepte de pressió, i els seus efectes en diferents situacions». La matèria: «Realització d'activitats de naturalesa variada sobre els sistemes materials més comuns [...] per a la resolució de problemes relacionats amb situacions quotidianes diverses». Les destreses científiques bàsiques: «Ús de diversos entorns i recursos d'aprenentatge científic, com ara el laboratori o els entorns virtuals...».

**Criteris d'avaluació.** 1.2 (interpretar i predir el comportament de fenòmens quotidians argumentant-lo amb models, lleis i teories), 2.3 (portar a terme l'experimentació fent servir els instruments adequats amb correcció i interpretar-ne els resultats amb eines matemàtiques) i 2.5 (presentar els resultats i les conclusions en el format adequat, com taules i gràfics).

El currículum no anomena la llei de Boyle; entra en el concepte de pressió en gasos i en la resolució de problemes sobre sistemes materials comuns.

**Objectius.** Seguir un procediment de laboratori en l'ordre correcte. Llegir un manòmetre d'agulla i l'escala d'una xeringa. Comprovar que, a temperatura constant, P · V no canvia. Reconèixer en una gràfica una relació de proporcionalitat inversa i convertir-la en una recta amb P davant 1/V. Explicar la llei amb el model de partícules.

**Proposta de sessió (50 min).**

1. **Pregunta inicial (5 min).** Tapar amb el dit la punta d'una xeringa (real, si se'n té) i empènyer l'èmbol: «per què costa cada vegada més?», «què passaria si l'empenyéssim fins a la meitat?». Recollir prediccions.
2. **Nivell guiat, per parelles (20 min).** Cada parella amb el muntatge que li surti. En acabar les mesures, la gràfica P–V surt corba; amb P davant 1/V, recta. La predicció amb 45 mL és el moment de comprovar que la llei serveix per a alguna cosa.
3. **Nivell lliure amb el guió (15 min).** Repartir muntatges diferents amb el paràmetre `montaje=N`. Les parelles tanquen a 40 mL, mesuren als volums que triïn i calculen P · V.
4. **Posada en comú (10 min).** Cada parella diu el seu P · V. No surt el mateix nombre a tota la classe, perquè cada muntatge és un dia amb una altra pressió atmosfèrica, però dins de cada parella es repeteix. Tancar amb la pregunta de partícules: la meitat de volum, el doble de xocs contra les parets, el doble de pressió.

### Química de 1r de Batxillerat: pressió absoluta i relativa, i error de la mesura

*16–17 anys · 11th grade als EUA · Year 12 al Regne Unit*

**Sabers.** Reaccions químiques: «Càlcul de quantitats de matèria en sistemes fisicoquímics concrets, com ara gasos ideals o dissolucions, i investigació i interpretació de les seves propietats i de les variables mesurables pròpies del seu estat...».

**Criteris d'avaluació.** 2.3 (integrar les lleis i les teories científiques en el contrast d'hipòtesis, aplicant relacions qualitatives i quantitatives entre les variables) i 2.4 (posar en pràctica l'experimentació al laboratori o altres entorns, incloent-hi el coneixement dels aparells de mesura i de recollida i tractament de dades).

**Objectius.** Distingir pressió absoluta i relativa i passar d'una a l'altra amb un baròmetre. Triar l'instrument segons la precisió que cal. Obtenir la constant de la llei a partir del pendent de la recta P–1/V. Relacionar la llei de Boyle amb l'equació dels gasos ideals.

**Proposta de sessió (50 min).**

1. **Repàs amb el nivell guiat (10 min).** Només fins al pas 5, per recordar-ne el maneig.
2. **Manòmetre relatiu (15 min).** Al nivell lliure, amb `manometro=relativo`. Mesurar amb la clau oberta: marca 0, encara que l'aire de la xeringa sí que té pressió. Repetir les mesures sumant-hi la pressió del baròmetre. Pregunta per discutir: per què les rodes de la bici fan servir un manòmetre relatiu?
3. **Dues xeringues (15 min).** Repetir amb la xeringa de 20 mL (`jeringa=20`). Comparar quant pesa una divisió de cada xeringa en l'error de V i, per tant, en el de P · V.
4. **Anàlisi (10 min).** Fer la gràfica P davant 1/V amb 1/V en $L^{-1}$ (1000 / V amb V en mL), traçar la recta i calcular-ne el pendent: és P · V. Comparar-lo amb la mitjana dels productes. Amb P · V i la temperatura de la sala, calcular quants mols d'aire hi ha a la xeringa amb P · V = n · R · T.

## Avaluació

Cada muntatge té el seu propi P · V, i al nivell lliure l'alumnat tria els volums, així que es corregeixen el procediment i el càlcul amb les dades de cada alumne i el valor de la constant amb la clau. Una rúbrica senzilla:

| Criteri | Què es mira |
|---|---|
| Procediment | Tanca la clau abans de mesurar, mou l'èmbol a poc a poc i espera que l'agulla s'aturi. Si ha hagut de començar de nou per un error, que expliqui quin va ser i per què espatlla la mesura |
| Mesura | Lectures amb la seva unitat i amb la precisió de l'instrument: el volum amb la divisió de la xeringa i la pressió amb la del manòmetre |
| Càlcul | P · V ben fet a cada mesura, amb unitats. Amb el manòmetre relatiu, pressió absoluta ben obtinguda amb el baròmetre |
| Gràfiques | Eixos amb magnitud i unitat, escales adequades, corba a P–V i recta a P–1/V |
| Conclusió | Enuncia la llei amb les seves paraules, explica d'on vénen les diferències entre els productes i la relaciona amb el model de partícules |

## Concepcions alternatives que ajuda a corregir

| Idea de l'alumnat | Idea correcta | Com mostrar-ho |
|---|---|---|
| «En comprimir l'aire, les partícules es fan més petites» | Les partícules no canvien de mida: es redueix l'espai buit entre elles | La pregunta de partícules del nivell guiat, que explica cada resposta errònia |
| «La pressió puja perquè les partícules, més juntes, es repel·leixen» | En un gas les partícules gairebé no interaccionen; la pressió es deu als seus xocs contra les parets | Les mateixes partícules en la meitat d'espai donen el doble de xocs per segon a cada tros de paret |
| «Si el volum baixa a la meitat, la pressió baixa a la meitat», «més volum, més pressió» | Pressió i volum són inversament proporcionals: amb la meitat de volum, el doble de pressió | Predir abans d'empènyer de 40 a 20 mL i comprovar-ho al manòmetre |
| «Una corba que baixa és una recta que baixa» | P–V és una hipèrbola; P–1/V és una recta que passa per l'origen | Les dues pestanyes de la gràfica del nivell guiat, amb els punts de cada alumne |
| «L'aire de la xeringa oberta no té pressió» | Té la pressió atmosfèrica, uns 94 kPa en aquests muntatges | El manòmetre absolut marca uns 94 kPa amb la clau oberta; el relatiu, 0 |
| «L'aire no pesa ni empeny» | L'aire de la sala empeny amb la pressió atmosfèrica | El baròmetre de paret i la lectura amb la clau oberta |
| «Tant fa moure l'èmbol de pressa o a poc a poc» | En comprimir de pressa l'aire s'escalfa; la llei val a temperatura constant | L'agulla es passa i triga uns segons a tornar |

## Simplificacions que convé conèixer

1. **Sense volum mort.** L'aire del tub i del manòmetre no compta: tot l'aire tancat és a la xeringa. En una xeringa real, l'aire del tub fa que P · V surti una mica diferent de l'esperat.
2. **Sense fuites ni fregament.** La goma de l'èmbol tanca perfectament i l'èmbol es queda on es deixa, encara que la pressió de dins sigui molt diferent de la de fora.
3. **Gas ideal.** L'aire compleix la llei exactament en tot l'interval de pressions de la pràctica, com passa en la realitat amb molt bona aproximació.
4. **Escalfament suavitzat.** En moure l'èmbol de pressa l'aire s'escalfa o es refreda només una fracció del que ho faria sense intercanvi de calor, i torna a la temperatura de la sala en uns 4 segons.
5. **Escales perfectes.** El manòmetre no té error de zero ni histèresi, i l'agulla no té joc.

6. **Ajust al mil·lilitre al nivell guiat.** En deixar anar l'èmbol, encaixa al mil·lilitre més proper perquè el volum es pugui llegir sense dubtes. Al nivell lliure es queda on es deixa anar.

---

Juan Ramón Grijota · SimulaCiencia. Guia publicada amb llicència CC BY-SA 4.0: la pots adaptar i compartir citant-ne l'autoria i amb la mateixa llicència. Versió actualitzada i simulació a simulaciencia.es/ca/guies/practica-boyle/.