Guia docent: pràctica de laboratori «Llei de Gay-Lussac»

Fitxa ràpida

Pràctica de laboratori simulada en què l'alumnat tanca aire en un matràs amb una clau de tres vies, el refreda en aigua amb gel i l'escalfa amb una placa calefactora fins a uns 80 °C. Llegeix la temperatura en un termòmetre i la pressió en un manòmetre digital, comprova que, a volum constant, P / T no canvia si la temperatura és en kelvin i, en allargar la recta de P davant t fins a P = 0, arriba al zero absolut. No és una explicació projectada, sinó una pràctica que fa cada alumne o cada parella: la temperatura mai no apareix escrita i cal llegir-la al termòmetre, 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-gay-lussac
Guió de l'alumnat	simulaciencia.es/ca/guions/practica-gay-lussac, 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, paper mil·limetrat i un regle
Coneixements previs	Pressió i les seves unitats (kPa), temperatura en °C, model de partícules d'un gas. L'escala Kelvin es pot introduir amb la mateixa pràctica
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 els instruments» diu entre quines ratlles és el líquid del termòmetre, què marca el manòmetre i com són la placa i l'elevador

Com funciona la pràctica

A la taula hi ha un manòmetre digital, una clau de tres vies, un matràs de 250 mL tancat amb un tap i subjecte a un suport, un termòmetre i un got de 600 mL amb aigua i gel sobre una placa calefactora amb agitador. La placa és damunt d'un elevador. La lupa s'arrossega amb el ratolí o amb el dit; la palanca de la clau, les fletxes de l'elevador i els botons de la placa es premen. Al mòbil, uns botons sota la taula fan el mateix que els comandaments.

- **La clau** apunta a la sortida que tanca. **Cap amunt**, el matràs és obert a l'aire de la sala; **cap avall**, l'aire del matràs queda tancat i, des d'aquell moment, sempre és el mateix aire, en el mateix volum.
- **L'elevador** té tres altures: a baix (l'aigua no toca el matràs), a mitja altura (només en cobreix el fons) i a dalt (cobreix tot el matràs).
- **La placa** té tres botons: encesa, amb un pilot vermell; potència (baixa, mitjana o alta), i agitador. En apagar-la continua calenta i l'aigua encara puja 2 o 3 °C. S'apaga sola a 90 °C, perquè l'aigua no bulli.

- **El temps va deu vegades més de pressa,** i un rellotge diu quant de temps de laboratori hauria passat. El recorregut guiat complet són uns 30 minuts de laboratori.

Dos nivells

Nivell	Què fa l'alumnat	Què comprova la simulació
Guiada (pas a pas)	Segueix nou passos numerats i apunta sis mesures en un quadern de laboratori a la pantalla: la sala, l'aigua amb gel i prop de 20, 40, 60 i 80 °C. Calcula P / t en °C i veu que no es repeteix; passa a kelvin i calcula P / T. Col·loca un regle sobre els seus punts per arribar a P = 0, mira la gràfica en kelvin i respon una pregunta de partícules	Cada lectura i cada càlcul en apuntar-lo, el tall del regle amb P = 0 i la resposta. L'agitador s'encén sol amb la placa i la potència és mitjana
Lliure (amb guió)	Segueix el guió de l'alumnat, fa servir els cinc comandaments (clau, elevador, encesa, potència i agitador), decideix a quines temperatures mesura i fa els càlculs i la gràfica 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: amb la clau oberta, llegir la temperatura i la pressió de la sala; tancar la clau; pujar l'aigua amb gel fins a cobrir el matràs i llegir; escalfar, apagar prop de 20, 40, 60 i 80 °C i llegir; provar P / t amb la temperatura en °C; passar a kelvin i calcular P / T; allargar la recta de P davant t fins a P = 0; mirar la gràfica P davant T en kelvin, i explicar-ho amb partícules.

El que cal saber de la mesura

- **La temperatura mai no apareix escrita.** El termòmetre va de −10 a 110 °C amb divisions d'1 °C. Es llegeix amb la lupa, la línia groga de la qual marca l'altura dels ulls i es posa al final de la columna vermella.
- **El manòmetre és digital,** de 0,1 kPa, i marca la pressió absoluta. Amb un d'agulla, el zero absolut sortiria desviat diverses desenes de graus.
- **Cal esperar que tot s'aturi.** L'aire del matràs triga uns segons a arribar a la temperatura de l'aigua, i el termòmetre també. Per això s'apaga la placa uns graus abans de la temperatura buscada i es llegeix quan ni el termòmetre ni el manòmetre canvien.
- **Mentre queda gel, l'aigua no passa de 0 °C.** Els glaçons minven i un avís explica que la calor es gasta a fondre'ls.
- **Cada número de muntatge és sempre el mateix dia de laboratori:** la pressió atmosfèrica (l'habitual a Madrid, de 93 a 96 kPa), la temperatura de la sala i la quantitat de gel. 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 bona la temperatura a menys de mig grau del que marca el termòmetre, i la pressió que mostra la pantalla. Les files calentes s'accepten en un marge (la de 20 °C, entre 15 i 30 °C), i si l'aigua es passa d'una fila, aquella fila se salta. T val amb t + 273 o amb t + 273,15. P / T es dona per constant amb menys d'un 2 % de diferència, i el tall del regle amb P = 0, a menys de 15 °C del de la recta de les dades de l'alumne.

Errors amb conseqüències

La llei es compleix exactament a la simulació: el que allunya el resultat són els errors de procediment, cadascun per una raó física que es pot explicar a classe.

Error	Què passa a la simulació
Obrir la clau després de tancar-la, amb l'aire més calent o més fred que en tancar	Surt o entra aire i ja no és el mateix gas. Al nivell guiat apareix un avís vermell i cal començar de nou amb el mateix muntatge. Al lliure, la pressió torna a la de la sala sense avisar
Llegir amb la placa encesa o sense esperar	L'aire va per darrere de l'aigua i el termòmetre també: temperatura i pressió no corresponen al mateix instant, i P / T no es repeteix
Deixar l'elevador a mitja altura	L'aigua només cobreix el fons del matràs i l'aire no arriba a la temperatura de l'aigua. La pressió surt baixa
Llegir el termòmetre sense posar els ulls a l'altura del líquid	Es llegeix un grau de més o de menys. Al nivell guiat, la pista ho explica
Escalfar sense remenar (nivell lliure)	L'aigua de baix s'escalfa abans que la de dalt, on és el termòmetre, i la temperatura llegida no és la de l'aigua que envolta el matràs
Apagar la placa just a la temperatura buscada	La placa guarda calor i l'aigua continua pujant 2 o 3 °C

Repartir la pràctica ja preparada

L'adreça de la pràctica admet dos 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-gay-lussac/?nivel=libre
`montaje=N`	Comença amb el muntatge N (d'1 a 12)	.../practica-gay-lussac/?nivel=libre&montaje=7

Clau dels muntatges

Per corregir. Si es tanca la clau a la temperatura de la sala, a totes les mesures es compleix **$P / T = P_{atm} / (t_{sala} + 273{,}15)$**, amb T en kelvin. La taula dona aquesta constant i la pressió que marca el manòmetre a algunes temperatures.

Muntatge	P_{atm} (kPa)	Sala (°C)	P / T (kPa/K)	P a 0 °C (kPa)	P a 40 °C (kPa)	P a 80 °C (kPa)
1	94,6	21	0,322	87,8	100,7	113,6
2	93,4	22	0,316	86,4	99,1	111,8
3	95,2	20	0,325	88,7	101,7	114,7
4	94,1	23	0,318	86,8	99,5	112,2
5	94,2	21	0,320	87,5	100,3	113,1
6	93,0	24	0,313	85,5	98,0	110,5
7	94,9	22	0,322	87,8	100,7	113,5
8	93,7	20	0,320	87,3	100,1	112,9
9	95,5	22	0,324	88,4	101,3	114,3
10	94,3	19	0,323	88,2	101,1	114,0

Muntatge	P_{atm} (kPa)	Sala (°C)	P / T (kPa/K)	P a 0 °C (kPa)	P a 40 °C (kPa)	P a 80 °C (kPa)
11	96,0	23	0,324	88,5	101,5	114,5
12	93,9	21	0,319	87,2	100,0	112,7

Amb lectures ben fetes, P / T es repeteix amb menys d'un 1 % de diferència i la recta de P davant t talla l'eix de P = 0 prop de −273 °C. Un resultat entre −250 i −300 °C és raonable traçant la recta a mà; si surt molt lluny, el més habitual és que s'hagi llegit sense esperar o amb el matràs sense cobrir. Si un alumne tanca la clau a una altra temperatura, la seva constant és P_{atm} dividida per la temperatura de l'aire en tancar, en kelvin.

Ús a cada curs

A 4t d'ESO la pràctica serveix per descobrir la llei de Gay-Lussac i la necessitat de l'escala Kelvin a partir de mesures pròpies; a Química de 1r de Batxillerat, per treballar l'extrapolació, l'error i l'equació dels gasos ideals.

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 Gay-Lussac i el zero absolut

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 Gay-Lussac ni l'escala Kelvin; entren 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 termòmetre amb els ulls a l'altura del líquid. Comprovar que, a volum constant, la pressió d'un gas puja en pujar la temperatura. Veure que P / t no es repeteix amb la temperatura en °C i P / T en kelvin sí. Arribar al zero absolut allargant una recta. Explicar la llei amb el model de partícules.

Proposta de sessió (50 min).

1. **Pregunta inicial (5 min).** «Per què no s'ha de deixar un esprai al sol?» i «què passa amb una pilota de futbol que es deixa fora una nit de glaçada?». Recollir idees prèvies.

2. **Nivell guiat, per parelles (20 min).** Cada parella amb el muntatge que li surti. El pas 5 (P / t en °C) sol sorprendre: si la pressió puja amb la temperatura, per què no surt el mateix? El pas 7, amb el regle, dona una temperatura per sota de la qual no es pot baixar.
3. **Nivell lliure amb el guió (15 min).** Repartir muntatges diferents amb el paràmetre `montaje=N`. Cada parella tria les seves temperatures i fa la gràfica P–t en paper mil·limetrat, amb l'eix de temperatures des de −300 °C.
4. **Posada en comú (10 min).** Cada parella diu on talla la seva recta. Amb muntatges diferents les pressions no coincideixen, però tots els talls cauen prop de −273 °C. D'aquí surt l'escala Kelvin: començar a comptar des d'aquell punt.

Si s'ha fet abans la pràctica de Boyle-Mariotte, es pot tancar la sessió comparant les dues lleis: en una es manté la temperatura i en l'altra, el volum.

Química de 1r de Batxillerat: extrapolació, error i gasos ideals

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. Planificar les mesures i controlar les variables que espatllen la mesura (agitació, temps d'espera, immersió del matràs). Calcular el zero absolut a partir de la recta de les dades. Estimar com influeix l'error de la lectura en una extrapolació llarga. Relacionar aquesta pràctica amb la de Boyle-Mariotte per construir la llei general i l'equació dels gasos ideals.

Proposta de sessió (50 min).

1. **Planificació (10 min).** Abans de mesurar, respondre les preguntes del guió: per què es tanca la clau a temperatura ambient, per què cal cobrir el matràs i remenar, i quan cal apagar la placa.
2. **Nivell lliure amb errors provocats (20 min).** La meitat de les parelles mesura bé; l'altra meitat, sense agitador o amb l'elevador a mitja altura. Cada grup calcula el seu zero absolut.
3. **Anàlisi (20 min).** Comparar els talls. Calcular el pendent de P davant t i el tall amb P = 0 com −P(0 °C) / pendent. Discutir per què un error d'un grau a les lectures mou el tall desenes de graus: la recta s'allarga unes tres vegades l'interval mesurat. Amb la constant P / T i el volum del matràs (250 mL), calcular quants mols d'aire hi ha tancats amb P · V = n · R · T.

Avaluació

Cada muntatge té la seva pròpia constant, i al nivell lliure l'alumnat tria les temperatures, així que es corregeixen el procediment i el càlcul amb les dades de cada alumne i la constant amb la clau. Una rúbrica senzilla:

Criteri	Què es mira
Procediment	Tanca la clau a temperatura ambient i no la torna a obrir, cobreix el matràs, remena, apaga la placa abans de la temperatura buscada i espera que tot s'aturi. Si ha hagut de començar de nou per un error, que expliqui quin va ser
Mesura	Temperatures amb la divisió del termòmetre (1 °C) i pressions amb la del manòmetre (0,1 kPa), amb unitats
Càlcul	Pas a kelvin ben fet i P / T amb tres decimals, amb unitats
Gràfica	Eixos amb magnitud i unitat, eix de temperatures fins a −300 °C, recta ben traçada i tall amb P = 0 llegit
Conclusió	Enuncia la llei, explica per què cal l'escala Kelvin, dona el seu zero absolut i el relaciona amb el model de partícules

Concepcions alternatives que ajuda a corregir

Idea de l'alumnat	Idea correcta	Com mostrar-ho
«En escalfar l'aire, les seves partícules es dilaten»	Les partícules no canvien de mida: es mouen més de pressa	La pregunta de partícules del nivell guiat, que explica cada resposta errònia
«En escalfar apareixen més partícules»	El matràs és tancat: hi ha les mateixes partícules	La clau tancada durant tota la pràctica; en obrir-la, surt aire
«La calor és una substància que entra i empeny»	La calor és energia que passa de l'aigua a l'aire i fa que les seves partícules es moguin més de pressa	En apagar la placa, la pressió deixa de pujar quan l'aire arriba a la temperatura de l'aigua
«La pressió és proporcional a la temperatura en °C»	És proporcional a la temperatura absoluta, en kelvin	El pas 5: P / t en °C no es repeteix. A 0 °C, P / t no té sentit i la pressió no és zero
«Temperatura i calor són el mateix»	La temperatura mesura com de pressa es mouen les partícules; la calor és l'energia que passa	Mentre queda gel, la placa dona calor i la temperatura no puja de 0 °C
«Un termòmetre marca a l'instant»	El termòmetre i l'aire triguen a arribar a la temperatura de l'aigua	Llegir just en apagar la placa i llegir al cap d'una estona: no coincideixen
«Per sota de −273 °C es pot continuar refredant»	−273 °C és el zero absolut: la pressió del gas seria zero	El regle del pas 7 i les gràfiques de tota la classe, que tallen al mateix punt

Simplificacions que convé conèixer

1. **Volum constant perfecte.** No es té en compte la dilatació del vidre del matràs.
2. **Sense volum mort.** L'aire del tub i del manòmetre, que no s'escalfa, no compta. Al laboratori, aquest aire fa que el zero absolut surti una mica desplaçat.
3. **Gas ideal.** L'aire compleix la llei exactament. A l'interval de la pràctica, l'aire real ho fa amb molt bona aproximació.
4. **Aire sec.** No hi ha vapor d'aigua dins del matràs.
5. **Temps accelerat.** El temps va deu vegades més de pressa i la placa escalfa més ràpid que una de real, perquè la pràctica càpiga en una sessió.
6. **Gel i pèrdues simplificats.** El gel es fon a ritme constant, el bany perd calor cap a la sala molt a poc a poc i la placa mai no deixa bullir l'aigua.
7. **Termòmetre d'alcohol perfecte.** L'escala no té error de calibratge i el líquid no se separa a la columna.

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-gay-lussac/.