



Llei dels gasos i submarinisme: Proposta didàctica per a l'estudi de la Llei de Boyle-Mariotte a partir de la investigació i l'aplicació al submarinisme.

Núria Sempere Serrano
IES Lluís Simarro Lacabra (Xàtiva)
nsempere.prof@gmail.com

Resum • Les lleis dels gasos ideals són un contingut bàsic de l'assignatura de Física i Química en l'ESO i que, pel seu caràcter experimental, poden ser un bon punt de partida per desenvolupar una pràctica investigadora dins del marc del model cinètic-molecular. D'altra banda, les activitats d'indagació així com de les d'aplicació a diferents contextos han estat àmpliament estudiades en l'àmbit de la didàctica de les ciències amb la finalitat de millorar l'interès i l'aprenentatge de la Física i Química per parts dels alumnes. El seu desenvolupament pot ser complex i per això, en aquest article, es pretén exemplificar aquesta metodologia amb una seqüència didàctica basada en dos grans eixos: 1) Una pràctica investigadora sobre la relació entre la pressió i el volum dels gasos que s'estructura en 6 etapes, on l'última d'elles serà l'elaboració d'un pòster científic; i 2) Una activitat d'aplicació de les conclusions obtingudes a fenòmens que tenen lloc fora de l'àmbit escolar com és, en aquest cas, el submarinisme. Per dur a terme aquesta tasca es farà un breu resum de les aportacions que la didàctica de les ciències fa al respecte, es detallarà les accions a desenvolupar en cada etapa de la seqüència didàctica i es facilitaran diferents recursos per a la seua aplicació.

Paraules clau • Pràctica investigadora, indagació, submarinisme, lleis dels gasos, Boyle-Mariotte

Gas laws and scuba diving: Didactic proposal for the study of Boyle-Mariotte's law based on research and applied to scuba diving

Abstract • Ideal gases' laws are essential content within the subjects of Physics and Chemistry in Compulsory Secondary Education. Particularly, since its experimental nature makes them a good starting point to develop a research activity in the framework of the kinetic molecular model. In addition, research and application activities have been extensively studied in the field of science education, to improve the students' learning of Physics and Chemistry. However, its development can be complicated; for this reason, this article intends to exemplify this methodology with a teaching sequence formed by 2 blocks: 1) A research activity about the relationship between pressure and volume in gases structured in six stages, the last one being the creation of a scientific poster; and 2) An activity to apply the conclusions obtained from phenomenon that take place outside the school such as scuba diving. To do so, a brief summary of science education contributions to research will be explained, actions to be developed at each stage will be detailed and resources for its applications will be provided.

Keywords • Research activity, inquiry, scuba diving, gases laws, Boyle-Mariotte

INTRODUCCIÓ

Segons el RD 1105/2014, de 26 de desembre, mitjançant el qual s'estableix el currículum de l'ESO i Batxillerat, les lleis dels gasos es presenten com a contingut de 2n i 3r d'ESO i 1r de Batxillerat. És per tant interessant fer les reflexions adients per tal d'elaborar una proposta didàctica on es desenvolupa l'esmentada part del temari. L'objectiu d'aquest article és per tant plantejar una seqüència didàctica on es tracten els continguts relacionats amb les lleis dels gasos, concretament amb la llei de Boyle-Mariotte, sobre els que el currículum defineix el següent criteri d'avaluació per al segon i tercer curs de l'ESO: "Establir les relacions entre les variables de les quals depèn l'estat d'un gas a partir de representacions gràfiques i/o taules de resultats obtinguts en experiències de laboratori o simulacions per ordinador". Per fer-ho em basaré en diferents aportacions de la didàctica de les ciències relacionades amb les activitats pràctiques d'investigació i les activitats d'aplicació a altres contextos.

D'una banda tenim les pràctiques de laboratori, que sempre han estat presents en l'ensenyament de les ciències però que el seu impacte depèn del tipus de pràctiques que s'hi desenvolupen (Domènech i Ruiz, 2016). S'han proposat diferents classificacions per als treballs pràctics experimentals en funció dels seus objectius però aquells basats en el desenvolupament d'investigacions guiades són els que ens resulten més útils per a construir coneixement i comprendre els procediments de la ciència (Caamaño, 2004). Els treballs pràctics d'indagació han d'estar dissenyats per donar als alumnes l'oportunitat de treballar d'una forma semblant a com ho fan els científics en la resolució de problemes, permetent-los així també familiaritzar-se amb el treball científic i adquirir una comprensió procedimental de la ciència. Tenint sempre en compte una concepció integrada (holística) d'aquest procés, ja que a més d'incloure l'aprenentatge dels procediments en activitats globals de resolució de problemes també resulta més motivadora (Caamaño, 2012). A més a més, segons les seves característiques, les indagacions es poden classificar en 2 tipus: 1) Investigacions per resoldre problemes pràctics, no tan dirigides a

l'obtenció de coneixement teòric; i 2) Les investigacions per resoldre problemes teòrics que plantegen problemes dins del marc d'una teoria. En l'article de Caamaño, (2012) es plantegen dos exemples d'aquest tipus d'investigacions que, al costat de la proposta de Domènec i Ruiz (2016), ens poden ajudar a replantejar les nostres activitats pràctiques de laboratori per convertir-les en treballs d'investigació guiats.

D'altra banda, des de fa diverses dècades s'ha estudiat la importància de les activitats CTSA com a recurs per connectar la ciència que s'ensenyava en les aules amb la vida real i intentar així superar el desinterès dels alumnes cap a la física i la química. L'ensenyament tradicional contribueix a mostrar una imatge de la ciència i els científics allunyada dels problemes reals i presenta les teories i les lleis sense connexió amb els problemes que tracta de resoldre o amb els que es relaciona (Solbes i Vilches, 2000). Per tractar d'evitar aquest fet es plantegen les activitats CTSA que, en general, són aquelles que contemplen les interaccions dels continguts establerts al currículum amb la vida fora de les aules: aplicacions, influència en el desenvolupament tecnològic, implicacions en la societat, medi ambient i que, per tant, col·laboren molt enèrgicament en la formació de futurs ciutadans alfabetitzats científicament que seran capaços d'entendre i interactuar amb el seu entorn.

Tenint en compte aquest context curricular i didàctic a continuació es farà una proposta didàctica per treballar la llei de Boyle-Mariotte en 3r d'ESO mitjançant un treball pràctic d'indagació i la posterior aplicació dels continguts a situacions d'interès fora de l'aula.

PROPOSTA DIDÀCTICA.

La seqüència didàctica que propose consisteix en el desenvolupament d'una investigació guiada sobre la relació entre la pressió i el volum d'un gas dins del marc de la teoria cinètico-molecular i la seua aplicació al submarinisme amb una activitat CTSA.

L'esquema de la proposta és el següent: 1) Contextualització i plantejament del problema, 2) Preguntes investigables i hipòtesi, 3) Disseny experimental, 4) Experimentació i recollida de dades,

5) Anàlisi dels resultats i conclusions, 6) Comunicació dels resultats i 7) Aplicació al nostre entorn: lleis dels gasos i submarinisme.

Per desenvolupar aquesta seqüència didàctica caldrà tenir en compte tant els coneixements prèvies dels alumnes com les dificultats d'aprenentatge que podem trobar. D'una banda els continguts prèvies necessaris i sobre els quals es fonamentarà aquesta proposta són els següents: els estats de la matèria i la seua explicació segons la teoria cinètico-molecular, pressió, volum, temperatura i, a més a més, destresses metodològiques per a l'aprenentatge basat en la investigació i la autonomia. D'altra banda, les principals dificultats que podem trobar són les següents: ús de models per descriure una realitat no visible i manca d'habilitats per dur a terme tasques on la iniciativa i emprenedoria de l'alumnat és fonamental.

La proposta es planteja per fer-la al llarg de 6 sessions que, en termes generals, s'organitzen de la següent manera: 1 sessió d'introducció i contextualització, 1 sessió per a la planificació inicial i disseny experimental, 1 sessió per a l'experimentació i recollida de dades, 1 sessió per a l'anàlisi de resultats i conclusió, 1 sessió per a l'elaboració de pòster científic i 1 sessió per a comentaris finals de la pràctica investigadora i aplicació al submarinisme. La tasca de recerca té lloc en grups de 4 persones, l'elaboració del pòster científic en parelles i l'activitat d'aplicació al submarinisme de forma individual.

1. Contextualització

Abans de començar la part experimental cal plantejar als alumnes un context i/o situació problemàtica que justifique i done sentit als continguts tractats. D'aquesta manera l'activitat té un fil argumental, que a més a més de captar la seua atenció, dona també una imatge més real de la ciència, on els avenços no es produeixen a partir d'idees felices vingudes del no-res.

En aquest cas la situació problemàtica que jo els plantege és la de les típiques bosses de «papes» o ampolles de plàstic que s'inflen en els avions o en els cotxes o motxilles quan fem excursions de muntanya. O per què podem trencar una bossa de plàstic quan l'estrenyem fortament. Per fer aquesta introducció i plantejament inicial del problema es

poden utilitzar vídeos o imatges de les bosses de «papes» esmentades (Figura 1) o fins i tot una demostració de com obrir/trencar una d'aquestes bosses al pressionar-la fortament.



Figura 1: Exemple d'imatge per a la contextualització de la pràctica d'investigació.

2. Preguntes investigables i hipòtesi

Aquests fenòmens ens permeten crear un context que inciti als alumnes a plantejar-se preguntes. Ara serà el moment de guiar-los en el disseny de preguntes investigables que vertebrin la seua experimentació. En aquesta tasca cal tenir en compte que no totes les preguntes científiques que sorgeixen de l'observació d'un fenomen són investigables ja que algunes d'elles (les que comencen per «Perquè» o «Com») no ho són perquè fan referència als models abstractes que expliquen el fenomen i per tant no són observables (Domènech i Ruiz, 2016). És per això que haurem de guiar als alumnes per transformar les preguntes no investigables que puguin sorgir (Per què es trenca la bossa? Per què s'infla la bossa?...) en preguntes investigables que facen referència a les variables que intervenen en el fenomen i a la relació que hi ha entre elles: Quines magnituds varien en ascendir una muntanya o pujar a un avió? Quines magnituds varien quan estrenyem fort una bossa de plàstic tancada? Quina relació hi ha entre el volum i la pressió d'un gas? Què passa amb la pressió si augmentem/disminuïm el volum d'un gas? Una pregunta ben plantejada ens donarà la clau per aconseguir un procés d'investigació exitós i, en conseqüència, un procés d'aprenentatge exitós. A més a més, una bona pregunta investigable no només guiarà el procés d'indagació sinó que per

formular-la també cal aplicar coneixements sobre com es genera ciència, sobre què és una variable i la diferència entre les que varien i les que controlem en un experiment i sobre com dissenyar processos per recollir dades.

Després, com a part també d'aquest procés de planificació inicial, és interessant que els alumnes proposen hipòtesis per donar respostes, encara no verificades, a les preguntes plantejades.

Cal destacar que aquestes primeres parts de la investigació acostume a fer-les a nivell de tot el grup classe per accelerar el procés (no ho negaré) però també per facilitar un debat més obert i dinàmic on es tinga en compte les diferents aportacions dels alumnes per acordar les preguntes a respondre durant el procés d'indagació. A partir d'aquest moment, incloent també l'elaboració d'hipòtesis, el treball ja es du a terme en els xicotets grups d'investigació.

3. Disseny experimental

El disseny experimental, des del meu punt de vista, és una de les parts més complicades i on més dificultats acostume a trobar-me, per tant caldrà una especial atenció i suport als alumnes per a que no caiguen fàcilment en la desmotivació. Per dur-lo a terme jo utilitze principalment 3 recursos:

- Treballar grup per grup comentant les seues propostes de forma oral.
- Fer xicotetes píndoles d'explicacions globals a tot el grup-classe per anar donant-los bastides de suport sobre les variables a estudiar, el material disponible i les seues característiques... Aquestes explicacions poden ser fetes per part de la professora o per part d'algun dels grups que vaja més avançant en el disseny de l'experimentació.
- Facilitar-los un seguit de preguntes per a que seguint-les i discutint-les en grup els guie en el disseny. Alguns exemples d'aquestes preguntes podrien ser: "Quines dues variables voleu estudiar?", "Quina de les dues podeu variar i controlar més fàcilment en un experiment?", "Com s'anomena aquest tipus de variable?", "Amb quin material dels que teniu disponibles al laboratori podeu fer les mesures?"...

En l'experiment dut a terme caldrà que els alumnes estudien com afecta la variació del volum

d'un gas a la pressió d'aquest. Segons les característiques de l'alumnat, el ritme de treball i els recursos disponibles, l'experimentació d'aquesta investigació es pot plantejar de 3 formes (explicades en el següent apartat), i en funció de l'opció escollida s'haurà d'orientar als alumnes per a que treballen amb els materials necessaris i disponibles.

4. Experimentació i recollida de dades

Les tres opcions que jo plantege per dur a terme l'experimentació on es comprova la relació entre el volum i la pressió d'un gas són les següents:

- Qualitativament: Amb una xeringa gran amb el seu orifici tapat amb cinta aïllant es podrà variar el volum del gas de l'interior amb l'èmbol. Per observar de forma qualitativa quin efecte té això sobre la pressió es col·loca una esponja a l'interior de la xeringa i s'observa com aquesta varia la seua forma, com a conseqüència de la pressió que actua sobre ella, en variar el volum del gas de la xeringa.



Figura 2: Imatge de l'experimentació qualitativa.

- Quantitativament: Numèricament es pot dur a terme aquesta experimentació seguint la proposta de García i M^a S. Ruíz (2010) on, després de calcular la força de fricció entre l'èmbol i les parets de la xeringa, es calcula la superfície de l'èmbol de la xeringa i aleshores s'apliquen sobre ell diferents pressions per a, finalment, mesurar com varia el volum del gas segons l'escala volumètrica de la xeringa.

- Quantitativament amb simulador: El simulador de phet "Propiedades de los gases (Ideal)" (Figura 4) [1] o el simulador d'educaplus "Ley de Boyle" (Figura 3) [2], permeten estudiar la relació entre totes les variables d'un gas de forma numèrica. Concretament en aquest cas ens permet, mantenint la temperatura, variar el volum del gas i observar aleshores la variació de la pressió. Aquesta opció es pot utilitzar conjuntament a l'experimentació qualitativa per completar la part experimental de l'activitat.

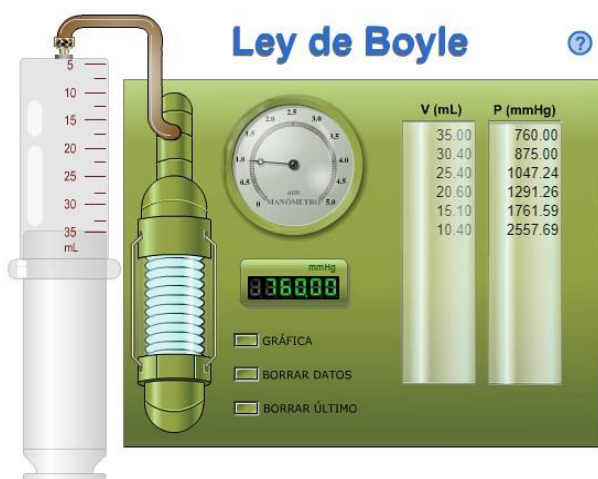


Figura 3: Captura de pantalla del simulador d'educaplus

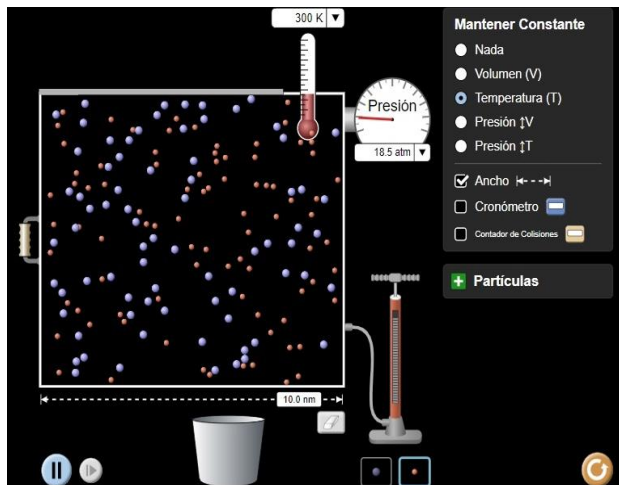


Figura 4: Captura de pantalla del simulador de phet

Pel que fa a la recollida de dades, en l'experimentació qualitativa es basarà en fotografies de la xeringa (Figura 2), que a més a més després serviran per il·lustrar el pòster. La recollida de dades quantitativa es fa utilitzant una taula com la que es pot veure a continuació (Figura 5).

L'elaboració de taules (Figura 5) i gràfiques (Figura 6) per recollir les dades experimentals és altre dels punts conflictius que em trobe durant el

desenvolupament de les investigacions guiades i per tractar-lo el que faig és comentar i acordar amb tot el grup-classe, i de forma oral, quines dades rellevants i quina forma tindrà la taula, i quina de les variables ha sigut la independent i quina la dependent.

Volum (ml)	Pressió (mmHg)	Pressió (atm)
35	760	1
30'40	875	1'15
25'40	1047'24	1'38
20'60	1291'26	1'70
15'10	1761'59	2'32
10'40	2557'69	3'37

Figura 5: Exemple de taula de recollida de dades

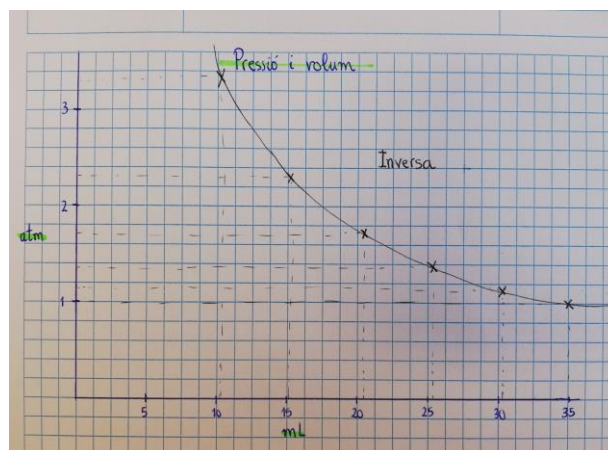


Figura 6: Exemple de gràfica del les dades recollides

5. Anàlisi dels resultats i conclusió

Una vegada recollides les dades és moment de fer una recapitulació, tornar a la pregunta inicial, analitzar els resultats obtinguts i elaborar una conclusió per donar resposta a la problemàtica que ha originat la investigació. En aquest cas, i en funció de l'experimentació duta a terme, els alumnes han de concloure que una disminució del volum té com a conseqüència un augment de la pressió. Quantitativament es pot arribar a l'expressió matemàtica $p \cdot V = \text{constant}$ a partir de les dades de la taula i la gràfica (Figures 5 i 6).

Els resultats obtinguts permeten generalitzar els fenòmens presentats inicialment, confirmar que pressió i volum estan relacionats de manera inversa

i donar així resposta a les preguntes investigables plantejades. Ara bé, cal intentar fer un pas més, i analitzar aquests resultats dins del marc del model cinètic-molecular de la matèria i guiar als alumnes per a que, utilitzant aquest model, donen una explicació als fets experimentals observats. A nivell de 2n i 3r d'ESO el que es busca és que, en termes generals, siguin capaços de concloure que una disminució de l'espai disponible per al gas implicarà un augment del número de xocs (pressió) de les partícules que el formen contra les parets del recipient i/o dels objectes (esponja). D'aquesta manera el problema inicial ens permet construir una llei (relació entre pressió i volum) però podem anar més enllà i explicar perquè es compleix aquesta llei, aprofitant així la investigació per desenvolupar i utilitzar el model cinètic-molecular per explicar el comportament dels gasos.

6. Comunicació dels resultats

Per concloure el procés d'investigació cal recollir-lo i compartir-lo mitjançant alguns dels formats més comuns en l'àmbit científic formal i no tan formal. Els tres tipus de formats que jo acostume a plantejar són els següents: pòster científic, article científic i videotutorial. Per a l'elaboració de cadascun d'ells es proporciona a l'alumnat diferents tipus de materials de suport: plantilla amb exemples i pautes lingüístiques [3], rúbrica d'avaluació i tutorials. En aquest cas el format escollit és el pòster científic, que serà el producte final on els alumnes recullen els diversos productes parcials creats durant la investigació (pregunta, hipòtesi, disseny experimental, recollida de dades...). Els diferents apartats d'aquest producte final, bé siga un pòster, un article o un videotutorial, es corresponen amb les diferents etapes de la investigació, posant així de manifest la importància de cadascuna d'elles en l'elaboració d'un discurs científic i proporcionant-nos també així evidències per a l'avaluació de tot el procés.

7. Aplicació a l'entorn: lleis dels gasos i submarinisme

Una activitat pràctica d'investigació és un recurs didàctic molt potent per facilitar l'aprenentatge significatiu dels alumnes però també hi ha altres, com per exemples les activitats CTSA, que ens permeten aplicar els continguts científics de dins del centre educatiu a situacions i fenòmens de fora del centre i que per tant donen sentit a allò que els

alumnes estan treballant a les aules. En aquesta proposta didàctica el que jo plantege és posar el llac final a treball d'indagació aplicant els resultats obtinguts a altres contextos, concretament a la relació entre pressió i volum en el submarinisme [4]. Per fer-ho cal contextualitzar l'activitat i facilitar a l'alumnat dades de la variació de la pressió amb la profunditat d'immersió i de la capacitat pulmonar per a que partir d'elles, i de les conclusions de la pràctica investigadora, estudien la variació del volum de l'aire pulmonar durant una sessió de submarinisme. Les activitats d'indagació permeten desenvolupar moltes destresses científiques així com captar l'interès de l'alumnat i la seua unió amb una activitat d'aplicació a situacions del seu entorn pot resultar, sota el meu punt de vista, una combinació gairebé ideal per a l'aprenentatge dels continguts de la matèria de Física i Química en l'ESO.

CONCLUSIÓ

Com hem vist la proposta didàctica plantejada en aquest article s'estructura en torn a 2 grans eixos: una investigació i una activitat d'aplicació a altres contextos. La pràctica investigadora ocupa la gran part de les sessions de la seqüència didàctica però l'activitat d'aplicació, així com els problemes plantejats inicialment, són els que donen sentit a tota la feina d'indagació ja que permeten aplicar allò après a una situació d'interès fora de l'àmbit acadèmic.

En conjunt, aquesta proposta didàctica ens permet tractar continguts científics, tant conceptuals com metodològics, però també desenvolupar altres destresses de l'alumnat ja que en ella es troben presents diferents elements de gran importància en la formació d'alumnes competents: treball col·laboratiu on cal actuar amb iniciativa i respecte, ús de textos científics on el vocabulari i l'argumentació són fonamentals, ús de noves tecnologies mitjançant els simuladors o les aplicacions per a l'elaboració del pòster científic...

És una proposta ambiciosa però possible. Per dur-la a terme, això sí, el professor ha de guiar en tot moment a l'alumne pels diferents camins que prèviament ha d'haver planificat. Es tracta per tant d'un treball experimental semiobert ja que la investigació es desenvolupa a partir dels diferents contextos que el professor ha dissenyat i les

bastides de suport que facilita als alumnes i que per tant condicionen es actuacions dels grups de treball. Gràcies a la planificació prèvia i als diferents materials i recursos de suport (plantilles, simuladors, preguntes guia...) que es presenten en aquest text es pot aconseguir de manera exitosa transformar un contingut teòric o una pràctica demostrativa en un activitat d'investigació i aplicació a situacions d'interès.

Cal afegir també que aquesta seqüència didàctica es pot completar amb activitats semblants per a les altres conegudes lleis dels gasos: Llei de Charles i Llei de Gay-Lussac. Fins i tot, cadascun dels grups de treball pot tenir assignada una situació problemàtica que motive l'experimentació per trobar la relació entre dues de les tres variables que determinen l'estat d'un gas (pressió, volum i temperatura) per a, finalment, posar en comú els resultats obtinguts per cada grup i tractar així cadascuna de les lleis experimentals dels gasos ideals.

BIBLIOGRAFIA

- Caamaño, A. (2004). Experiencias, experimentos ilustrativos, ejercicios prácticos e investigaciones: ¿Una clasificación útil de los trabajos prácticos? *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 39, 8-19.
- Caamaño, A. (2012). ¿Cómo introducir la indagación en el aula? Los trabajos prácticos investigativos. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 60, 83-91.
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (2015). Currículum de Física y Química, 2n y 3r de ESO. Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por

el que se estable el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. *Boletín Oficial del Estado*, A-2015-37, 258-262.

- Domènech-Casal, J., Ruiz-España, N. (2016). De l'epiteli de ceba a la indagació. Un marc per construir pràctiques investigadores cap a la Competència Científica. *Revista Ciències*, 32, 12-22.
- Sanmartí, N., Márquez, N. (2012). Enseñar a plantear preguntas investigables. *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 70, 27-36.
- Solbes, J., Vilches, A. (2000). La introducción de las interacciones CTS en la enseñanza de las ciencias y su evolución. *Educación Química*, 14(1), 387-394.
- Torres, C., Ruiz, M^ªS. (2010). La ley de Boyle, el análisis de dos experimentos. *Latin-American Journal of Physics Education*, 4, 957-962.

RECURSOS

- [1] Simulador phet "Propiedades de los gases (Ideal)": https://phet.colorado.edu/sims/html/gas-properties/latest/gas-properties_es.html
- [2] Simulador educaplus "Ley de Boyle": http://www.educaplus.org/gases/lab_boyle.html
- [3] Plantilla pòster científic: https://drive.google.com/file/d/1C2jnihJ2nc2_nbsmM1LNbTg1Ei-PoLhsL/view?usp=sharing
- [4] Activitat "Lleis dels gasos i submarinisme": https://drive.google.com/file/d/1bnpgdztfi-amv8vZ2xjb_VgVRbfddq97b/view?usp=sharing