

REDESCOBRINT LA METODOLOGIA DE LA PRESSIÓ HIDROSTÀTICA

Des de fa temps, a l'ensenyament de les Ciències Experimentals es valora molt que els alumnes realitzin experiments tot seguint una metodologia científica fonamentada en la observació dels fenòmens, perquè diguin tot el que pensen sobre l'experiment analitzat i perquè formulin hipòtesis explicatives al respecte. En bona lògica sembla que aquest plantejament és el desitjable, però, de vegades, tan sols es fa damunt el paper, de cara a la galeria, i no perquè s'apregui allò que es transmet.

Un cas d'experimentació falsejada

Els autors d'aquest article visitaven l'aula-laboratori de 7è d'un centre escolar d'EGB, durant una sessió experimental dedicada a l'estudi d'algunes de les propietats dels líquids. Un dels grups d'alumnes, seguint un guió d'experiències, intentava quantificar el valor de la pressió hidrostàtica en un punt en funció de la columna de líquid que aquest punt tenia damunt seu. L'aparell usat era una ampolla de plàstic, de les d'aigua mineral, a la qual havien fet tres forats. Analitzant l'abast de cada raig havien d'observar que el forat que "tirava" més lluny era el que suportava més columna de líquid i, en conseqüència, el de més pressió (figura 0).

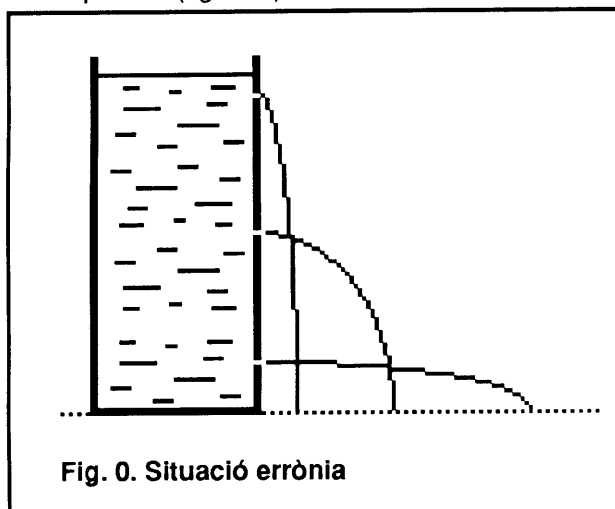


Fig. 0. Situació errònia

Intrigats, esperàrem que el grup arribés a alguna conclusió. De sobte, un dels nens-experimentadors s'acostà al mestre i li digué que "allò no funcionava bé", perquè "el doll que arribava més lluny no era el del forat més baix sinó el del forat central" (figura 1). El professor

li contestà que "haurien fet malament alguna cosa" i li manà que "ho repetissin".

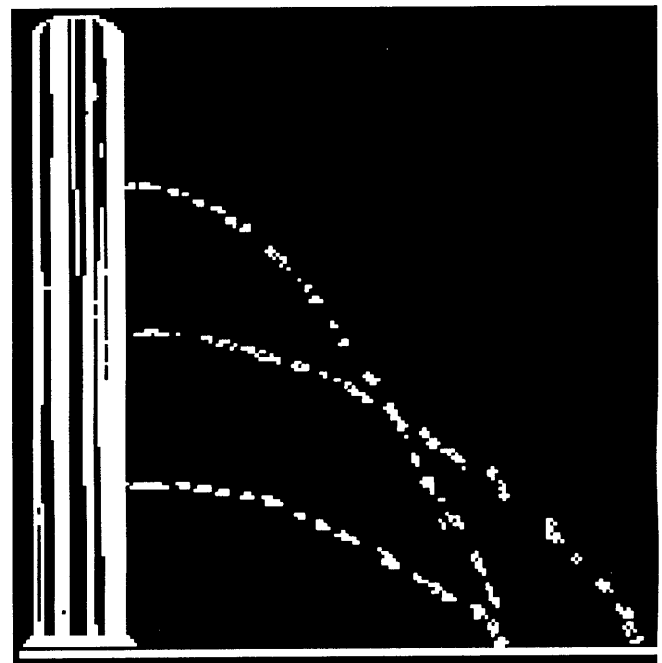


Fig. 1. Situació real

El nen se'n tornà, tot moix, al seu laboratori improvisat, emportant-se el testimoni d'una observació experimental ben feta, però que no quadrava amb l'«oficial». Vam estar a punt d'intervenir, però per respecte al mestre no ho férem. Un cop acabada la classe, quan ja no hi quedaven alumnes, li demanàrem que féssim l'experiència plegats, tots sols. En acabar-la ens digué: "Jo ja m'havia adonat que sortia així, però al llibre es diu el contrari".

La situació relatada sols és una anècdota, però, dissortadament, també és un indicador de la preponderància que té la ciència "oficial", l'escripta, la del llibre de text enfront dels resultats experimentals, dels de l'observació acurada, dels reals. El retret no s'ha de prendre com una crítica al mestre, ja que amb una quarantena d'alumnes a classe, treballant, alhora, una dotzena d'experiències diferents i amb uns textos de suport erronis, prou feia amb muntar les sessions manipulatives. El que no és justificable és que

l'administració educativa, que és qui aprova els textos escolars i que compta amb unes comissions d'experts per analitzar la qualitat científica i pedagògica dels llibres, permeti la seva circulació.

Revisió bibliogràfica

Podria pensar-se que aquest fet solament es dona a casa nostra i no a les societats capdavanteres en projectes educatius, com la nord-americana o la britànica. La realitat és distinta.

A. K. Tamuli, en una nota experimental publicada per una revista anglesa [«Liquid flow from orifices». *Physics Education* 23,3 (1988) 190–191] recordà que, contràriament a l'opinió popular, quan es fan diversos forats a un recipient ple d'aigua, el que té més abast és el més pròxim al centre del recipient i no el més profund. L'afirmació la justificà calculant, mitjançant l'anomenat "teorema" de Torricelli, la velocitat de sortida de cadascun dels dolls de líquid i el seu abast. La nota de Tamuli motivà que J. K. Atkin enviés una carta a l'editor: «The great water-jet scandal» [*Physics Education* 23,3 (1988) 137–138], que posteriorment també publicà —amb idèntic títol i contingut, però sense donar la referència concreta al *Physics Education* — a una altra revista [*The School Science Review* 70, 252 (1989) 86–88], en la qual denunciava l'error introduït en el tema per alguns textos escolars quan donen com a resultat de l'experiència la situació presentada a la figura 0. A més a més, indicava la lleugeresa que es comet al proposar la realització d'una experiència que no s'havien molestat a comprovar, i al prendre com a base l'artificiós raonament que si la velocitat de sortida depèn de la pressió hidrostàtica al nivell de l'orifici, com més avall es faci aquest més lluny arribarà el raig.

Un dels autors dels textos escolars citats per Atkin, J. H. Avison, en lloc de reconèixer l'error, sortí en defensa del seu llibre i replicà amb una altra carta: «The whole truth about water jets» [*Physics Education* 23,5 (1988) 265]. A l'escrit introduïa una variant consistent a posar el recipient sobre un tac de fusta (d'altura arbitrària) i prendre com a nivell d'arribada, no la línia horitzontal que passa per la base del recipient, sinó aquella que passa per la base del bloc (figura 2), ja que així s'aconsegueix que el doll que surt del forat més baix sigui el que té més abast.

Aquesta discussió provocà que diversos professors s'interessessin pel tema i es posessin a investigar sobre l'experiència que G. Auty [«Look a little deeper» *Physics Education* 23,6 (1988) 327–328] denomina "humida", perquè és freqüent que el mestre acabi mullant-se quan la fa com a experiència de càtedra. Auty dona a conèixer

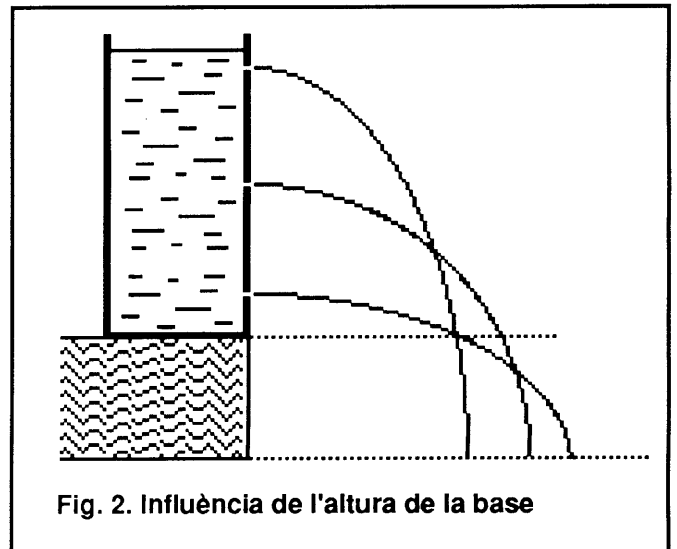


Fig. 2. Influència de l'altura de la base

els resultats obtinguts durant l'experimentació i descriu el dispositiu que permet aconseguir sortides simultànies dels dolls obrint els forats a igual distància entre ells, tot seguint una línia diagonal, i el senzill muntatge que manté constant el nivell d'aigua del recipient.

Per la seva banda, A. R. Rickus [«Demonstrating pressure at depths» *Physics Education* 23,6 (1988) 328–329] indica que els aparells subministrats per algunes de les cases de material didàctic induïen a l'error denunciat, ja que s'hi solden uns petits tubs als forats de sortida (figura 3), provocant que el moviment de sortida de l'aigua sigui controlat per la fórmula de Poiseuille de la viscositat (que relaciona el cabal de líquid que surt pel tub amb la pressió hidrostàtica, la viscositat del líquid i les mides del tub) i indica que caldria investigar en quin moment la longitud del tub addicional pertorba el resultat previst per la fórmula de Torricelli, la qual cosa permetria fixar el moment en què un orifici es comporta com un tub.

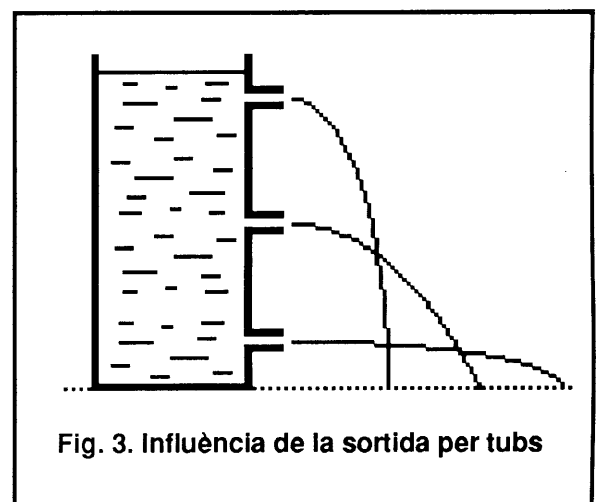
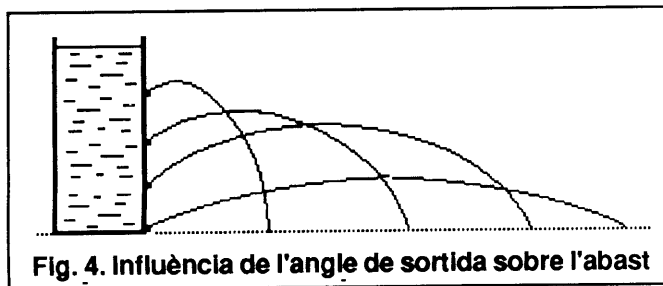


Fig. 3. Influència de la sortida per tubs

La qüestió no ha acabat així. R. T. Irish [«The water-jet problem again!» *Physics Education* 24,1 (1988) 7] extrapola el cas qüestionat estudiant, matemàticament, les trajectòries dels dolls d'aigua quan la sortida es fa mitjançant forats esbiaixats que obliguen a sortir l'aigua formant un cert angle amb l'horitzontal (figura 4).



Darrerament, J. K. Atkin [«...and nothing but the truth!» *Physics Education* 24,2 (1989) 67-68], que fou el primer a assenyalar l'error comès als textos, replica a la contestació donada per un dels autors (J. Avison) indicant que com l'alçada del bloc de fusta influeix en l'abast del doll (figura 2), la generalització feta és artificialment incorrecta, i aprofita l'avinentsa per comentar altres errors que es detecten al text d'Avison sobre el mateix tema. Per cloure la polèmica, l'editor de la revista publicà una última carta de J. H. Avison [«The last drop from the water jets» *Physics Education* 24,5 (1989) 259] on, entre altres qüestions, s'intenta justificar que l'altura del bloc de fusta emprat no és arbitrària i li recrimina, a Atkin, que no hagi vist la segona versió del llibre criticat, ja que s'ha corregit el dibuix objecte de discussió.

Experiència simulada

Aquesta sèrie de notes —sobre un fenomen aparentment intrascendent— ens féu pensar en la possibilitat que els alumnes usin l'ordinador per visualitzar, després d'haver foradat recipients i de mullar-se, alguns aspectes de l'experiència. La preparació del programa simulador no presenta cap dificultat si s'empren les fórmules matemàtiques donades per J. K. Atkin (1988) y A. K. Tamuli, sempre i quan no s'intenti reproduir el comportament dels dolls quan surten formant un cert angle (variable) amb l'horitzontal, cas presentat per R. T. Irish.

La baixa qualitat de l'arxiu de presentació visual de l'ordinador (45 056 "pixels" d'imatge) obliga que no es puguin "fer" més de 20 forats al recipient, perquè altrament les trajectòries dels dolls s'interfereixen i la imatge resultant és confusa.

Quan s'interactua amb l'ordinador el programa presenta un menú amb tres opcions: la primera, després de donar-li el número de forats amb què es vol experimentar, dibuixa, fent servir la fórmula de Torricelli, cadascun dels dolls en funció de l'altura de la columna de líquid que es troba per damunt del forat. Amb la simulació s'adverteix que l'abast del doll no és proporcional a la pressió hidrostàtica a nivell de l'orifici; així, no pot argumentar-se que "a més abast, més pressió hidrostàtica". La segona opció, que és una variant de la primera, sols dibuixa la trajectòria dels dolls corresponents als forats que es troben per damunt de la meitat del recipient. L'última opció, la tercera, visualitza la marxa dels dolls que surten dels orificis que es troben a la meitat inferior del recipient (1).

Proposta didàctica

Hi ha situacions en què un excés d'informació sobre un determinat tema pertorba la transmissió d'allò que es vol comunicar i obliga a prescindir d'ella i a retornar al punt de partida. L'experiència dels "water-jets" n'és un exemple: J. Vecino [*Tratado de Física Experimental*. Editado por la imprenta del Heraldo de Aragón. Zaragoza. 1922. Págs. 106-107], quan justifica, experimentalment, el "teorema" de Torricelli, resol, amb una senzillesa elemental, el problema dels "water-jets", ja que demostra que quan el forat es practica a la meitat de l'altura del recipient l'abast del doll és màxim.

Per tant, si es vol fer veure com augmenta la pressió amb la fondària no cal recórrer a experiències sofisticades, de resultats diversos i de difícil interpretació pels alumnes d'EGB. Hi ha altres activitats, capaces de muntar-se amb materials casolans, més senzilles, entenedores, de resultats correctes i que ja porten desenes d'anys resistint la interrogació dels alumnes. Així, E. Fontseré [*Elementos de Ciencias Físicas y Naturales*. Editorial Gustavo Gil, 3ª edició. Barcelona. 1934. Pág. 14] usa un embut (connectat a un llarg tub flexible) omplert d'aigua havent tapat, prèviament, el forat del tub amb el dit (figura 5).

Diu Fontseré que no cal tenir un tacte molt fi per a notar que la pressió damunt el dit augmenta a mesura que ho fa la diferència d'altura entre l'extrem del tub i la superfície lliure del líquid. I si el tub té suficient llargada, el dit no serà capaç de suportar la pressió i l'aigua s'escaparà, a dolls, per tot arreu.

Una altra activitat que permet quantificar la relació buscada, la dona un llibre de pràctiques molt conegut als centres escolars d'EGB [*Manual de experiencias de Mecánica*. Editado por E.N.O.S.A., 3ª edició. Madrid. 1963. Págs. 217-219]. En aquest cas es tracta de servir-

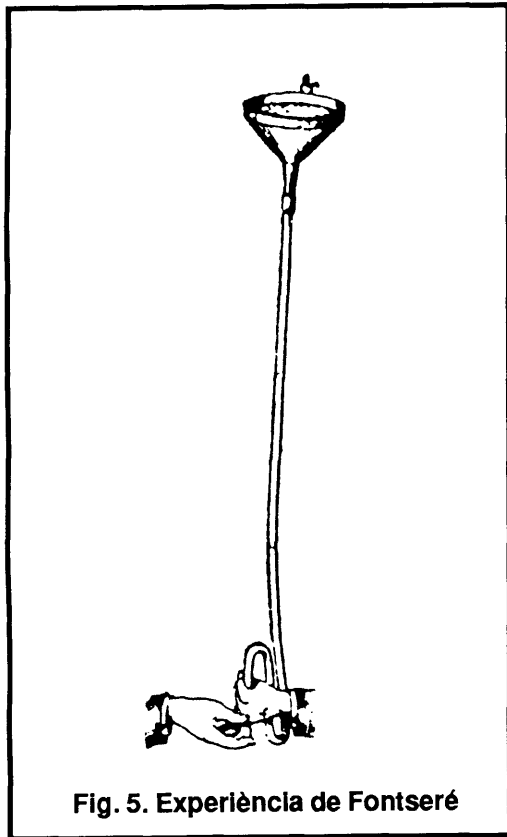


Fig. 5. Experiència de Fontseré

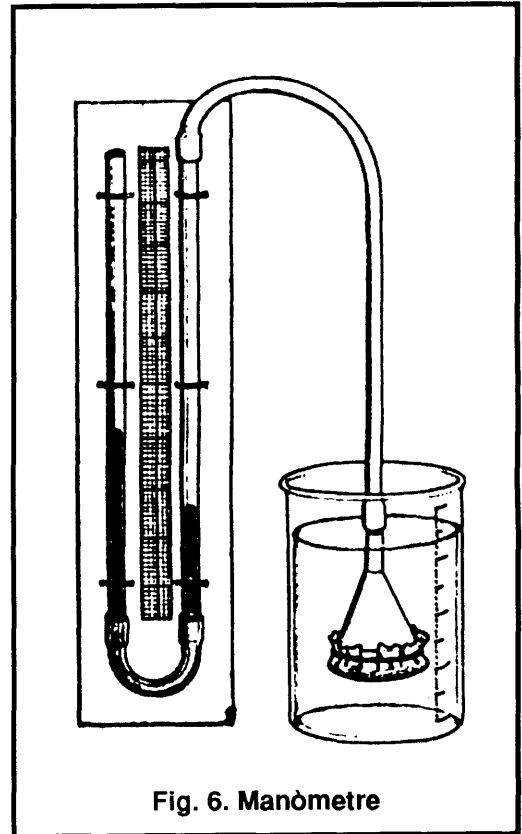


Fig. 6. Manòmetre

se d'un manòmetre de líquid, obert a l'atmosfera, en forma d'"U", connectat a un tub flexible que acaba amb un embut tapat amb una membrana elàstica (figura 6). Introduïnt més o menys l'embut dins l'aigua es pot

quantificar, gràcies al manòmetre, la variació de pressió. De totes maneres, s'ha de dir que el "manòmetre hidrostàtic" proposat per E.N.O.S.A. no és original, perquè J. de la Puente [*Física*. Editado por la libreria Bastinos de José Bosch. Barcelona. 1929. Pág. 69] la descriu al text usat pels alumnes de batxillerat superior d'aquella època amb una lleugera variant: se substitueix l'embut per una petita capsa metàl·lica (C) tapada amb una goma elàstica. (Fig. 7).

¹ El lector interessat en el programa simulador pot demanar-lo als autors.

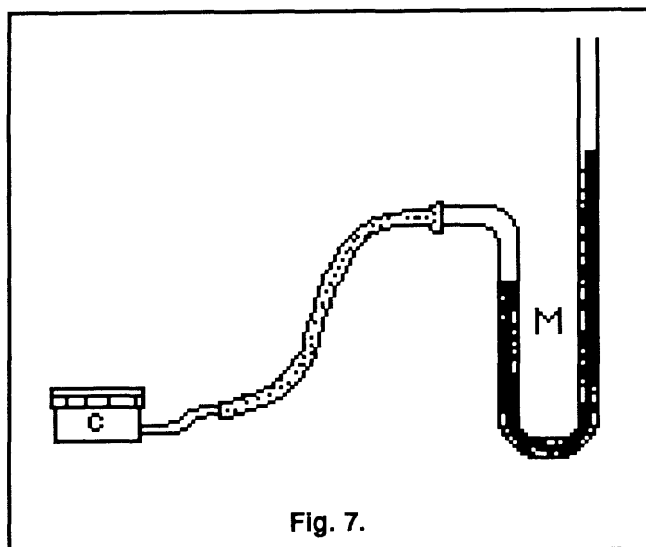


Fig. 7.

Agustí Salvat Altés.
Escola Universitària de Magisteri. Tarragona.
José Sánchez Real.
Escola Universitària de Magisteri. València.