

ELS DIÀLEGS SOBRE ELS DOS GRANS SISTEMES DEL MÓN DE GALILEO GALILEI, UN EXEMPLE VÀLID EN EL CONTEXT ACTUAL DE L'ENSENYAMENT DE LA FÍSICA

Marina Castells; Modesto Cabellos; Josep M. Cerveró

Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i de la Matemàtica. Universitat de Barcelona

Paraules clau: Relativitat clàssica, Galileo, Didàctica de la física.

Galileo's *Dialogue concerning the two chief world systems*, a good didactic example in the physics teaching present context

Summary: *Recherches about students' conceptions have identified difficulties in the learning of classical relativity of motion that are very closed to epistemological obstacles in some sciences. Galileo's Dialogues are a very good source of information of obstacles in the understanding of the motion and its relativity. On the other way, today Didactics considers the pupil as an active element of the learning. The pupil sees and interprets the motion in some ways and the teacher has to bring him to know the scientific way of to see it. The didactic orientation that this can suppose is similar to that Galileo uses in his book. In this paper we argue and present our concrete experience how Galileo's Dialogues have helped us in the identification of learning difficulties, in finding some new focus of teaching, and in the design of concrete activities about motion.*

Key words: *Classical Relativity, Galileo, Didactics of Physics.*

1. Consideracions generals

A força de reflexionar sobre les seves diverses possibilitats i d'anar provant el seu ús en activitats d'ensenyament de la física, ens ha semblat veure –potser hi hem volgut veure– una frescor didàctica als *Diàlegs* de Galileu que d'antuvi no ens imaginàvem.

En el context didàctic actual, es considera que l'alumne arriba a qualsevol situació d'aprenentatge escolar amb un bagatge de coneixements que, per a ell, són indubtablement vàlids i prou potents a l'hora d'interpretar el món que l'envolta. Sovint passa que part d'aquests coneixements estan en contradicció amb el coneixement científic establert i que alguns alumnes estan molt poc disposats a mirar i veure de manera diferent allò que creuen que ja saben. Llavors, el mestre té la necessitat d'actuar de manera que l'alumne es pugui convèncer

que ha d'anar més enllà del seu coneixement i donar els primers passos que l'acostaran al coneixement científic.

En certa manera, la situació és anàloga a la dels *Diàlegs* de Galileu. En aquesta obra surten tres personatges: Salviati que representa Galileu defensant el «nou gran sistema del món» (el de Copèrnic i Galileu); Sagredo, que és un personatge obert i lliure de prejudicis; i Simplicio, el qual és partidari convençut de la tradició escolàstica i aristotèlica, del segon «gran sistema del món». Per tant, si ho traduïm a una situació de classe, aquests personatges podrien correspondre al mestre, que veu el món d'acord amb la cultura científica; a un alumne (Simplici) que té una manera de veure el món que ha adquirit per participació dels acords d'una societat, –veu la realitat d'una manera determinada– i que té per molt segura; i a un altre alumne (Sagredo), no tan segur de les seves idees i més obert a aprendre coses noves que Simplicio. I ¿què passa amb aquests personatges als *Diàlegs*? Doncs bé, Salviati (el mestre), que ha de convèncer els dos alumnes de la bondat de les seves teories, afronta aquesta tasca amb uns recursos, amb una manera de fer que, des del nostre punt de vista, podrien il·lustrar algunes de les pautes didàctiques actuals més recomanades; salvant, això sí, les grans distàncies que hi ha entre la realitat d'una aula i la ficció d'uns diàlegs novel·lescós.

Així per exemple, avui dia és usual recomanar al mestre ser sensible als coneixements dels alumnes i ajudar-los a fer explícit llur punt de vista. I, deixant de banda intencionalitats, què fa sinó Salviati quan invita els seus interlocutors a explicar-se i quan recull les seves interpretacions o posa en boca pròpia els arguments dels peripatètics? Salviati fa parlar a Simplicio, li fa presentar o li presenta ell mateix la seva manera de veure el món, d'interpretar la realitat. Amb l'ajut de Sagredo li fa preguntes i li fa veure les coses des d'un altre punt de vista, el científic, però ho fa de manera que moltes vegades sigui el mateix Sagredo qui vagi descobrint, construint diríem ara, aquesta nova manera de veure el món que pugui convèncer Simplicio.

Però, l'alumne no pot descobrir tot sol la manera científica de veure el món, l'hi han de portar, li han de presentar aquesta manera nova de mirar. Així, a Sagredo li passa el mateix. Com ho afronta Salviati? Moltes vegades mitjançant analogies. La didàctica moderna reconeix la importància de l'aprenentatge mitjançant el reconeixement de casos idèntics a altres que ja havíem trobat abans, o de casos anàlegs. Sagredo afirma que sap que molts dels seguidors actuals de les teories de Copèrnic, abans eren seguidors de les d'Aristòtil. I que després d'haver conegut els arguments que donava Copèrnic a favor de la seva teoria, han fet el canvi de mentalitat; han canviat després d'haver conegut el nou model i els arguments a favor d'aquest model. És un exemple del que sovint afirmem a didàctica: que cal conèixer el nou model, la nova manera de veure per poder canviar; si no tenim una alternativa no abandonarem les nostres primeres interpretacions.

S'aconsella també al mestre que actuï procurant connectar amb l'experiència quotidiana de l'alumne, per afavorir que aquest estableixi relacions entre la manera pròpia de veure les coses i la científica, i per desenvolupar la seva capacitat crítica en relació a les diverses interpretacions. I en aquest sentit podríem dir que actua Salviati, quan proposa als seus interlocutors una mirada més acurada (més científica) de situacions que els són familiars i els proposa reflexions sobre la validesa de les interpretacions que es fan.

Una altra virtut que se li pot demanar al mestre és que sàpiga combinar propostes d'experiències/experiments i raonaments/maneres de mirar o d'interpretar. I també en això

ens mostra Salviati la seva mestria, perquè proposa situacions experimentals anàlogues a d'altres que s'estan discutint però que són més assequibles, més fàcils de mirar i de veure (i d'experimentar si fos el cas).

Aquesta manera de mediatitzar l'intercanvi cultural que hi ha d'haver en l'aprenentatge, provoca, en el terreny de la ficció literària dels *Diàlegs* allò que justament esperem aconseguir a l'aula: que l'alumne comenci a veure noves maneres d'interpretar la realitat que el facin dubtar de les que tenia fins ara, que se senti insegur, confús i que finalment faci seu l'objectiu de voler aprendre en la direcció d'allò que se li volia ensenyar. Igual que Sagredo, que primer afirma que parlarà en nom del sentit comú, després confessa sentir-se confús i finalment arriba a buscar i a proposar per iniciativa pròpia exemples, experiències i maneres d'entendre i d'acceptar el punt de vista científic.

Un dels nostres objectius d'ensenyament era abordar les dificultats de l'alumne que poguessin venir de la seva manera de veure el moviment. Les característiques d'aquesta manera d'entendre el moviment que coneixem a partir d'investigacions sobre idees i concepcions dels estudiants, i per la nostra tasca docent, les hem trobat també en fer una lectura de l'obra de Galileu. Presentem, a continuació, algunes d'aquestes característiques que hem pogut abordar fent un ús divers de fragments dels *Diàlegs*:

- Els estudiants interpreten el moviment com el resultat d'una acció, excepte alguns moviments particulars que ells consideren com a *naturals* (p. e. la caiguda lliure, el moviment del sol, etc.).
- Els estudiants no accepten que els objectes fixats a terra es puguin moure, els seus possibles moviments no són considerats com a reals, sinó només com a aparents.
- Per descriure un moviment, els estudiants sempre fan servir objectes que determinen sistemes de referència (SR), però ho fan sense ser-ne conscients, sovint barregen més d'un SR.
- El sòl o porció local de superfície terrestre és el SR més comú. És el SR natural en la majoria de situacions. Algunes vegades, però, poden ser usats altres SR (tren, vaixell, cinta transportadora, una persona caminant...); perquè el moviment ocorre a dins, damunt, o davant per davant d'aquests objectes. En aquestes situacions el SR natural no és el terra.
- Quan els estudiants fan servir un SR en moviment (en relació amb el terra), el consideren limitat per les parets o per les seves vores. Els és molt difícil usar correctament aquests SR quan l'objecte que es mou surt dels seus límits.
- Els estudiants fàcilment aprecien que, quan un cos és transportat per un transportador que es mou (en relació amb el sòl), té el mateix moviment que aquest transportador (per participació d'aquest moviment). Però, quan aquest cos perd el contacte físic amb el transportador (o surt dels seus límits), perd també aquell moviment (velocitat).

2. Exemples d'usos concrets de fragments dels *Diàlegs*

2.1. *Per a trobar-hi enfocaments que siguin propers a la manera de pensar habitual sobre la relativitat del moviment. Noció de sistema de referència*

En primer lloc, hi ha la noció de moviment com a canvi de posició respecte d'un SR i el concepte de SR. Però, quan volem introduir aquestes nocions a l'aula, especialment amb alumnes de primària i de secundària, ens adonem que el SR és una noció molt abstracta (de fet, hauríem de parlar d'espai de referència associat a un objecte al qual hem d'afegir el temps) i difícil d'entendre per als estudiants. L'acostament que fa Galileu a el SR i que sembla que prové de Bruno, ens sembla molt més concreta i per tant, molt més assequible per als nostres estudiants que la noció més abstracta de SR.

Què és per a Galileu i per a Bruno un SR? Giordano Bruno a *La Cena della Ceneri* (1584) dona la noció de sistema mecànic com «*un conjunt d'objectes animats amb el mateix moviment, però és com si aquest moviment del qual tots participen no existís*». També afegeix: «*és impossible de reconèixer el moviment d'un sistema mecànic per experiments fets a dins d'aquest*». Als seus *Diàlegs* (1632) Galileu fa servir aquestes dues nocions de sistema mecànic i d'experiència interna de Bruno.

Presentem el fragment dels *Diàlegs* on s'introdueix aquesta noció de moviment i de SR:

JORNADA SEGONA

El moviment compartit és com si no existís (pàg. 116)

Salviati «...el moviment és moviment i actua com a moviment, en tant que està en relació amb les coses que en són privades; però, pel que fa a les coses que en participen de la mateixa manera, no actua gens i és com si no existís. Així, les mercaderies amb les quals un vaixell està carregat es mouen en tant que, deixant Venècia, passen per Corfú, per Creta, per Xipre i van a Alep; i Venècia, Corfú, Creta, etc. es queden i no es mouen amb el vaixell. Però, pel que fa referència a les bales, caixes i altres fardells amb els quals el vaixell és omplert i carregat, i en relació amb el mateix vaixell, el moviment de Venècia a Soria és com si fos nul, i no modifica gens la relació que existeix entre aquests; i això perquè és comú a tots ells i en participen igualment. I si, d'entre les mercaderies que es troben al vaixell, una de les bales se separés d'una caixa –ni que fos un sol dit– això sol constituiria per a aquesta un moviment més gran, en relació amb la caixa, que el viatge de dues milles fet conjuntament....

Simplici «*Aquesta doctrina és bona, sòlida i d'acord amb l'escola peripatètica.*»

Salviati «*Jo la tinc per més antiga; i no dubto que Aristòtil, que l'ha apresada d'alguna bona escola, l'hagi comprès del tot; i em demano, però, si en retranscriure-la sota una forma canviada no hagi estat causa de malentès, transmès per aquells que volen defensar cada una de les seves idees. Quan ell ha escrit que tot el que es mou, es mou sobre alguna cosa immòbil, jo em demano si no ha pas volgut dir que tot el que es mou, es mou en relació amb alguna cosa immòbil, aquesta darrera proposició no suscitaria cap problema, mentre que la primera en suscita molts... És, doncs, palès que el moviment que sigui comú a diversos mòbils és inútil i com si fos nul quant a les relacions entre aquests mòbils, perquè res no canvia entre ells, i*

només actua en la relació que aquests mòbils tenen amb altres que són privats d'aquest moviment, les posicions dels quals en relació a aquests últims siguin canviades...»

Aquestes idees de Galileu ens han inspirat l'enfocament que donem als conceptes de moviment i de SR quan treballem amb els nostres estudiants que resumim de la següent manera:

- Moviment és el canvi de posició respecte (relativament) a algú o a alguna cosa.
- Els objectes que no es mouen els uns respecte als altres, determinen un sistema de referència. (D'una manera equivalent podem dir: tots els objectes que es mouen de la mateixa manera respecte d'un altre determinen un sistema de referència). El moviment de qualsevol altre cos és el mateix per a tots aquests objectes.
- La descripció de tot moviment és sempre relativa a un SR.
- El moviment d'un objecte pot ser descrit en relació amb diversos SR. El moviment canvia quan canvia el SR.
- Tots els objectes que determinen un SR es mouen de la mateixa manera respecte d'un altre SR (en particular el transportador i l'objecte transportat). Per les seves relacions mútues, el moviment compartit és com si no existís.

A nivell de pràctica de classe, aquestes nocions de Galileu ens han inspirat diverses activitats.

En unes fem servir transparències (fig. 1.1, 1.2 i 1.3) que representen situacions quotidianes. Aquestes transparències han estat dibuixades de manera que en cadascuna d'elles hi ha diversos objectes que es mouen de la mateixa manera respecte d'uns altres (determinen un SR).

Amb aquestes transparències, que fem lliscar les unes sobre de les altres, podem determinar objectes que es mouen, en relació amb què es mouen i com es mouen. Concloem que un cos es pot moure encara que no faci cap activitat per moure's; només cal que, pel motiu que sigui, canviï de posició respecte dels objectes de referència que estem considerant. Introduïm la noció de SR com a conjunt d'objectes de referència respecte dels quals el moviment de l'objecte considerat és descrit de la mateixa manera (p.e., els diversos elements del paisatge determinen un SR –el SR paisatge o terra–, perquè el camió es mou de la mateixa manera respecte de tots els elements i els tenim tots dibuixats en la mateixa transparència; però també els diversos elements del camió determinen un sistema de referència –el SR camió– perquè tots es mouen de la mateixa manera respecte de la casa i els tenim en una altra transparència, també podem dir que la casa es mou respecte del camió i com, etc.).

L'ordre, en aquest cas, és sempre anar del més concret i acostat a la manera de pensar del sentit comú fins a la major abstracció i fins a la manera de veure les coses més pròxima a la ciència.

Amb totes aquestes activitats queda clara la noció de moviment com a canvi de posició, la noció de SR i la relativitat de tot moviment respecte dels SR.

2.2. Per concretar activitats pràctiques

Activitat 1

El moviment que un objecte transportat té, per participació del moviment del transportador, no es perd quan se separa d'aquest.

En una de les transparències que fem servir en el grup d'activitats comentades anteriorment tenim un camió amb un noi al damunt que porta una bola a la mà. I ens serveix per introduir l'activitat que farem a continuació, on plantegem la pregunta següent als nostres estudiants:

Si al noi que va damunt del camió li cau la bola d'acer que porta a la mà, com es mou aquesta bola respecte del camió?, i respecte del terra?

Aquesta pregunta i les respostes dels alumnes ens serveixen per fer el que tan sovint fa Galileu als Diàlegs. Quan es presenta un cas que és difícil d'analitzar, ell mateix busca o fa trobar a Sagredo o a Simplicí un cas anàleg a aquell i que no sigui tan difícil d'analitzar, sia perquè es disposi d'experiència o perquè no hi hagi els prejudicis o les concepcions tan arrelades com en el primer cas (per exemple, Galileu, pot passar de la Terra com a sistema en moviment al vaixell o al cavaller. Simplicí està obsessionat amb la idea de la immobilitat de la Terra, és un acord social difícil de canviar, per què no anar al vaixell, respecte del qual Simplicí no té perquè tenir la mateixa obsessió?). Nosaltres hem canviat el camió per una persona caminant i portant una bola d'acer a la mà. Podem plantejar la qüestió de deixar-la caure o de tirar-la cap amunt. Generalment fem la demostració davant de tota la classe i demanem al alumnes com veuen el moviment (trajectòria que fa la bola quan surt de la nostra mà) i les seves respostes ens serveixen per discutir sobre el SR que fan servir i sobre la relativitat de les trajectòries als SR.

Un fragment de Galileu ens ha ajudat a completar aquesta activitat anterior i a fer veure als nostres estudiants la relativitat del moviment de la bola respecte de la persona que la deixa anar respecte del terra. Fem a l'aula una experiència anàloga a la que presenta Galileu. Citem a continuació aquest fragment:

JORNADA SEGONA

La bola que corre darrera el cavaller (pàg. 155)

Simplicí «*Sento que el dubte no se m'ha pas dissipat completament i pot ser culpa meua, ja que no sóc capaç de comprendre tan de pressa i fàcilment com el senyor Sagredo. Em sembla que si aquell moviment del qual participava la pedra quan estava fixada a la part alta del pal fos, com vos dèieu, conservat de manera indeleble en separar-se de la nau, faria falta també que la bola que deixés caure de la mà un cavaller cavalcant a bon trot mantingués el moviment i seguis la cursa del cavall sense quedar-ne endarrerida. No crec pas que es pogués observar un tal efecte, llevat que el cavaller no llancés amb força la bola en el sentit del seu avançament; si no, jo crec que quedaria per terra, allà mateix on hagués estat tirada.*»

Salviati «*Crec que us equivoqueu completament i estic persuadit que l'experiència ens demostrarà que, al contrari, la bola, una vegada haurà tocat a terra, correrà amb el cavall i no quedarà pas endarrere, sempre que no en sigui impedida per les rugositats i desigualtats del camí; i la raó em sembla igualment molt clara: si estiguéssiu aturat i féssiu córrer per terra la mateixa bola, ¿no continuaria també el*

seu moviment després d'haver deixat la vostra mà? I ho faria en una distància tant més gran com més llisa fos la superfície; sobre el gel, per exemple, aniria molt lluny...»

Simplici «Si li dono empenta amb el meu braç, no en dubto gens; però, en el cas del qual parlem, suposem que el cavaller la deixa caure simplement .»

Salviati «És ben bé així que ho he entès. Però quan vos la llanceu amb el braç, ¿què queda en la bola, una vegada que ha deixat la vostra mà, sinó el moviment del vostre braç que, conservat en ella, continua conduint-la endavant? De fet, ¿quina importància podria tenir el fet que aquest moviment li fos conferit pel vostre braç o pel cavall? Quan vos cavalqueu, ¿la vostra mà no corre, igual que la bola, tan ràpid com el cavall? Sí, evidentment. Per tant, quan vos obriu simplement la mà, la bola se'n va amb el moviment que ha adquirit del vostre braç, no pas en tant que moviment que us és propi, sinó amb el moviment que depèn del cavall i que us és comunicat primerament a vos, després al vostre braç, a la vostra mà i finalment a la bola. Afegiria, a més, que si el cavaller llancés la bola en sentit contrari a la seva cursa, aquesta bola, quan hagués tocat a terra, encara que hagués estat llançada en sentit contrari, seguiria, en certs casos, la cursa del cavall i es quedaria aturada sobre el sòl en altres casos; i no aniria en sentit contrari al de la cursa del cavall, sinó només en el cas que el moviment que hagués rebut del braç depassés en rapidesa al del cavall... I és una follia dir, com alguns fan, que un genet pot llançar cap endavant la seva javelina, perseguir-la amb el seu cavall, atènyer-la i tornar-la a agafar; dic que és una follia, ja que, perquè el que s'ha llançat en l'aire us retorni a les mans, fa falta tirar-ho recte cap amunt; de la mateixa manera que es faria quan estigués aturat. Si es fa així, sigui com sigui de ràpida la cursa, si és uniforme, l'objecte que es llanci, si no és massa lleuger, tornarà a caure sempre a les mans d'aquell que l'ha llançat, sigui quina sigui l'altura a la qual l'hagi llançat.»

Amb aquesta activitat ens enfrontem a una dificultat molt corrent en situacions de moviment. Els nostres estudiants, aturats a l'aula, observen el moviment d'una bola que surt de la mà del professor/a, i afirmen que la bola descriu una trajectòria recta i vertical, responen, per tant, fent servir el SR professor/a. Però, si els demanem quina referència fan servir responen que el SR aula o terra, perquè ells estan aturats respecte del terra. Però el fet és que ells no poden separar la vista del professor/a al mateix temps que de la bola, i tot volent mirar la bola miren també el professor/a i, per tant, fan servir el SR professor/a. Però, si anàlogament a l'argumentació de Galileu els fem mirar la bola, en treure la vista del professor/a, comencen a veure el moviment de la bola d'una altra manera, i això els comença a fer dubtar de les seves afirmacions i a poder entendre el que planteja el professor/a. Com Salviati, els portem a mirar les coses d'una altra manera.

Activitat 2

Les trajectòries com a evidència de moviment. Relativitat de les trajectòries

Un altre fragment dels *Diàlegs* de Galileu, que hem recomanat com a lectura per als nostres estudiants, ens ha inspirat unes activitats pràctiques en les quals les trajectòries són evidència de moviment i, per tant, relatives als SR. Al text s'insisteix una altra vegada en els conceptes que hem comentat al primer exemple comentat.

Aquest fragment és el següent:

JORNADA SEGONA

El sorprenent exemple de Sagredo de la inefectivitat del moviment compartit (pàg. 171)

Salviati «*No sou pas el primer a tenir una gran reticència a reconèixer que el moviment no actua gens sobre les coses que el comparteixen.*»

Sagredo «*Jo em recordo ara de cert somni que em va venir un dia a l'esperit, quan era de viatge per Alep, on jo anava de visita de tant en tant, com a cònsol de la nostra nació; i, sens dubte, podria ser d'algun ajut per explicar per què el moviment comú no actua i per què és com si no hi fos per a totes les coses que en participen. Jo vull, si això us ve de gust, comentar amb vós el que jo imaginava llavors tot sol.*»

Simplici «*La novetat de les coses que entenc em fa tornar curiós i ben disposat a escoltar: parlem doncs.*»

Sagredo «*Si la punta d'una d'aquestes plomes de les quals un se serveix per escriure s'hagués trobat al vaixell durant tot el trajecte de Venècia a Alexandria, i hagués tingut la facultat de deixar un signe visible del seu viatge, ¿quina empremta, quina nota, quina línia hauria deixat?*»

Simplici «*Hauria deixat una línia que s'estendria des de Venècia fins allà baix i que no seria perfectament recta; o més exactament, una línia que descriuria un arc de cercle perfecte i que seria més o menys ondulada, segons que el vaixell s'hagués ondulat més o menys; però aquestes desviacions, en certs indrets d'un braç o dos, a la dreta o a l'esquerra, cap amunt o cap avall, no s'haurien fet notar, sobre una longitud de diverses milles, més que en una mínima alteració en el traçat sencer de la línia; tant és així que aquesta alteració seria a prou feines sensible i que es podria dir, sens cometre error, que es tracta d'una porció d'arc perfecta.*»

Sagredo «*Si bé el moviment vertader, veritablement vertader, de la punta d'aquesta ploma hauria estat també un arc de cercle perfecte, si el vaixell, abstracció feta de les fluctuacions de les ones, hagués tingut un moviment apacible i tranquil. I si jo hagués mantingut contínuament aquesta ploma a la meua mà, no fent-la desviar més que ocasionalment un dit o dos, d'aquí i d'allà, ¿quina alteració hauria produït al seu traçat principal i més llarg?*»

Simplici «*Una alteració inferior a aquella que produirien sobre una línia recta llarga de mil brases les desviacions de la mida d'un ull de puça, en relació amb la línia recta absoluta.*»

Sagredo «*Així, un pintor que, deixant el port, hagués començat a dibuixar amb aquesta ploma sobre un full de paper, i que hagués prosseguit l'execució d'aquest dibuix fins a Alexandria, hauria pogut extreure del moviment de la ploma tota una història, composta de nombroses figures amb els contorns nets i precisos, amb pobles, edificis, animals i molts altres motius, encara que el moviment real i essencial traçat per la punta de la ploma no hagués pas estat altra cosa que una molt llarga, però molt simple línia. Quant al seu propi treball, el pintor hauria pogut efectuar una meravella, tota tan bé com si el vaixell hagués estat immòbil. Si no queda altra empremta del molt llarg moviment de la ploma que aquests trets marcats sobre el paper, fa falta buscar-ne la causa en el fet que el gran moviment de Venècia a Ale-*

xandria ha estat comú a la ploma i al paper, així com a totes les coses que es trobesin en aquesta nau; per contra, els moviments infims, cap endavant, cap endarrera, cap a la dreta, cap a l'esquerra, comunicats pels dits del pintor a la ploma, i no al full, perquè no pertanyen més que a la ploma, només ells han pogut deixar la seva empremta sobre el paper que, en relació amb aquests moviments, era immòbil.

Així és igualment cert que estant la terra en moviment, el moviment de la pedra que cau des de la torre és efectivament un llarg camí d'aproximadament cent iardes o, fins i tot, moltes més; i si pogués marcar el seu curs en un aire sense moviment o sobre alguna altra superfície, hauria deixat una línia molt llarga. Però la part de tot aquest moviment que és comú a la pedra, a la torre, i a nosaltres mateixos es manté insensible i és com si no existís. Només és observable aquella part en la qual ni la torre ni nosaltres som participants; dit d'altra manera, aquella que la pedra en caure mesura la torre.»

Salviati «Una idea molt subtil per explicar aquest punt, la qual serà assistida per les coses que us explicaré ara.»

A nosaltres la insistència de Galileu en la trajectòria com a evidència de moviment i mostra de la relativitat dels moviments ens ha inspirat un grup d'activitats, la tècnica bàsica de les quals és la ja molt coneguda d'enregistrar trajectòries de moviments mitjançant paper carbó.

3. Detall de la tècnica emprada

Es posa un full de paper carbó d'alta sensibilitat sobre un full de paper blanc amb el costat encarbonat sobre el paper. Si fem córrer una bola prou pesada damunt del paper carbó, aquest impressionarà el paper blanc en els punts per on passa la bola.

Entre d'altres activitats podem fer la següent: l'experiència de fer córrer una bola acer per damunt d'una superfície que es mou damunt d'una altra superfície.

Treballem fent analogies com feia Galileu, el professor proposa que els alumnes pensin en l'experiència de fer córrer una bola pel terra d'un vagó de tren (o d'una cinta transportadora o de qualsevol altre vehicle que es mou de manera uniforme). Si la bola es fa córrer de costat a costat, perpendicularment al llarg del vagó, com serà la trajectòria de la bola respecte del vagó?, i respecte de l'estació?

Es proposa als alumnes que ho dibuixin i es recullen les respostes.

Per tal de veure quina és la resposta correcta, es proposa de realitzar un muntatge experimental anàleg a la situació descrita. Un paper blanc farà de vagó i un altre de terra. Dos fulls de paper carbó marcaran les trajectòries.

Mentre un alumne desplaça uniformement un dels papers, l'altre deixa anar una bola des d'una rampa fixada a la vora del paper, les trajectòries recollides sobre el paper en moviment i el paper fixat a la taula correspondran, seran anàlogues, a les trajectòries de la bola en el SR tren i el SR terra o estació.

Fem el mateix, ara tenint la rampa fixada al paper enganxat a la taula, que fa de terra, i movent l'altre full al mateix temps que deixem anar la bola des de la rampa, recollirem dues trajectòries que seran les trajectòries d'una bola tirada des de terra respecte del SR terra i respecte del SR en moviment.

L'obtenció experimental de dues trajectòries diferents acostuma a sorprendre els estudiants i els ajuda a entendre millor que un moviment és diferent en relació amb dos SR diferents (tren i terra, per exemple).

3.1. Per treure problemes

Dels *Diàlegs* podem treure problemes per treballar a classe o com a activitats de reforçament, i per fer veure la importància del raonament analògic. En aquest sentit és interessant el problema dels trets de dos canons que va plantejar Tycho Brahe a la seva obra del 1592; *Dos Llibres d'Epístoles sobre Astronomia*, com a argument a favor de la immobilitat de la Terra:

«Ara, què succeiria, em demano, si (en el cas del moviment terrestre) amb un canó molt gros hom tirava una bala cap a Orient... i després, amb el mateix canó i des del mateix indret, se'n tirava una altra cap a Occident. És que podem creure que una i altra recorrien espais iguals sobre la Terra?»

Aquest problema el recull Galileu als seus *Diàlegs*. Nosaltres l'hem usat com a problema que els estudiants han de resoldre i el redactat de tal problema el donem als estudiants en la forma que és recollida per Galileu o canviada en una forma més actual.

Un cop els estudiants han resolt el problema, en discutim els resultats, i per acabar de fer-lo entendre i introduir el que vol dir el raonament per analogia presentem als estudiants la manera com Galileu ha resolt aquest problema acudint a l'analogia d'un carro que dispara dues fletxes, una en la direcció del seu moviment i una altra en sentit contrari al del seu moviment. La lectura d'aquesta analogia de Galileu ens serveix per a reforçar idees i nocions que havíem introduït anteriorment.

3.2. Com a lectura complementària

Podem fer servir alguns fragments de l'obra de Galileu com a lectura estimulante per als estudiants.

Molts dels fragments dels *Diàlegs* tenen per si mateix una bellesa poètica que ja els fan atractius, a part de l'interès del seu contingut. Fan trencar la idea que molts estudiants tenen de la física com a cosa de fórmules i números i l'acosten a aquells estudiants que troben difícil aquest món més abstracte i poden ajudar a fer de l'assignatura una cosa més tendra, més humana del que habitualment estan acostumats. Considerem positiu acostumar a fer servir a les classes de física lectures d'aquesta mena.

NOTA: La numeració de pàgines dels fragments correspon a la versió anglesa dels *Diàlegs*.

Bibliografia

- ARCÀ, M.; P. GUIDONI; P. MAZZOLI (1990), *Enseñar ciencia*, Barcelona, Paidós educador/Rosa Sensat.
- CASTELLS, M. (1989), «Concepcions i raonaments en l'ús de sistemes de referència galileans», *Temps d'Educació*, 2, 219-258.
- GALILEI, G. (1632), *Dialogo di Linceo sopra i due Massimi Sistemi del Mondo Tolemaico e Copernicano*.
- JAMMER M. (1970), *Concepts of space*, Harvard University Press
- SALTIEL, E. (1978), *Concepts cinématiques et raisonnements naturels: étude de la compréhension des changements de référence galiléens par les étudiants en sciences*, Paris, These Doctorat d'Etat, Université de Paris VII.
- SALTIEL, E.; MALGRANGE, J.L. (1980), «Spontaneous' ways of reasoning in elementary kinematics», *Eur. Jour. Physics 1*, 73-80.
- TONNELAT, M.A. (1974), *Histoire du Principe de Relativité*, Paris, Flammarion.
- WHITAKER, F. (1981): «Aristotle is not dead: students' understanding of trajectory», *Am. Jour. Physics*, 51, 352-357.