

## PODEM DIBUIXAR EL SISTEMA SOLAR?

Agustí Salvat Altés. Àrea de Didàctica de les Ciències Experimentals. Tarragona.  
 José Sánchez Real. Escola Universitària de Magisteri. València.

### Antecedents

L'antiga dita que una imatge val més que mil paraules també és extrapolable al cas de dibuixos, diagrames o representacions esquemàtiques. Un bon dibuix en un llibre científic, revista, enciclopèdia, pissarra de la classe o article d'un diari significa un gran ajut a l'hora de transmetre una informació i pretendre que la persona a la qual va dirigida capti, sense deformacions, el significat real d'allò que se li presenta. L'acte de preparar un dibuix a escala certament pot ajudar els nostres alumnes en la qüestió de captar la realitat del món físic. Malauradament, l'afirmació en sentit contrari també és vàlida: un dibuix incorrecte és més nociu que mil paraules.

En aquesta línia dels dibuixos ben proporcionats, la revista «Science and Children» presentà, l'any 1992, un treball titolat: *La Terra és un gra de pebre*, on es proposava una activitat destinada a nens per tal de representar, a escala, els planetes del sistema solar.

A partir d'ara es presentaran alguns exemples de dibuixos desproporcionats, alguns dels quals s'han extret de l'article de William de Buvitz, publicat l'any 1990 a la revista «The Physics Teacher», així com algunes propostes d'activitats que es poden fer amb els alumnes per poder simular, a escala, els astres del nostre sistema solar.

### L'òrbita d'un satèl·lit espacial

La situació d'ingravitació aparent d'un satèl·lit espacial és una qüestió que molt sovint interessa els alumnes, ja que pensen que la força gravitatòria a les altituds típiques d'una nau d'aquesta mena és molt inferior a la que hi ha a

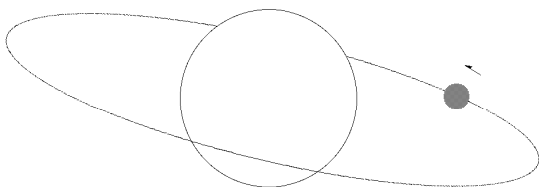


Fig. 1. Òrbita (desproporcionada) d'un satèl·lit.

la superfície terrestre. En altres paraules, pensen que tots els objectes (i les persones!) que es troben a la nau no

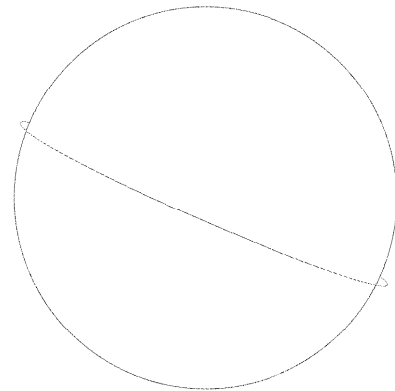


Fig. 2. Òrbita d'un satèl·lit a 280 km d'altitud.  
Escala: 1 mm=250 km.

pesen, i la causa d'això radica en la gran òrbita del satèl·lit, tal i com es veu a la figura 1.

No cal dir que quest dibuix, evidentment mal proporcionat, es troba a molts llibres de ciències i enciclopèdies, així com en articles de revistes i diaris. Si no es té en compte que l'escala és incorrecta (en molts casos no s'indica que el dibuix no és a escala) es pot concloure que el radi de l'òrbita de la nau triplica (aproximadament) el de la Terra. Per tant, la força d'atracció gravitatòria que actua damunt

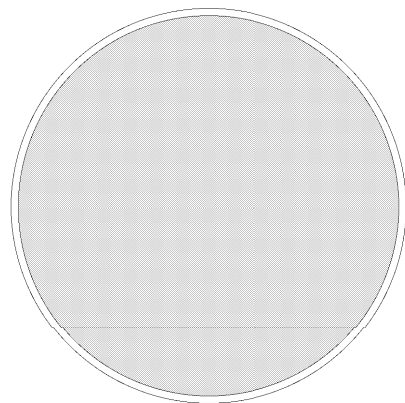


Fig. 3. Òrbita d'un satèl·lit a 280 km d'altitud.  
Escala: 1 mm=250 km.

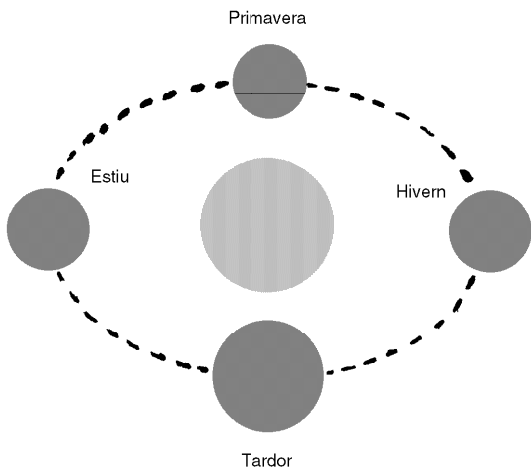


Fig. 4. Òrbita (desproporcionada) de la trajectòria de la Terra al voltant del Sol (OLIVA, 1993).

d'ella és  $(1/3)^2 = 1/9$  del valor sobre la superfície terrestre.

Les figures 2 i 3 corresponen a dibuixos (fets a escala) de l'òrbita de la nau nord-americana *Columbia* en la seva primera missió espacial. El radi de la Terra és, aproximadament, de 6 400 km, i l'altitud de l'òrbita del *Columbia* fou de 280 km.

Com que els dibuixos estan proporcionats, els estudiants es poden adonar que la nau no es troba en una situació de "poca gravetat", ja que "vola" ran de la Terra, a una altura equivalent d'1 mm!. La força gravitatòria corresponent a aquesta altura és  $(6400/6680)^2=0,92=92\%$  del valor sobre la superfície de la Terra. És a dir, la nau i tot el que conté al seu interior pesa quasi igual com si es trobés a la Terra.

### La "rugositat" de la superfície de la Terra

És possible que alguns estudiants (i alguns mestres-professors!) se sorprendin quan vegin les figures 2 i 3, i fins i tot pensin que el satèl·lit "vola" massa baix, perquè hi ha el perill de xocar amb les muntanyes. Aquesta idea intuïtiva permet plantejar una qüestió interessant: com és de "rugosa" la superfície de la Terra?

Es pot respondre la pregunta si s'agafa una escala que permeti ampliar i fer visibles els objectes que ens interessin (normalment, els més petits). El punt més alt de la Terra (l'Everest) és a 9 km damunt el nivell del mar. Una escala de 1 mm=1 km significa que l'Everest té 9 mm de grandària. Desafortunadament, la Terra, al tenir un radi aproximat de 6400 mm=6,4 m, resulta poc manejable... ja que no ens cabrà al paper! Si elegim l'escala de forma que l'Everest tingui una grandària aproximada d'un mm (1 mm=10 km),

amb la qual cosa encara serà visible!, el radi de la Terra equivaldrà a 64 cm, quantitat més manejable, tot i que el dibuix encara surti fora del paper. Incidentalment, es pot pensar que un dibuix que només contempli la quarta part de la Terra serà suficient per a contenir la informació desitjada... però no en tindrem prou amb un full DIN-A4, ja que el dibuix seguirà tenint 64 cm de costat!

### L'"aplatament" de la Terra

Els dibuixos dels llibres quasi sempre exageren l'abombament de la Terra a l'equador. De vegades es justifica l'exageració dient que "es fa per clarificar el fenomen". Aquest fet crea en els estudiants la impressió que la Terra és lluny de la forma esfèrica. Fins i tot hi ha models flexibles que, en fer-los girar, reproduïxen l'aplatament de la Terra d'una forma excessiva. Actualment, el diàmetre equatorial de la Terra (12756 km) només és 42 km més llarg que el diàmetre polar (12714 km) i això, a l'escala del dibuix suggerit per mostrar l'òrbita d'un satèl·lit (figures 2 i 3), suposa una diferència de només 0,17 mm, davant un diàmetre de 50 mm. Diferència inapreciable a simple vista!

### L'excentricitat de l'òrbita de la Terra

Quan els estudiants aprenen que l'òrbita de la Terra no és una circumferència, sinó una el·lipse, molt sovint sel's ensenya un dibuix semblant al de la figura 4.

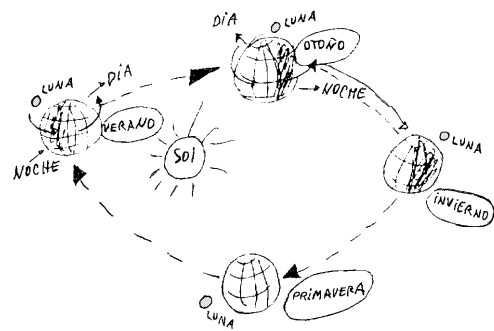


Fig. 5. Model usat per a explicar el fenomen de les estacions.

Tot i que alguns textos indiquen que l'aplatament de l'òrbita no és com el mostrat al dibuix, la imatge amb la qual es queden els estudiants és errònia. ¿Quanta gent associa el canvi d'estacions amb la variació de la distància entre la Terra i el Sol?

En una investigació (CAMINO, 1995) feta amb una mostra de mestres de primària en formació permanent, a l'Argentina, s'explorava, entre altres coses, quins models

# Experiències didàctiques

feien servir els mestres per a explicar les estacions. Segons alguns d'ells, la Terra es trasllada al voltant del Sol seguint una òrbita el·líptica de gran excentricitat. Les estacions són conseqüència de la variació de la distància que hi ha entre la Terra i el Sol (Fig. 5).

Un d'ells (31 anys) explicà que «*Hi ha estacions perquè l'òrbita de la Terra al voltant del Sol és el·líptica. Com més s'acosta la Terra al Sol tenim la primavera i l'estiu, i com més s'allunya del Sol tenim la tardor i l'hivern*». Pel que fa a la possibilitat que els altres planetes del sistema solar també tinguin estacions, digué: «*Sí que entenen, ja que tots giren al voltant del Sol!. Però no recordo si tenen la mateixa forma el·líptica. La qüestió és que si tenen un cercle perfecte no hi ha estacions, però si tenen una forma el·líptica que en algun moment s'acosta al Sol, hi ha d'haver, almenys, dues estacions*».

La realitat és que la Terra es trasllada al voltant del Sol en una òrbita (pràcticament) circular, mantenint el seu eix de rotació inclinat respecte a l'eix de la seva òrbita. Les estacions bàsicament es produeixen per la variació en l'angle d'incidència dels rajos solars damunt el planeta al llarg de l'any.

Si l'òrbita de la Terra tingués l'excentricitat de l'el·lipse de la figura 5 ( $e=0,8$ ), l'efecte sobre les estacions seria molt més accentuat del que en realitat és. Dibuint l'òrbita a escala i amb l'excentricitat correcta ( $e=0,017$ ), ens resultaria impossible diferenciar visualment entre la seva forma i la d'una circumferència.

Cal tenir present que si es pensa en l'ensenyament primari, és més adient -sense caure en errors conceptuals greus- presentar les òrbites planetàries com a circumferències perquè, si es mostren en la forma el·líptica, tal i com ho fan la majoria de textos escolars, sense tenir en compte el paràmetre *excentricitat*, s'arriba a la idea de llargues el·lipsis per a tots els planetes.

La insistència a presentar les òrbites planetàries en la seva forma el·líptica és una mica absurda, ja que les òrbites reals no són el·lipsis perfectes. En realitat, això és concordant

amb la llei de Newton de la gravitació universal (*Tot cos atreu un altre cos...*). Atès que la massa del Sol és molt més gran que la de qualsevol planeta, la força d'atracció Sol-planeta és força més gran que no pas les que es donen entre els planetes. Però aquestes petites forces d'atracció entre planetes fan que les trajectòries planetàries s'allunyin d'el·lipsis perfectes, especialment quan tenen a prop un altre planeta. A aquestes desviacions se les anomena *pertorbacions* i són observables (GIANCOLI, 1985). Gràcies a elles es descobriren Neptú (al s. XIX) i Plutó (al 1930).

Si es vol representar, a escala, el sistema Terra-Sol, ens adonarem que la situació no és gens fàcil. Atès que l'objecte més petit és la Terra (12 756 km de diàmetre), prenem l'escala: 1mm=12 800 km. Així, la Terra tindrà un diàmetre d'un mil·límetre (la lletra que ara esteu llegint té una alçada de 2 mm). El Sol (1 400 000 km de diàmetre) farà, aproximadament, 11 cm, mentre que la seva distància a la Terra (149,6 milions de km) serà d'11,7 m!

## El sistema solar

Les representacions que sovint es fan del sistema solar no mostren una imatge real de les proporcions estelars que s'hi donen. Com a exemple pot veure's el dibuix de la figura 6: sembla com si tots els planetes fossin a tocar, un al costat de l'altre! Fins i tot es té la sensació que Mercuri ha d'acabar rostit com un pollastre a l'ast.

S'ha de tenir present que el dibuix ideal del sistema solar ha de visualitzar, a escala, les dimensions dels planetes, així com les distàncies entre ells. Si prenem com a referència un "petit" astre com Mercuri, amb un diàmetre aproximat de 5000 km, podem usar l'escala: 1 mm=5000 km. La dimensió més gran que tindrem serà el radi de l'òrbita de Plutó, que s'aproxima als  $5,9 \times 10^9$  km. Malauradament, si es representa de forma proporcional, Plutó se surt fora d'escala... perquè suposa una distància de 1180 m!

És obvi que un diagrama complet del sistema solar a aquesta escala es troba fora de l'espai d'una classe sencera. Per la mateixa raó, és evident que aquest espai

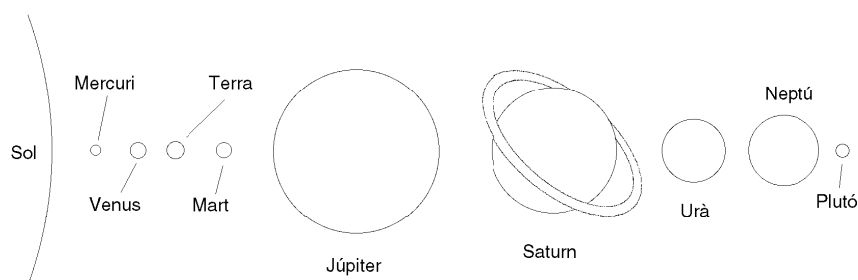


Fig. 6. Model usat normalment per representar el sistema solar (ZARZUELO, 1993).

# Experiències didàctiques



és bastant lluny del que disposen els llibres de text!. Com a resultat, els dibuixos dels textos escolars fan la sensació als estudiants que el sistema solar és ubicat en un lloc més aviat reduït (Fig. 6).

Aquest problema de l'adequació de l'escala per a representar, fidelment, el sistema solar, tampoc no l'han sabut resoldre al planetari del Museu de la Ciència de Barcelona. L'aparell de projecció -ubicat al centre de la sala-reprodueix perfectament, sobre la cúpula semiesfèrica de 9 m de diàmetre, el cel de qualsevol lloc, a qualsevol data i hora. Aquest cel fictici és compost per 6000 estels situats sobre la volta del cel del planetari. Però, a l'hora d'imitar el comportament del sistema solar complet, l'aparell és incapaç de representar alhora i a escala: la grandària dels astres, la distància entre ells i el seu moviment relatiu.

La famosa sèrie televisiva *Star Trek* encara complica més la situació quan mostra que el viatge d'un planeta a un altre o a un sistema d'estrelles només té la durada d'un anunci comercial. Per contra, la pel·lícula *2001, una odissea de l'espai*, dóna una idea més efectiva de la immensitat de l'espai interestel·lar.

És possible construir un dibuix a escala del sistema solar, de dimensions manejables, si s'està disposat a fer diverses concessions. Per exemple, si no importa mostrar la dimensió relativa del Sol i dels planetes, podem fer un dibuix a escala de totes les òrbites planetàries. A partir de

Planeta	Distància relativa al Sol (en cm)
Mercuri .....	0,58
Venus .....	1,08
Terra .....	1,50
Mart .....	2,28
Júpiter .....	7,78
Saturn .....	14,27
Urà .....	28,75
Neptú .....	45,04
Plutó .....	59,00

Taula 2. Dades per a construir el dibuix de la figura 8.  
Escala: 1 cm=10<sup>8</sup> km.

les dades de la taula 1 pot veure's que la dimensió més petita que ens interessa és l'òrbita de Mercuri, que s'aproxima a 1,2x10<sup>8</sup> km. Si elegim una escala de 1 cm=10<sup>8</sup> km, l'òrbita de Mercuri tindrà 1,2 cm de diàmetre, mentre que el diàmetre de l'òrbita de Plutó serà d'1,2 m de diàmetre. Aquesta situació ja és més fàcil de dibuixar a la pissarra (o en un pòster fixat a la paret de la classe). Tots els planetes, així com el Sol, seran puntuals, però fins a l'última, les òrbites les tindrem a escala.

Possiblement els alumnes voldran percebre la grandària

ASTRE	Distància mitjana al Sol (en Mkm)	Excentricitat òrbita	Període revolució al voltant del Sol (en dies)	Període revolució sobre si mateix (en dies)	Temperatura mitjana (en °C)	Massa (en kg)	Diàmetre equatorial (en km)	Densitat mitjana (en g/cm <sup>3</sup> )	Velocitat al voltant del Sol (en km/s)
Sol	-	-	-	25,40	-	1,99E+30	2 000 000	1,41	-
Mercuri	57,91	?	87,97	88,00	350	3,35E+23	4 715	6,11	47,50
Venus	108,20	?	224,70	243,00	480	4,87E+24	12 104	5,25	35,02
<b>Terra</b>	149,60	0,017	365,24	1,00	15	5,98E+24	12 756	5,50	29,60
Mart	227,90	0,093	687,00	1,03	-23	6,46E+23	6 787	3,94	24,12
Júpiter	778,30	0,048	4 234,00	0,41	-150	1,90E+27	142 800	1,25	13,37
Saturn	1 427,00	?	10 752,90	0,44	-180	5,53E+26	120 000	0,61	9,65
Urà	2 875,03	?	15 602,89	0,46	-110	8,69E+25	51 800	1,19	6,70
Neptú	4 504,00	?	60 141,25	0,67	-220	1,03E+26	44 598	2,22	5,45
Plutó	5 900,22	0,250	90 410,50	6,38	-230	1,20E+22	2 200	2,14	4,75
Lluna	0,39*	?	29,53*	0	-35	7,38E+22	3 476	3,35	0,95*

\* Dades relatives a la Terra.

Taula 1. Dades bàsiques sobre els astres del sistema solar.



Fig. 7. Dimensió relativa dels astres del sistema solar.  
Escala: 1 mm=2 500 km.

del sistema solar associada a la de la Terra, així com a l'òrbita de l'últim dels planetes interiors. Si elegim una escala de 1 mm=10 000 km, el diàmetre de la Terra serà aproximadament d'1 mm, mentre que el del Sol s'acostarà als 20 cm, i el radi de l'òrbita de la Terra serà de 15 m.

Quan vulguem encabir el sistema solar en un full DIN-A4, s'ha d'emprar l'escala 1mm=2500 km, ja que així el planeta més petit (Plutó) tindrà un diàmetre de l'ordre del mil·límetre, i el més gran (Júpiter) s'acostarà als 6 cm. El resultat obtingut emprant aquesta proporció és el de la figura 7.

Agafant una escala més gran (1cm=10<sup>8</sup> km), fins i tot existeix la possibilitat de representar la distància relativa entre els planetes sobre una part d'un full DIN-A4 (vegeu la fig. 8). Al dibuix només s'han mostrat petits arcs de les òrbites de Mart, Júpiter i Saturn, però el diagrama, malgrat no representar la grandària relativa dels astres dibuixats, mostra d'una forma ben efectiva les distàncies existents a una part del sistema solar. Les dades per a fer la representació de la figura 8 són les de la taula 2.

En aquesta línia de la proporcionalitat, l'any 1984 a Esquel (Argentina) s'inicià la construcció del complex astronòmic *Plaça del cel: un lloc per aprendre i jugar amb l'astronomia*. L'esmentat complex és una plaça pública de forma rectangular (50x100 m), ubicada al centre de la ciutat, on hi ha, entre altres coses, una representació a escala del sistema solar complet, tant pel que fa a grandàries relatives dels astres com a les seves distàncies. Així, els passejants es poden adonar de la immensa grandària del nostre sistema solar.

### Construcció de models

La construcció de models a escala sempre resula atractiva, instructiva i entreté una bona estona, i finalment queden per a la posteritat (...oper als propers cursos). La seva complexitat dependrà de l'edat dels alumnes. Si són molt petits, pot ser interessant el muntatge d'un sistema solar a partir de fruites i llegums, sense tenir gaire en compte les distàncies relatives entre els diferents planetes i el Sol, fixant-nos més en la relació de grandàries dels diversos planetes que en la distància entre ells. Un cop construïts els models, es poden penjar a la classe o en un passadís una mica llarg. Si els nens ja són més grans, podem construir un model a escala, tenint present tant la relació de grandàries dels distints planetes com la relació de distàncies entre ells. Per fer-lo es poden prendre les dades de la taula 3. L'escala bàsica la dóna un Sol d'un metre i mig de diàmetre (pot servir una gran pilota de platja, preferentment de color groc). A aquesta escala el planeta més gran, Júpiter, pot simular-se per una aranja. Els planetes grans (gasosos) es poden simbolitzar mitjançant fruites, però els petits planetes terrestres (rocosos) s'han de representar amb cigrons o grans

# Experiències didàctiques

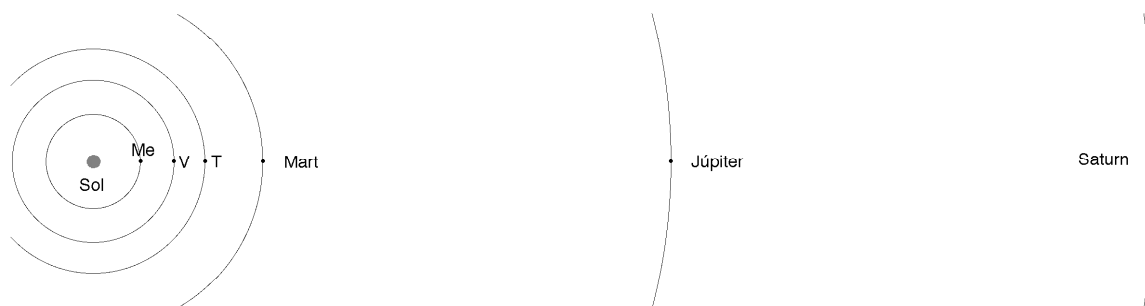


Fig. 8. Representació proporcional de les distàncies entre els 6 primers planetes del sistema solar, segons les dades de la taula 1.  
Escala: 1 cm=10<sup>8</sup> km.

Astre	Diàmetre equivalent (en cm)	Distància al centre del Sol (en m)	Color aproximat	Objecte que el simula
Sol	147,4	-	groc	pilota platja (gran)
Mercuri	0,3	2,0	gris pàl·lid	gra de pebre
Venus	0,9	3,6	blanquinós	cigró
<b>Terra</b>	0,9	5,0	blau-blanc	cigró
Mart	0,5	8,0	vermellós	pèsol
Júpiter	10,5	27,0	marró clar	aranja
Saturn	8,8	50,0	taronja	taronja
Urà	3,8	100,0	pàl·lid	albercoc
Neptú	3,3	154,0	blau	albercoc
Plutó	0,2	204,0	blanc?	gra de pebre
Lluna	0,3	0,012 (de la Terra)	gris pàl·lid	gra de pebre

Taula 3. Dades relatives per a la construcció d'un sistema solar a partir de fruites i llegums.

de pebre. Si es vol incloure la Lluna cal tenir present que, malgrat ser més petita que Mercuri, també es representarà mitjançant un gra de pebre.

El color té la seva importància, ja que els diferents planetes tenen colors diferents. Si el color de la fruita o del llegum emprat no és adient, es pot pintar fins a aconseguir el color desitjat.

Si els alumnes ja són a l'ensenyament secundari obligatori, a més de fer un model a escala en allò que fa referència a les dimensions dels planetes i a les seves distàncies relatives, s'hi pot incloure el moviment de cada planeta, així com el de la Lluna. En aquest cas, els astres s'haurien de simular mitjançant els mateixos alumnes i el moviment conjunt de tot el sistema s'hauria de reproduir, com a mínim, al pati de l'escola ...si hi caben!

## Referències bibliogràfiques

- CAMINO, N. *Ideas previas y cambio conceptual en astronomía. Un estudio con maestros de primaria sobre el día y la noche, las estaciones y las fases de la Luna*. «Enseñanza de las Ciencias». 13,1 (1995) 81-96.
- DE BUVITZ, W. *The importance of scale drawings or: Let's blow things out of proportion!* «The Physics Teacher». 29,9 (1990) 604-605.
- GIANCOLI, D.C. *Física. Principios i aplicaciones*. Editorial Reverté. Barcelona. 1985. Pàg. 63.
- OLIVA, J. i altres. *Cèrcol. Coneixement del medi natural. Cicle mitjà*. Enciclopèdia Catalana i Edicions 62. Primera edició, primera reimpressió. Barcelona. 1993. Pàg. 9.
- SMALL, L. i SMALL, J.O. *The Earth is a peppercorn*. «Science and Children». 29,7 (1992) 51-52.
- ZARZUELO, C. i altres. *Coneixement del medi natural. Cicle mitjà. Segon*. Editorial Santillana. Barcelona. 1993. Pàg. 92.