

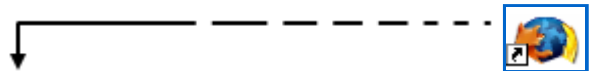
[Sumari](#)



L'ACCELERÒMETRE DEL MÒBIL. UNA ALTERNATIVA AL SENSOR DE DISTÀNCIA?

Víctor López

En aquest article comparem la recollida de dades i/o el càlcul de la posició, la velocitat i l'acceleració en funció del temps d'un cotxet de joguina que es desplaça al llarg d'un carril i descriu un MRUA. Per fer-ho, utilitzem dos sistemes: el sensor de distància convencional que s'utilitza en molts instituts i l'acceleròmetre que tenen els mòbils d'última generació. Un cop vist que les gràfiques obtingudes són molt similars, discutim els elements més positius i negatius de cada sistema de recollida de dades.



Proposta

1. Introducció. L'exemple del cotxet de joguina lligat a un contrapès

Una de les pràctiques més comunes que serveixen per estudiar el moviment mitjançant sensors de posició és el moviment d'un cotxet de joguina que es desplaça en línia recta al llarg d'un carril. Al REVIR (el projecte de visites de centres de secundària al laboratori digitalitzat de la UAB, on es treballa amb sensors i simulacions) es fan diverses pràctiques experimentals que utilitzen un muntatge d'aquest tipus, mitjançant el qual els estudiants d'ESO o de batxillerat estudien el moviment rectilini uniforme (MRU) i el moviment rectilini uniformement accelerat (MRUA).

En el cas d'aquestes pràctiques, el muntatge que s'utilitza consta d'un cotxet de joguina lligat a una corda, que alhora va lligada a un contrapès que penja verticalment mitjançant una politja. L'experiència consisteix a impulsar el cotxet amb una goma elàstica, de manera que aquest surt disparat a gran velocitat. A causa de la tensió que la corda fa sobre el cotxet, aquest va perdent velocitat a mesura que avança, fins que s'atura. Tot seguit, com que la força tensió és constant, el cotxet es comença a desplaçar en sentit contrari, fins que torna al punt d'inici amb una velocitat en sentit invers al de la velocitat inicial. Com que a l'extrem del carril hi ha un topall, quan el cotxet torna a la posició inicial frena bruscament.



Fig. 1: Muntatge experimental del cotxet, lligat a la corda, que es desplaça pel carril.

Per descriure aquest moviment, podem parlar del “moviment d’anada” i del “moviment de tornada”. El primer és el moviment que es produeix des que el cotxet surt impulsat a gran velocitat fins que s’atura (en la figura 1, equivaldria al moviment d’esquerra a dreta) i el segon és el moviment que fa el cotxet des que està aturat fins que torna a la posició inicial (en la figura 1, equivaldria al moviment de dreta a esquerra).

2. Anàlisi del moviment del cotxet a través del sensor de posició

A través d’un sensor de distància situat a l’extrem oposat del carril és fàcil mesurar la posició que el cotxet té en cada moment i, per tant, obtenir una gràfica posició-temps com la de la figura 2. En aquesta gràfica es pot observar com el cotxet parteix d’una posició inicial allunyada del sensor, que comença a desplaçar-se i dibuixa una paràbola (ja que, tan bon punt surt disparat, el cotxet comença a frenar per l’efecte de la corda).

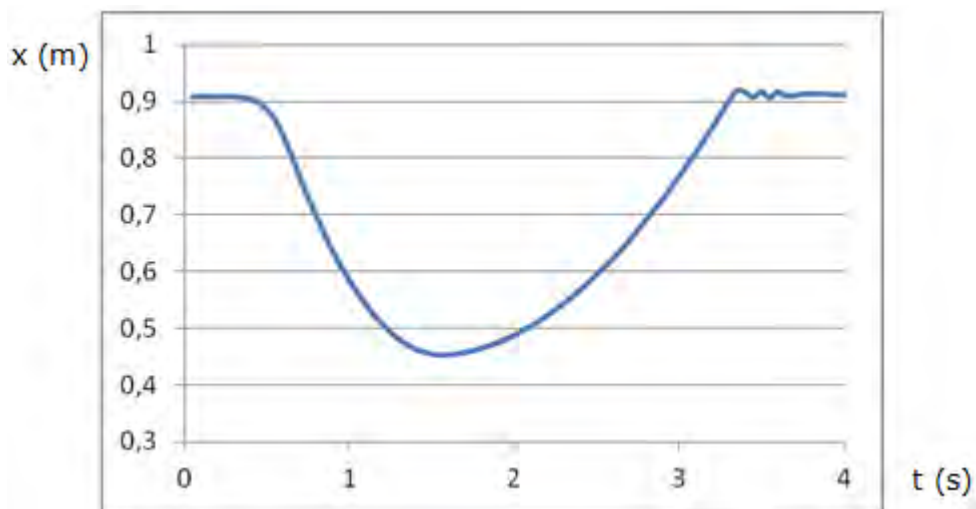


Fig. 2: Gràfica posició-temps del cotxet obtinguda amb el sensor de distància.

A partir d’aquesta gràfica posició-temps, qualsevol programari que utilitzi el sensor de posició per tractar les dades permet dibuixar també gràfiques velocitat-temps i acceleració-temps. La figura 3 permet veure que els moviments d’anada i de tornada són dos MRUA amb acceleracions diferents. Això és degut a que les forces que actuen no són exactament les mateixes: a l’anada el fregament s’afegeix a la força de frenada de la corda, mentre que a la tornada aquestes dues forces es contraresten, havent-hi així una força resultant (i per tant, una acceleració) més petita.

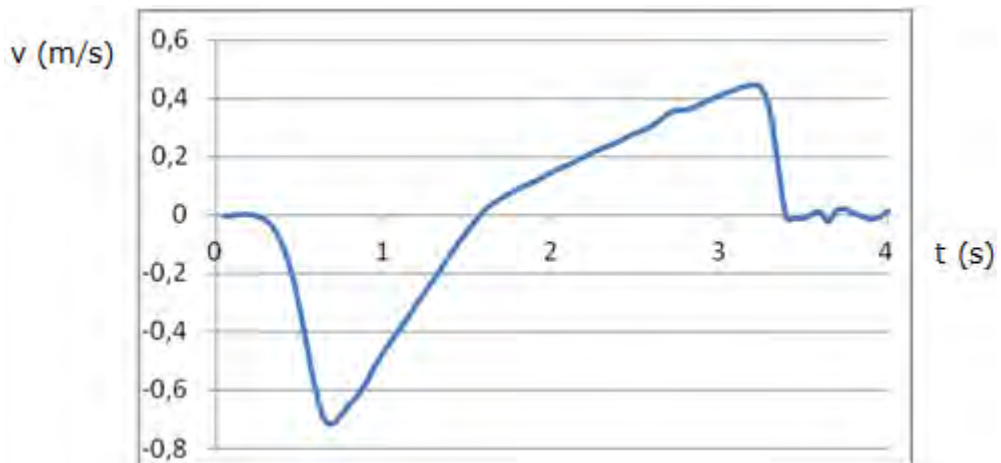


Fig. 3: Gràfica velocitat-temps calculada a partir dels valors mesurats amb el sensor de distància.

Finalment, si representem la gràfica acceleració-temps (figura 4), podem identificar que també hi ha dos períodes amb acceleració constant, que corresponen al moviment d'anada i de tornada del cotxet. No obstant això, en aquesta gràfica són molt més vistosos els "pics" d'acceleració que corresponen a l'instant concret en què el cotxet surt disparat i el moment en què el cotxet s'atura bruscament en tornar a la posició inicial.

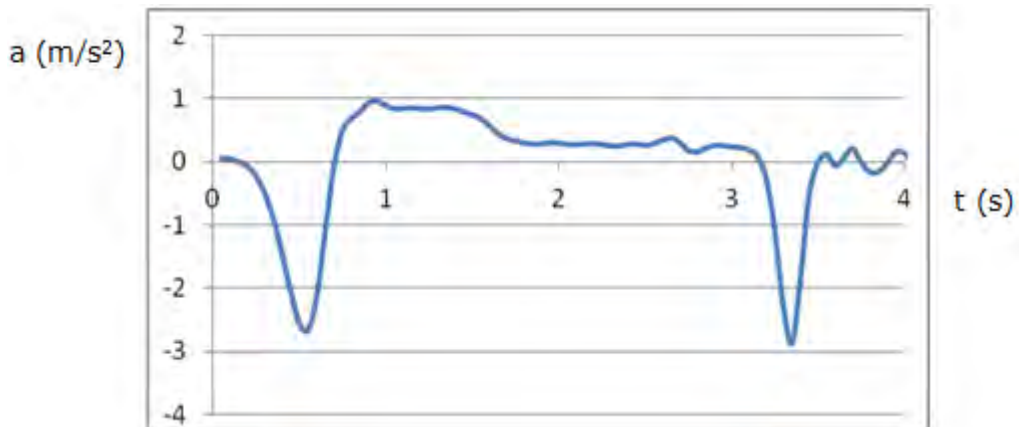


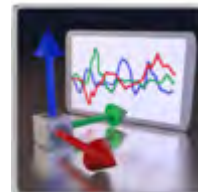
Fig. 4: Gràfica acceleració-temps calculada a partir dels valors mesurats amb el sensor de distància.

3. Mesura de l'acceleració del cotxet a través de l'acceleròmetre del mòbil

En comptes de mesurar la posició del cotxet amb un sensor de distància, també podem utilitzar l'acceleròmetre (que actualment porta incorporat qualsevol aparell mòbil) per

mesurar l'acceleració del cotxet en funció del temps. L'acceleròmetre dels mòbils funciona gràcies a una minúscula peça metàl·lica subjectada mitjançant uns també minúsculs serrells flexibles i elàstics que es deformen amb el moviment de la peça mòbil. A través d'un capacitor diferencial, la flexió d'aquests serrells produeix un senyal elèctric que l'aparell processa per obtenir un valor d'acceleració múltiple de g. De fet, l'acceleròmetre del mòbil permet mesurar

l'acceleració en els tres eixos del mòbil x , y i z , tot i que nosaltres aquesta vegada només ens interessarà conèixer l'acceleració en un únic eix: el de desplaçament del cotxet.



Existeixen múltiples aplicacions disponibles que permeten mesurar l'acceleració de l'aparell mòbil a temps real, totes amb funcionalitats molts semblants. Una d'aquestes és l'aplicació "Accelerometer" (figura 5).

Tal com hem mostrat en la figura 1, hem incorporat un telèfon mòbil a sobre del cotxet de juguina i l'hi hem subjectat per garantir que ambdós cossos es moguin alhora. Un cop fet això, només hem de començar a mesurar l'acceleració i reproduir el mateix moviment, impulsant el cotxet i deixant que aquest faci el moviment d'anada i de tornada. L'aplicació "Accelerometer" no només permet representar gràficament a temps real el valor de l'acceleració, sinó també obtenir els valors en format .txt, tot i que un cop obtingut un arxiu de text, les dades es poden exportar a un full de càlcul. Per fer-ho, cal tenir en compte que prèviament cal substituir els punts per les comes, ja que l'acceleròmetre treballa amb notació anglosaxona (és a dir, utilitza el punt com a separació decimal), mentre que els nostres fulls de càlcul estan configurats per utilitzar la coma com a separació decimal. Un cop fet aquest procés, ja podem representar gràficament l'acceleració mesurada en funció del temps.

Fig. 5: Logotip de l'app "Accelerometer"

En la figura 6 representem els valors d'acceleració obtinguts amb l'acceleròmetre (verd) i els acompanyem amb els valors d'acceleració que hem calculat en la figura 4 a partir del sensor de distància (blau).

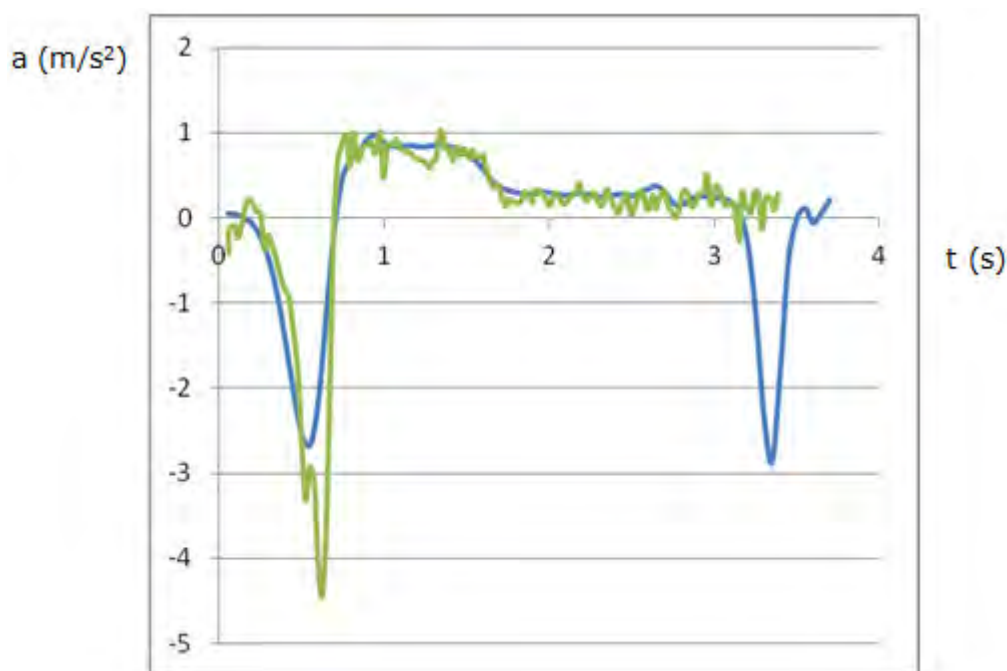


Fig. 6: Gràfica acceleració-temps utilitzant tots dos sistemes.

Tot i que totes dues gràfiques són semblants, a simple vista podríem pensar que la gràfica obtinguda amb l'acceleròmetre del mòbil és molt més irregular i, per tant, més difícil de llegir. No obstant això, cal tenir en compte que a l'escola poques vegades es treballa amb gràfiques acceleració-temps, sinó que el que ens interessa obtenir són les gràfiques de posició i de velocitat. Per fer-ho, haurem de fer dos senzills càlculs.

4. Càlcul de la velocitat i la posició a partir dels valors de l'acceleració.

Donada la relació diferencial $a(t) = \frac{dv(t)}{dt}$ sabem que per calcular la velocitat com a funció

primitiva de l'acceleració hem d'integrar la funció $a(t)$

$$v(t_f) - v(t_0) = \int_{t_0}^{t_f} a(t) dt \quad (1)$$

En el nostre cas, hem de fer una integració numèrica amb el full de càlcul, que podem fer a partir de la relació.:

$$v(t_f) - v(t_0) = \sum_{i=0}^{f-1} \frac{1}{2} \{a(t_i) + a(t_{i+1})\} (t_{i+1} - t_i) \quad (2)$$

Al subíndex f , que a l'expressió (1) vol dir "final", li donem un valor numèric, $f = 1, 2, 3, \dots$. Així obtenim una col·lecció de valors $\{v(t_1), v(t_2), v(t_3), \dots\}$, que constitueixen la gràfica de la velocitat. Considerem que $t_0 = 0$ i anomenem $k_1 = v(0)$. Amb les dades proporcionades per l'acceleròmetre (figura 6 color verd) i considerant que $k_1 = 0$ obtenim una gràfica velocitat – temps com la de la figura 7, que veiem que s'assembla bastant a la gràfica velocitat-temps que veiem en la figura 3.

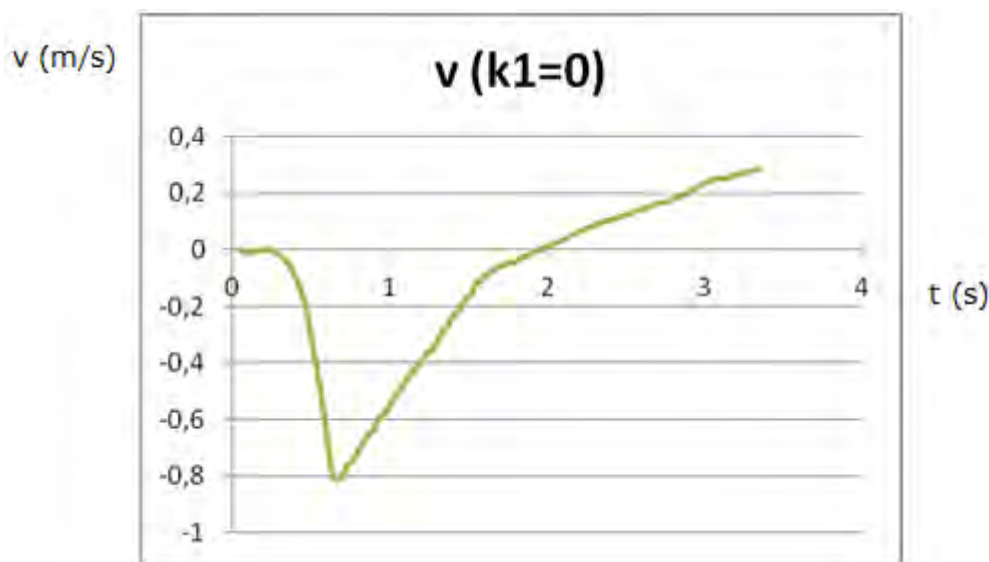


Fig. 7: Gràfica velocitat-temps calculada a partir de la integració numèrica.

No obstant això, en tota integral existeix una constant d'integració (en el nostre cas, k_1) que cal definir a partir de les condicions específiques de la funció primitiva. Per al moviment del cotxet, disposem d'una avantatge: **sabem que la velocitat zero coincideix en el moment exacte en què la funció velocitat-temps canvia de pendent**, ja que recordem que anteriorment hem vist que les forces a l'anada i a la tornada no eren les mateixes i, per tant, l'acceleració resultant dels dos moviments era també diferent.

Això ens permet ajustar la gràfica calculant el valor de k_1 licant en el full de càlcul la relació

$0 = v(t_v) - k_1 \Rightarrow k_1 = v(t_v)$, on t_v és el temps en que es produeix el canvi de pendent. El valor de $v(t_v)$ es pot veure directament a la gràfica de la figura 7. D'aquesta manera obtenim una nova gràfica de la velocitat ajustada que poden veure a la figura 8.



Fig. 8: Gràfica velocitat-temps ajustada a partir de la gràfica anterior.

De la mateixa manera que hem fet amb la velocitat, també podem calcular la posició del cotxet en funció del temps aplicant-hi la relació

$$x(t_f) - x(t_0) = \sum_{i=0}^{f-1} \frac{1}{2} \{v(t_i) + v(t_{i+1})\} (t_{i+1} - t_i) \quad (3)$$

de manera que obtenim la gràfica de la posició en funció del temps com la de la figura 9. En aquest cas, de nou, trobem que la posició $x(t_f)$ depèn de l'origen de coordenades seleccionat. Per tant, hauríem de tornar a ajustar la gràfica mitjançant una segona constant d'integració $k_2 = x(t_0)$.

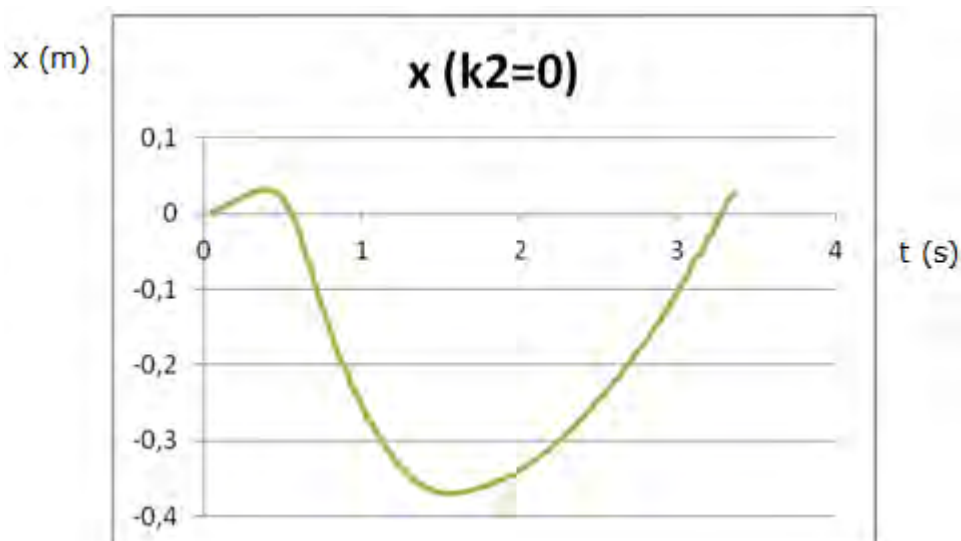


Fig. 9: Gràfica posició-temps calculada a partir de la integració numèrica.

5. Comparació entre els dos sistemes de captació de dades: avantatges i inconvenients de cadascun

Podem comparar la gràfica posició-temps de la figura 2 amb la de la figura 9 i trobem que totes dues tenen un aspecte molt semblant. En el primer cas, les dades enregistrades corresponen a la posició $x(t)$ del cotxet, a partir de la qual s'han calculat $v(t)$ i $a(t)$. En el segon cas, les dades enregistrades corresponen a l'acceleració $a(t)$, a partir de la qual s'ha calculat $v(t)$ i $x(t)$. Quins avantatges i inconvenients té cada sistema de captació de dades?

El principal avantatge del sensor de distància és que permet als estudiants visualitzar la gràfica $x(t)$ a temps real. Això els permet veure com s'està desplaçant el cotxet i alhora com es va dibuixant la gràfica que en descriu la posició. En canvi, utilitzant l'acceleròmetre del mòbil, la gràfica que s'obté a temps real és una gràfica $a(t)$, molt més difícil de llegir, ja que és molt menys intuïtiva. Si es vol obtenir la gràfica $x(t)$, que, de fet, és la gràfica que els estudiants poden interpretar més fàcilment, cal que aquests exportin el document .txt que genera l'app i que obrin un full de càlcul, cosa que fa que es perdi la immediatesa que ofereix el sensor de distància.

Ara bé, el principal avantatge de l'acceleròmetre és que és molt més accessible que el sensor de distància. Aquests dispositius solen ser cars i tot i la dotació que el Departament d'Ensenyament va fer als centres de secundària durant la dècada passada, actualment en molts instituts aquests sensors estan malmesos i utilitzen un programari desfasat. La inversió econòmica que els centres poden fer per adquirir nous sensors es limita a 1 o 2 sensors per institut, cosa que no permet la recollida de dades experimentals en petits grups d'estudiants. En canvi, en la majoria de centres és fàcil trobar un grup d'adolescents en què, com a mínim, un d'ells disposi d'un telèfon mòbil amb l'acceleròmetre incorporat. Un altre avantatge d'utilitzar l'acceleròmetre del mòbil és que, més enllà de la mesura d'aquesta pràctica concreta, permet endinsar-se en la funcionalitat de l'acceleròmetre i en els altres sensors dels dispositius electrònics actuals.

Per acabar, també és interessant poder combinar tots dos sistemes de captació de dades i poder compartir amb els estudiants les reflexions que aquí s'exposen sobre la naturalesa de cada tipus de dades.

6. Dades obtingudes

En el full de càlcul adjunt ([full_calcul.xls](#), [full_calcul.ods](#)) trobem un conjunt de dades enregistrades amb el sensor de distància i, posteriorment, amb l'acceleròmetre del mòbil. L'experiment, tal com he explicat en el text, es repeteix amb les mateixes condicions de manera que els resultats han de ser pràcticament idèntics.

En les diferents columnes del full de càlcul podem observar les fórmules utilitzades per realitzar els càlculs de la velocitat i l'acceleració a partir dels valors de la posició i també del procés d'integració per obtenir la velocitat i la posició a partir de les dades provinents de l'acceleròmetre.

Bibliografia

- Casellas, Tavi, "Smartphones... smartphysica". *Recursos de Física*, 12, (2014). http://www.rffisica.cat/num/num12/article_num=27&pos=3&total=8&art=137.html
- Informació sobre el sensor de posició: <http://www.vernier.com/products/sensors/motion-detectors/md-btd/>
- Informació sobre l'acceleròmetre: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.lul.accelerometer>



[Inici](#)[Com podeu col·laborar?](#)[Subscripció](#)

ISSN: 1988-7930 **DL:** B-31773-2012 **Adreça a la xarxa:** www.RRFisica.cat **Adreça electrònica:** redaccio@rrfisica.cat difusio@rrfisica.cat

Comitè de redacció : Josep Ametlla, Octavi Casellas, Xavier Jaén, Gemma Montanyà, Octavi Plana, Jaume Pont.

Treballem conjuntament : Societat Catalana de Física, Associació de Professores i Professors de Física i Química de Catalunya, XTEC, Universitat Politècnica de Catalunya, Universitat de Barcelona



Aquesta obra està subjecta a una [Llicència de Creative Commons](#)



Programació web: Xavier Jaén i Daniel Zaragoza.

Correcció lingüística: Serveis Lingüístics de la Universitat Politècnica de Catalunya.

Recursos de Física col·labora amb [la baldufa](#) i també amb [ciències](#) Revista del Professorat de Ciències de Primària i Secundària (Edita: CRECIM-UAB)