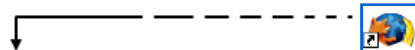




## LES CURSES PER MUNTANYA A LES CLASSES DE FÍSICA: MARATÓ DE LA FAGEDA

Florenci Sales

Des del setembre de 2011, l'Institut La Sènia participa en el projecte d'innovació "Les Curses per muntanya a les classes de Física" (projecte CMCF), que, de manera transversal, combina la física amb aquest esport. Les curses per muntanya han esdevingut una pràctica esportiva popular molt estesa al sud de Catalunya. En concret, a la Sènia (Tarragona) se celebra la Marató de la Fageda, una cursa de 42 km i un desnivell positiu acumulat de 2.430 m que transcorre pel Parc Natural dels Ports. Els alumnes de Física de primer curs de batxillerat de l'Institut La Sènia han treballat les dades d'aquesta cursa, aplicant-hi els coneixements de cinemàtica, dinàmica i energia, estudiats a classe. Els resultats obtinguts s'han publicat en un pòster, presentat uns dies abans de la cursa, perquè els participants poguessin conèixer la cursa amb més detall.



## Guia del professorat

### Projecte CMCF

- CMCF: Curses per muntanya a les classes de Física: <https://sites.google.com/a/xtec.cat/les-curses-de-muntanya-a-les-classes-de-fisica/home>

### Nivell

- Física 1r de batxillerat

### Metodologia

- Els alumnes de primer de batxillerat de Física aprofundeixen en els conceptes de mecànica que han anat descobrint a l'etapa ESO i els apliquen per estudiar la Marató de la Fageda. La metodologia seguida ha estat, primer, explicar els continguts de cada unitat i posar-los en pràctica amb diversos exercicis extrets principalment del llibre de text, i, segon, plantejar activitats d'ampliació amb les dades GPS obtingudes de la cursa. Aquesta segona part és la que correspon al projecte CMCF.
- Els alumnes s'organitzen en grups de treball, ja que la resolució d'aquestes activitats necessita d'una certa capacitat d'indagació i recerca, que pot ser que sigui difícil d'assolir individualment.
- Els enunciats es carreguen al Moodle del grup, amb els enllaços necessaris (a manera de webquest) perquè els alumnes puguin resoldre les qüestions plantejades. A més, s'activa un fòrum públic per respondre dubtes i ajudar els alumnes en el procés de descoberta.

### Temporització

Al llarg del curs de Física de 1r de batxillerat.

#### Primer trimestre: cinemàtica

- Els alumnes han de descarregar una pista (*track*) de GPS generada per un corredor que ha fet el recorregut de la cursa. El fitxer, amb l'extensió **tcx**, es pot obrir com a full de càlcul d'Excel. Cal, primer, que entenguin el significat de les dades i, després, que n'escullin les necessàries. Es demana que l'alumne representi gràficament alçada i velocitat *versus* distància amb un full de càlcul (Excel) i que després redacti un informe amb un processador de textos (Word) en què comentis raonadament la forma d'aquest gràfic.

#### Segon trimestre: dinàmica

- En aquest cas es demana als alumnes que calculin el percentatge de cada pendent (forma habitual d'expressar aquesta magnitud, per exemple per als conductors que circulen per un port de muntanya). Per fer-ho, es fa l'aproximació que una pujada-baixada és un pla inclinat, del qual coneixem la hipotenusa (distància recorreguda mesurada pel GPS) i un dels catets (desnivell mesurat pel GPS). Un cop fet això, també es demana a l'alumne que trobi l'angle corresponent a aquest pendent i, amb la massa del corredor, calculi la component X del pes i raoni les seves implicacions en les pujades i les baixades.
- Es demana que cada grup esculli només una pujada i una baixada del recorregut. El fòrum del Moodle permet que els grups de treball es puguin coordinar i cobrir tota la cursa.

#### Tercer trimestre: energia i pòster resum

- La despesa energètica d'un corredor per muntanya és una dada molt important a l'hora de planificar els entrenaments i les curses. En aquest projecte, es demana als alumnes que estimin l'energia mecànica produïda pel corredor (com a suma d'energia cinètica i potencial), la comparin amb l'energia total gastada (mesurada pel dispositiu GPS) i en treguin conclusions, així com que calculin la

potència mecànica desenvolupada pel corredor. A més a més, els alumnes han de calcular la despesa total d'energia (mètode de Léger-Mercier) i comparar aquests resultats amb els generats pel GPS.

- Cada grup de treball s'ha de centrar en la pujada i la baixada escollides en l'activitat anterior i, un cop tinguin tots els resultats, ha de fer l'avaluació total de l'energia amb tota la classe.
- Finalment, també amb tota la classe, ha de preparar un resum de tot el treball fet en format pòster (100x70 cm) amb un programa de presentacions (PowerPoint).

## Orientacions tècniques

- Les dades GPS s'han obtingut amb un dispositiu Garmin Forerunner 305. Les dades s'extreuen amb fitxers **tcx** que es poden obrir amb l'Excel en format **xml**.
- L'estimació de l'energia cinètica del corredor al llarg d'una cursa s'ha fet a partir de l'aproximació publicada en aquesta pàgina web: <http://sprott.physics.wisc.edu/technote/walkrun.htm> [9 de juliol de 2014].
- L'estimació de la despesa total energètica s'ha trobat a: SOLÉ FORTÓ J. (2008). *Teoría del entrenamiento deportivo*. Barcelona: Sicropat Sport (pàgines 91-92).

## Aplicació del projecte en altres centres

Aquest treball s'ha realitzat íntegrament a l'INS La Sénia, però està inclòs dins del projecte CMCF, que és un projecte cooperatiu entre diversos centres de les Terres de l'Ebre.

L'eix vertebrador del projecte han estat les curses per muntanya, ja que molt a prop de cadascun dels centres que hi participen se celebra una cursa. Això ha permès a professors i alumnes col·laborar i/o participar en les curses, aconseguir dades reals i molt properes, recollir informació de la seva localitat o rodalies, etc. En resum, establir un lligam entre l'alumne i el seu entorn que es pretén que serveixi per motivar-lo en el procés d'aprenentatge.

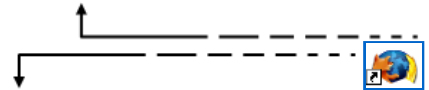
Al llarg dels tres cursos que fins ara s'ha dut a terme el projecte (des de setembre de 2011 fins a juny de 2014), s'han preparat moltes activitats de física, i també d'altres matèries, que ara es poden trobar recopilades en el següent llibre electrònic:

- [Recull d'activitats](#)

Aquest recull d'activitats el poden utilitzar altres centres. Per facilitar aquest ús, també s'en poden sol·licitar els solucionaris al coordinador del projecte:

- [florencisales2@gmail.com](mailto:florencisales2@gmail.com)

A més a més, el projecte es pot aplicar a altres centres d'altres parts de Catalunya, ja que actualment les curses per muntanya són molt populars arreu i és molt probable que se'n celebri alguna a prop dels centres que hi estiguin interessats.



## Full de l'alumnat

### Objectiu

Aplicar conceptes de cinemàtica, dinàmica i energia per a l'estudi de la Marató de la Fageda i publicació d'un pòster amb els resultats.

### Introducció

La física és una ciència experimental i això vol dir que ens serveix per explicar molts dels fenòmens naturals que observem. Un d'aquests és, per exemple, el moviment dels cossos amb les forces i l'energia necessaris perquè es produeixi. En aquest treball aplicarem el que hem après a classe a les dades reals d'un moviment, la cursa per muntanya que es fa a La Sénia. Un cop finalitzat aquest estudi, es presenten els resultats en format de pòster, que servirà per què els participants de la cursa la coneguin amb més detall.

### Material

- Garmin 305 Forerunner
- Pistes (*tracks*) GPS
- Paquet ofimàtic (Microsoft Office)

### Realització

#### Activitat 1. Cinemàtica

- A partir de la pista de la Marató de la Fageda, construïu un gràfic  $v/h/x$  i comenteu-lo. Deseu els fitxers Excel i Word comprimits en un fitxer **rar**.

Recursos que podeu utilitzar:

✓ [Web de la cursa](#) (seguiu l'enllaç, vegeu la figura 1)

✓ [Pista al web de Garmin](#) (seguiu l'enllaç, vegeu la figura 2)



Fig.1: <http://www.maratolafageda.cat/>

## Activitat 2. Dinàmica

Esculliu una pujada i una baixada de la cursa 2013, a partir de les dades la pista. Publiqueu la vostra selecció al fòrum i assegureu-vos que sigui diferent a la dels altres grups. Després calculeu:

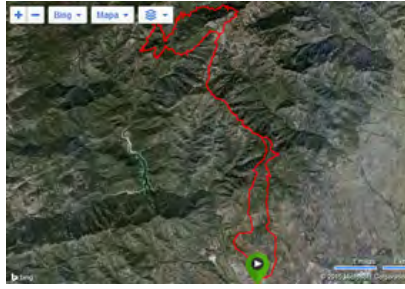


Fig.2:

<http://connect.garmin.com/activity/271247895>

- La velocitat mitjana en aquest tram (m/s i min/km).
- El pendent mitjà (%).
- La inclinació mitjana (en graus).
- La component del pes en la direcció del moviment del corredor de 66 kg de massa i que haurà de vèncer o contrarestar en cas que pugui o baixi respectivament, respectivament.

Presenteu els càlculs i resultats en un fitxer de Word.

Recursos amb informació útil:

<http://www.altimetrias.net/articulos/4ComoPendiente.asp> (seguiu l'enllaç, vegeu la figura 3)



**CÁLCULO DE LA PENDIENTE DE UNA CARRETERA**

Fig.3:

<http://www.altimetrias.net/articulos/4ComoPendiente.asp>

[http://recursostic.educacion.es/gauss/web/materiales\\_didacticos/eso/actividades/geometria/trigonometria/pendiente\\_carretera/actividad.html](http://recursostic.educacion.es/gauss/web/materiales_didacticos/eso/actividades/geometria/trigonometria/pendiente_carretera/actividad.html) (seguiu l'enllaç)

## Activitat 3. Energia

Calculeu l'energia mecànica (suma de cinètica i potencial gravitatòria) que el corredor consumeix al llarg de la pujada i la baixada que heu seleccionat en l'activitat anterior. Calculeu també la potència desenvolupada.

En l'enllaç següent trobareu informació per poder estimar l'energia cinètica:

<http://sprott.physics.wisc.edu/technote/walkrun.htm> (seguiu l'enllaç o a la figura 3 en trobareu el pdf)

## Energetics of Walking and Running

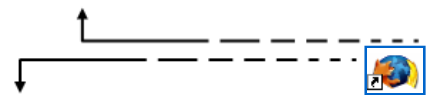
J. C. Sprott

## Activitat 4. Posada en comú

Fig.4: cliqueu per baixar el pdf

Un cop fet això, a classe i amb els resultats de tots el grups, calcularem l'energia total de la cursa i la compararem amb el valor obtingut amb el dispositiu GPS.

Abans d'aquesta sessió, heu de fer una cerca dels mètodes de càlcul de l'energia total que un corredor consumeix en una cursa, per conèixer com els aparells GPS estimen aquesta dada (per exemple: mètode de Léger-Mercier)



## Solucions

### Activitat 1. Cinemàtica.

En primer lloc caldria consultar el web de la cursa per conèixer-la. Es pot trobar tota la informació del recorregut en l'apartat següent.

- <http://www.maratolafageda.cat/la-marato/>

Després s'ha de descarregar la pista (fitxer generat pels dispositius GPS) des del web de Garmin.

- [Pista al web de Garmin](#)

Per poder descarregar-la és necessari donar-s'hi d'alta. El format adequat és el **tcx** ja que és el que conté més dades. A més, aquest web proporciona moltíssima informació sobre el recorregut, que pot ajudar a entendre millor les dades i a realitzar les activitats.

Un cop descarregada, s'ha d'obrir la pista amb l'Excel i escollir l'opció de format **xml**. EL fitxer conté moltes dades però cal triar les que són útils.

Les columnes que s'han d'utilitzar per resoldre les activitats són:

TotalTimeSeconds, DistanceMeters, Calories, Time, AltitudeMeters, DistanceMeters2, Speed

Per construir el gràfic  $(x, v), (x, h)$

(velocitat i alçada en front de la distància) cal seleccionar les columnes Speed i AltitudeMeters i representar-les en front de DistanceMeters2. El gràfic conté 2 eixos  $y$  que amb l'Excel s'aconsegueixen amb l'opció "Dar formato a serie de datos / Opciones de serie / Trazar serie en / Eje secundario". El gràfic inicial que s'obté és el de la figura 5.

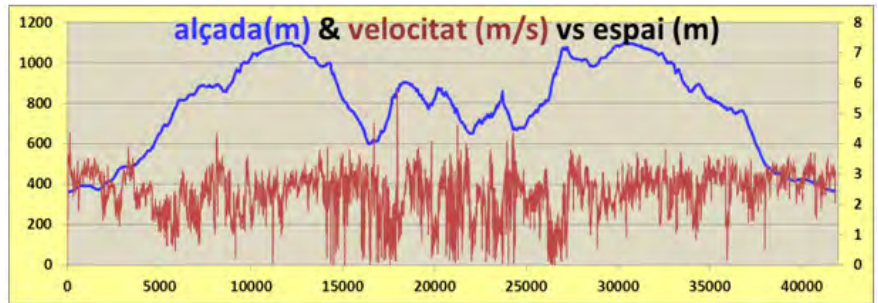


Fig.5:

Com es pot veure els valors de la velocitat incorporen un elevat soroll de fons. Això es deu a la baixa precisió del GPS (1–5 m en les millors condicions) en aquests intervals de distàncies. En concret la pista conté 4339 punts per a una distància de 41838 m, cosa que significa que ha recollit una dada aproximadament cada 10 m.

Per reduir el soroll de fons es pot recórrer a suavitzar les dades; per exemple, amb un algoritme de mitjana mòbil que substitueix cada valor pel valor mitjà d'una finestra de  $n$  valors, la meitat anteriors i l'altra meitat posteriors.

El següent gràfic s'ha obtingut amb una finestra de 21 valors (exemple de fórmula d'Excel:  $X15=\text{promedio}(X5:X25)$ ).

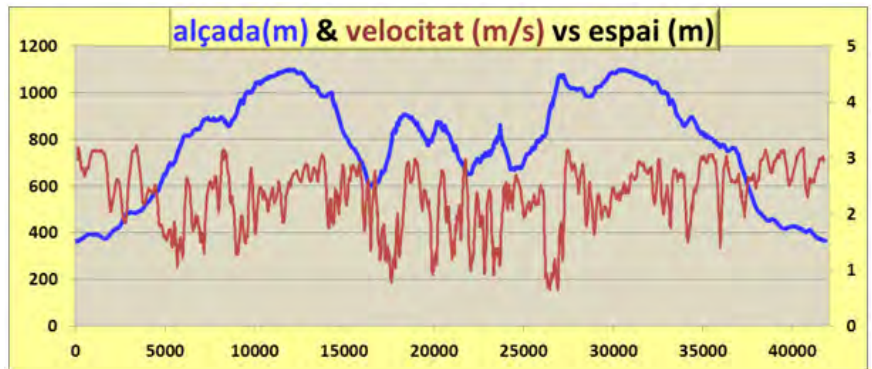


Fig.6:

Pel que fa al comentari del gràfic es pot dir:

- L'alçada vs distància mostra el perfil de la cursa.
- La velocitat en una cursa per muntanya és molt variable, ja que els canvis d'alçada no permeten córrer a ritmes constants.
- Tot i aquesta variabilitat, es poden veure tendències, com són una disminució de la velocitat a les pujades i un augment a les baixades.

## Activitat 2. Dinàmica.

Abans que res, s'han d'identificar les diferents pujades-baixades amb tota la classe. A partir d'aquí, cada grup de treball tria les seves, les publica al fòrum del Moodle i comprova que no coincideixin amb les d'algun altre grup.

Com a exemple, es mostren a continuació tots els càlculs fets per a la primera pujada, entre el Povet del Torril i la Caseta Bernarda. S'ha de començar per extreure de la pista les dades inicials i finals d'aquest tram:

ns1:TotalTimeSe	ns1:DistanceMe	ns1:Calories	ns1:Time	ns1:AltitudeMeters	ns1:DistanceMeters2	ns2:Speed
20148,23	41837,79	2729	2013-02-09T07:00:30.000Z	483	3390	3,22
20148,23	41837,79	2729	2013-02-09T07:36:21.000Z	892	7390	2,10

Fig.7:

Ara ja es poden començar a fer càlculs de cinemàtica:

$$x_1 = 3390 \text{ m} ; x_2 = 7390 \text{ m}$$

$$\Delta x = 7390 - 3390 = 4000 \text{ m}$$

$$t_1 = 7:00:30 = 25230 \text{ s} ; t_2 = 7:36:21 = 27381 \text{ s}$$

$$\Delta t = 27381 - 25230 = 2151 \text{ s} = 36 \text{ min}$$

$$v = \frac{4000}{2151} = 1,86 \text{ m/s}$$

$$v^{-1} = \frac{1}{1,86} = 0,537634 \text{ s/m} = 0,537634 \frac{\text{s}}{\text{m}} \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \frac{10^3 \text{ m}}{1 \text{ km}} = 8,96 \text{ min/km}$$

A continuació es resolten les qüestions relatives a la dinàmica, considerant que la pujada és com un pla inclinat:

$$\Delta x' = 4000 \text{ m}; \Delta y = \Delta h = 892 - 483 = 409 \text{ m}$$

$$\Rightarrow \Delta x = \sqrt{\Delta x'^2 - \Delta y^2} = \sqrt{4000^2 - 409^2} = 3979 \text{ m}$$

$$\text{Pendent mitjà} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{409}{3979} = 10 \%$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right) = \arctan\left(\frac{409}{3979}\right) = 0,107303 \text{ rad} \approx 6^\circ$$

$$P_{x'} = P \sin \theta = 66 \cdot 9,81 \cdot \sin 6^\circ = 66,2 \text{ N}$$

Per entendre millor el significat d'aquesta força, es pot calcular la massa d'un cos que tingui aquest pes. En aquest cas:

$$m = \frac{P_{x'}}{g} = \frac{66,2}{9,81} = 6,7 \text{ kg}$$

Es podria dir que el corredor per vèncer la pujada, fa una força en la direcció del pla amb el mateix mòdul que la que hauria de fer de més (cos a banda) en la direcció vertical, en una superfície plana carregant un sac de 6,7 kg.

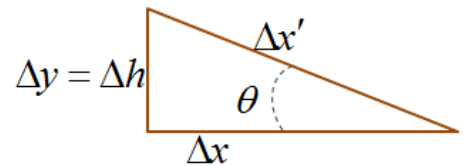


Fig.8:

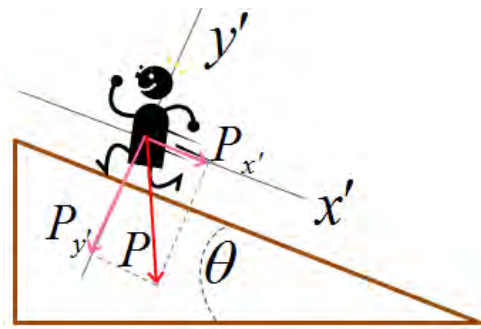


Fig.9:

### Activitat 3. Energia

El càlcul de la despesa (o consum o dissipació) d'energia en una cursa de muntanya es pot dividir en dues parts. La primera seria l'energia dissipada per mantenir la velocitat o energia dissipada cinètica  $E_{DC}$ , que es podria estimar com l'energia consumida per mantenir la velocitat del corredor com si avancés sempre per una superfície plana. La segona seria l'energia dissipada en les pujades i baixades, que correspondria a la dissipació en cada pujada i baixada que el corredor supera al llarg de recorregut. Notem que el nostre cos no té un mecanisme de recuperació d'energia potencial gravitatòria en les baixades, de manera que en les baixades també hi haurà dissipació d'energia a causa essencialment de la manera que té el nostre cos de frenar, com veurem més endavant.

La potència cinètica dissipada  $P_{DC}$  és, segons J.C.Sprot (vegeu la figura 3 o aneu a l'article [\[pdf\]](#) )

$$P_{DC} = \frac{m g v}{4} = \frac{66 \cdot 9,81 \cdot 1,86}{4} = 301,1 \text{ W}$$

I amb la durada es pot saber l'energia dissipada cinètica  $E_{DC}$ :

$$E_{DC} = P_{DC} t = 301,1 \cdot 2151 = 647599,2 \text{ J} = 154,9 \text{ kcal}$$

Pel que fa a la dissipada en les pujades  $E_{DP}$ :

$$E_{DP} = m g \Delta h = 66 \cdot 9,81 \cdot 409 = 264811,1 \text{ J} = 63,3 \text{ kcal}$$

i el consum energètic total ( energia dissipada total):

$$E_D = E_{DC} + E_{DP} = 218,2 \text{ kcal}$$

En cas que ens trobem en una baixada, el càlcul es repeteix, si bé amb una lleugera variant. Tothom ha pogut comprovar que "és més cansat pujar que baixar", però també que "baixant també et canses". Doncs bé, en aquest treball es proposa que quan un corredor baixa ha de fer una força igual i oposada al  $P_x$ , per no caure cap endavant. El nostre cos fa una despesa energètica per fer aquesta força, que anomenem energia dissipada de baixada  $E_{DB}$ . Un valor aproximat d'aquesta energia dissipada és:

$$E_{DB} = m g \sin \theta \Delta h$$

Així, per exemple, per a la baixada Cruïlla Plans - Àrea la Fou:

$$E_{DB} = 66 \cdot 9,81 \cdot \sin(10,7) \cdot 393 = 47243,2 \text{ J} = 11,3 \text{ kcal}$$

que amb una dissipació cinètica de **82,0 kcal** genera una energia dissipada de **93,3 kcal**.

Un cop tenim l'energia, el càlcul de la potència per a la pujada que estudiem és:

$$E_D = 218,2 \text{ kcal} = 912076 \text{ J}$$

$$P_D = \frac{E_D}{t} = \frac{912076}{2151} = 424 \text{ W} = 0,57 \text{ CV}$$

que és un valor dins de l'ordre de les potències desenvolupades pels esportistes que practiquen atletisme.

#### Activitat 4. Posada en comú

Un cop tots els grups de treball han presentat els seus resultats en l'activitat anterior, se sumen totes les energies parcials obtenir una estimació de l'energia dissipada total al llarg de les pujades i baixades de la cursa.

$$E_{Dtotal} = 1330 \text{ kcal}$$

Si es compara aquest valor amb la despesa energètica total que calcula el dispositiu GPS Garmin que s'ha emprat:

$$\frac{E_{GARMINtotal}}{1330} = \frac{2729}{1330} = 49\%$$

Això significa que aproximadament la meitat de l'energia total consumida pel cos del corredor es consumeix al llarg de les pujades i les baixades. La resta, un 20% aproximadament es gasta per córrer els trams que no s'han calculat (considerant la superfície plana i la velocitat mitjana de tota la cursa) i, l'altra part de l'energia es perd en forma de calor i suor a través de la pell.

Per acabar, el treball es planteja investigar com els aparells GPS calculen la despesa energètica. Després d'una recerca sobre aquest tema, es troba el mètode de Léger-Mercier que realitza el càlcul a partir dels mateixos paràmetres inicials amb què ho ha fet l'aparell GPS Garmin utilitzat en aquest cas, que són la distància a recórrer, la velocitat mitjana i la massa corporal que es desplaça.

D'acord amb la bibliografia, es calcula la velocitat mitjana en metres per minut:

$$v = \frac{41838}{335,8} = 124,6 \text{ m/min}$$

Llavors es busca el consum energètic en funció de la velocitat (taula de Léger i Mercier). Per a aquesta velocitat és  $1,046 \frac{\text{kcal}}{\text{kg km}}$ .

Es multiplica aquest valor per la massa del corredor i la distància en quilòmetres:

$$1,046 \cdot 66 \cdot 41,838 = 2888 \text{ kcal}$$

Com es pot veure, aquest valor d'energia total consumida de **2888 kcal** és molt semblant al que estima el GPS de **2729 kcal**. Amb això es pot concloure que aquest aparell utilitza un algoritme semblant al de Léger-Mercier.



Fig.10: pòster

Finalment, al següent enllaç es pot consultar el pòster resum de totes aquestes activitats publicat al web del projecte CMCF.

- [Enllaç al pòster](#)



## Sumari

◀ 5/8 ▶

[Inici](#)

[Com podeu col·laborar?](#)

[Subscripció](#)

**ISSN:** 1988-7930 **DL:** B-31773-2012 **Adreça a la xarxa:** [www.RRFisica.cat](http://www.RRFisica.cat) **Adreça electrònica:** [redaccio@rrfisica.cat](mailto:redaccio@rrfisica.cat)  
[difusio@rrfisica.cat](mailto:difusio@rrfisica.cat)

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

**Treballen 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)