

Spain

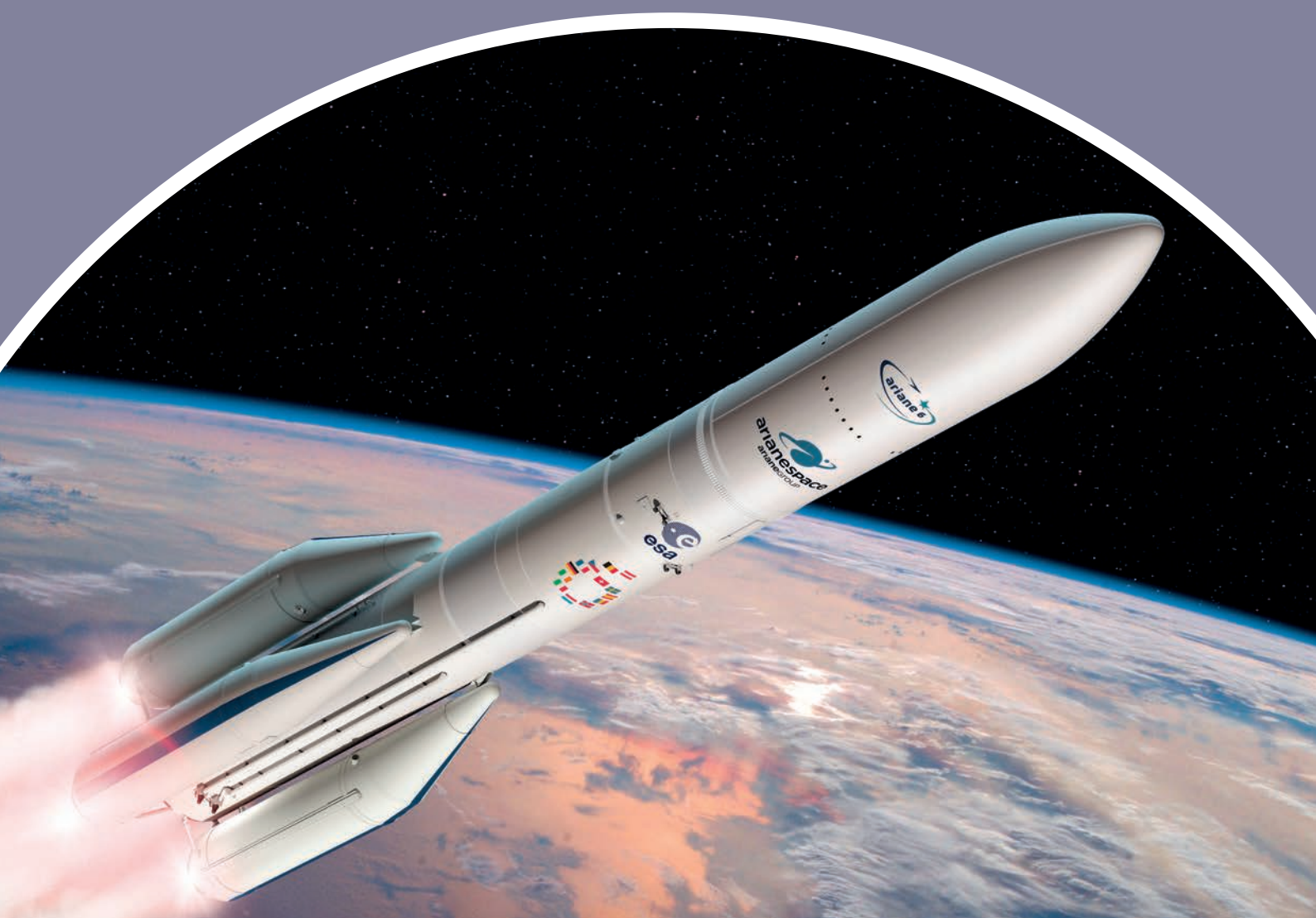


ENGINYERIA D'ASTRONAUS  
Naus espacials en òrbita

IA-SB-02-C

# 3, 2, 1, ens enlairem!

Construeix el teu propi coet de paper



**C**omença el compte enrere! Amb aquesta sèrie de 3 activitats, l'alumnat dissenyarà i construirà els seus propis coets amb l'objectiu final de llançar-los. Aprenderà què necessita un coet per tenir estabilitat i en calcularà la trajectòria i la velocitat. Descobrirà quina velocitat es necessita per sortir de la Terra en coet i per què la Lluna té el potencial de convertir-se en trampolí intermedi per prosseguir amb l'exploració espacial. Finalment, cada grup de treball calcularà l'acceleració del coet durant el llançament i situarà aquesta dada dins del context de la força g que suporten els astronautes durant el llançament.

## SUMARI

|           |                                          |
|-----------|------------------------------------------|
| <b>3</b>  | Dades bàsiques                           |
| <b>4</b>  | Introducció                              |
| <b>6</b>  | Activitat 1. Construeix un coet de paper |
| <b>9</b>  | Activitat 2. Llança el coet              |
| <b>14</b> | Activitat 3. Vol espacial tripulat       |
| <b>15</b> | Fitxes de treball per a l'alumnat        |
| <b>26</b> | Annexos                                  |
| <b>31</b> | Enllaços d'interès                       |

IA-SB-02-C

### 3, 2, 1, ens enlairem!

Construeix el teu propi coet de paper

1ª Edició. Juny 2020

Guia per al professorat

Ciclw  
Secundària i batxillerat

Edita  
ESERO Spain, 2020 ©  
Parque de las Ciencias. Granada

Traducció  
Mercè Pallarols i Hortal

Direcció  
Parque de las Ciencias, Granada.

Crèdits de la imatge de portada:  
Vista artística de la configuració d'Ariane 6 utilitzant quatre reforços (A64).  
ESA - D. Ducros

Crèdits de la imatge de la col·lecció:  
NASA/ESA/ATG Medialab

Basat en la idea original:  
3...2...1 LIFT-OFF!  
Building your own paper rocket  
Col·lecció "Teach with space". ESA Education

Concepte desenvolupat per:  
ESERO Nordic i ESERO Poland



## Objectius didàctics



- Saber què és el centre de masses i el centre de pressió.
- Investigar sobre el moviment d'un projectil i les paràboles.
- Calcular la velocitat i l'acceleració.
- Entendre les forces.
- Potenciar el pensament científic i la capacitat per al treball en equip.



**2 hores**

### **Matèria**

Física

### **Interval d'edats**

De 14 a 16 anys

### **Tipus d'activitat**

Per a l'alumnat

### **Dificultat**

Mitjana

### **Cost per activitat**

Baix (de 5 a 10 €)

### **Lloc per realitzar l'activitat**

Interior i exterior

### **Termes clau**

Física, coets, moviment parabòlic, aerodinàmica, centre de masses, centre de pressió, velocitat d'escapament, velocitat orbital, velocitat, acceleració

### **Inclou l'ús de**

Sistema de llançament de creació pròpia

# 3, 2, 1, ens enlairem!

## Introducció

- Les agències espacials utilitzen coets regularment: per enviar tripulacions a l'Estació Espacial Internacional (ISS), per llançar a l'espai sondes que exploren el Sistema Solar i per col·locar satèl·lits en òrbita al voltant de la Terra. Els coets utilitzats són diversos pel que fa a mida, disseny i tipus de combustible que utilitzen, i tot depèn de la finalitat de cada un d'ells.

La família de vehicles llançadors d'ESA inclou els coets Vega, Vega-C i Ariane 5. Actualment s'està desenvolupant un nou coet més eficient per al llançament de satèl·lits i sondes: Ariane 6 (amb les variants Ariane 62 i Ariane 64).

Aquests vehicles de llançament estan capacitats per enviar a l'espai gran diversitat de missions: des de satèl·lits de comunicacions fins a missions per explorar el Sistema Solar. Els seus potents motors proporcionen l'energia necessària per escapar de la gravetat terrestre.

ESA llança els seus coets des del port espacial que té a la Guaiana Francesa, a l'Amèrica del Sud, situat tan sols a 500 km al nord de l'equador. L'equador terrestre és el lloc del planeta on la rotació de la Terra és més veloç, i els coets poden aprofitar aquest efecte d'«ona gravitacional». Això incrementa en 460 m/s la velocitat del coet, fet que estalvia combustible i diners. Aquest emplaçament també és perfecte per enviar objectes a òrbites de transferència geoestacionària, ja que obliga a imprimir pocs canvis en la trajectòria del satèl·lit. La seguretat és un altre dels aspectes que es tenen en compte a l'hora d'escollir un lloc de llançament. La Guaiana Francesa és un lloc poc poblat on el 90 % del territori està cobert per sel·les tropicals. A més, en aquest país no hi ha risc de ciclons ni de terratrèmols. Tots aquests factors converteixen el port espacial de l'ESA en un punt de llançament òptim.

Per arribar a la Lluna amb una missió tripulada, s'ha de llançar un coet potent! Un dels coets més potents que s'ha llançat mai és el Saturn V, que va portar l'ésser humà a la Lluna durant el programa Apollo de les dècades de 1960 i 1970. Des de llavors, ningú ha tornat a trepitjar la Lluna.



Una nova generació de coets arribarà amb el llançament de la nau espacial Orion de la NASA, combinada amb el mòdul de servei europeu que està desenvolupant l'ESA. Ambdós permetran enviar persones a llocs més allunyats en l'espai que la Lluna, fins al cinturó d'asteroides o fins i tot Mart.

Amb aquesta sèrie d'activitats, l'alumnat es transformarà en enginyer aeroespacial i llançarà un coet de fabricació pròpia per tornar a anar a la Lluna! ●



A dalt: Orion acoblat al mòdul de servei europeu.

...

Dreta: «Família» de vehicles de llançament de l'ESA.



## ACTIVITATS

### 01

#### CONSTRUEIX UN COET DE PAPER

##### Descrició

Dissenyar i construir un coet de paper.

##### Resultat

Aprendre sobre coets, aerodinàmica, centre de masses i centre de pressió i què confereix estabilitat a un coet.

##### Requisits

Cap

##### Temps

30 minuts



## ACTIVITATS

### 02

#### LLANÇA EL COET

##### Descrició

Llançar el coet, calcular la velocitat inicial en el moment en què surt de la plataforma de llançament. Relacionar-ho amb la velocitat d'escapament de la Terra i de la Lluna.

##### Resultat

Aprendre sobre forces, moviment de projectils, velocitat i velocitat d'escapament.

##### Requisits

Haver realitzat l'activitat 1. Comptar amb un sistema de llançament (annexos 1 i 2). El llançament s'haurà de realitzar en un espai obert, preferiblement a l'aire lliure.

##### Temps

45 minuts



## ACTIVITATS

### 03

#### VOL ESPACIAL TRIPULAT

##### Descrició

Calcular l'acceleració del coet de paper a mesura que puja. Relacionar-la amb la força g que experimenten els astronautes.

##### Resultat

Aprendre sobre acceleració i força g.

##### Requisits

Haver realitzat l'activitat 2.

##### Temps

45 minuts



## ACTIVITAT 1

# Construeix un coet de paper



30 min.

Exercicis

1

En aquesta activitat, l'alumnat construirà un coet de paper. Localitzarà el centre de masses i el centre de pressió i procurarà que el coet sigui com més aerodinàmic millor. Comprovarà l'estabilitat del coet i es plantejarà quines variables del seu disseny influiran en el seu funcionament.

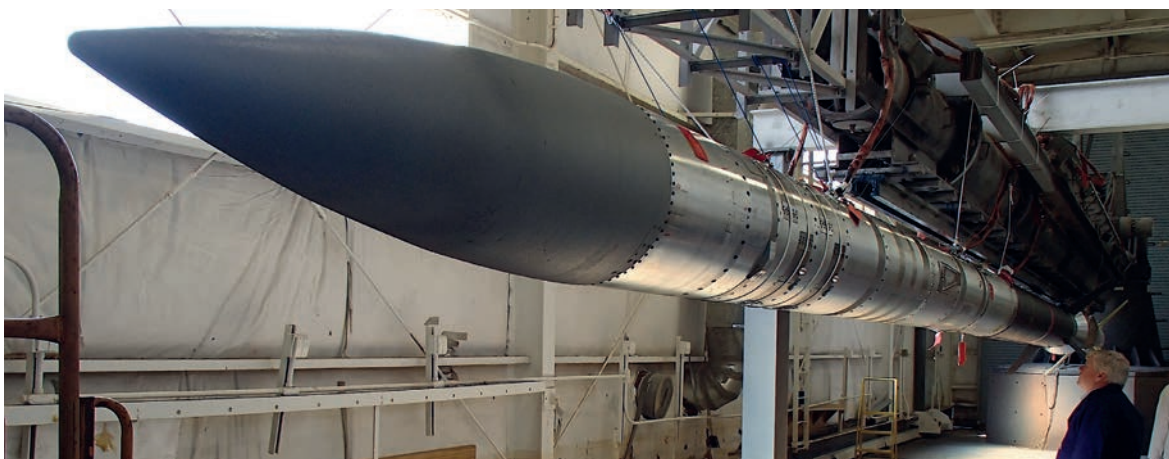
## MATERIAL NECESSARI

- Una còpia de la fitxa de treball d'aquesta activitat
- 2 fulls de paper de mida A4
- Tisores
- Cinta adhesiva

- Plastilina
- Una cartolina
- Plantilla per les aletes i el con del morro (opcional) (Annex 3)

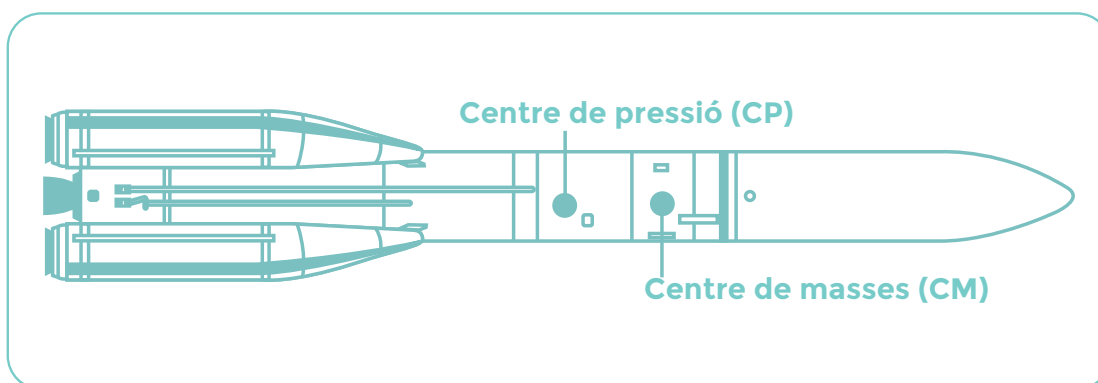
e1

- 1 Divideix la classe en grups amb un màxim de tres estudiants i demana'ls que construeixin un coet amb els materials proporcionats. És important recalcar que el cos del coet s'ha d'acoblar bé amb el sistema de llançament que s'hagi preparat. L'alumnat haurà de ser creatiu amb el disseny del coet i decidir per si sol la mida i el nombre d'aletes que portarà el vehicle. Tot i així, l'annex 3 conté plantilles per elaborar les aletes i el con del morro a mode d'orientació.
- 2 Demana a l'alumnat que localitzi el centre de masses (CM) del coet confeccionat. El CM es correspon amb la posició mitjana de tota la massa que conforma un sistema, de manera que podran trobar aquell punt si usen una corda per equilibrar el coet. Nota: en alguns textos el centre de masses pot aparèixer mencionat com a «centre de gravetat».



NASA

- 3 Demana a l'alumnat que localitzi el centre de pressió (CP) del coet confeccionat. El centre de pressió és el centre geomètric del coet on actuen totes les forces aerodinàmiques. Si el coet fos homogeni per dins, el CM i el CP coincidirien. Podem trobar el CP sumant cada una de les forces que actuen sobre les ales, les superfícies de la cua, la resistència aerodinàmica, etc., però potser serà difícil de calcular. Una manera senzilla de localitzar un centre de pressió aproximat consisteix en extreure en cartolina la silueta del coet i equilibrar-lo sobre un sortint. Això permet localitzar el punt d'equilibri de l'àrea projectada.
- 4 L'alumnat haurà de senyalar en el seu coet tant el CM com el CP i reflexionar sobre la relació que mantenen aquests punts crucials. Demana als estudiants que realitzin una prova d'oscil·lació i que valorin com afecta a l'estabilitat del coet la posició i la relació entre el CM i el CP.
- 5 Dona a classe un exemple sobre on s'hauria d'ubicar el CM i el CP per aconseguir un coet de paper estable.



**6**

**DIRECCIÓ DE L'OSCIL·LACIÓ**

Diagrama que mostra tres configuracions d'un coet de paper i la direcció de l'oscil·lació:

- Vol estable, el morro apunta cap endavant. El CM es troba davant del CP. L'exemple mostrat estaria en aquesta situació, que és la configuració ideal.** (El coet està orientat cap endavant amb una fletxa vermella que indica la direcció de l'oscil·lació cap endavant).
- Volteig lateral. El CM està massa a prop del CP.** (El coet està orientat lateralment amb una fletxa vermella que indica la direcció de l'oscil·lació cap endavant).
- El coet vola cap enrere. El CP es troba a davant del CM.** (El coet està orientat cap enrere amb una fletxa vermella que indica la direcció de l'oscil·lació cap endavant).

A1

e1

- 7 A la següent taula, hi consten algunes variables que es poden canviar en el disseny i el llançament del coet.

| VARIABLE                          | COM INFLUEIX EL CANVI D'AQUESTA VARIABLE EN EL FUNCIONAMENT DEL COET?                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Nombre d'aletes</b>            | Repercutirà en el centre de masses, ja que s'afegeix més pes a la part posterior del coet. També pot alterar la posició del centre de pressió si canvia l'àrea projectada. Si el nombre d'aletes és asimètric, també pot afectar l'estabilitat i la resistència aerodinàmica.                    |
| <b>Mida i forma de les aletes</b> | Unes aletes més grans desplaçaran el centre de pressió cap enrere.                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Condicions atmosfèriques</b>   | Diferents condicions atmosfèriques afavoriran o compliran de manera diversa els llançaments segons el disseny del coet. Per exemple, un coet amb aletes molt allargades serà més susceptible a vents intensos. En general, els coets de paper no funcionen bé amb vent i encara menys amb pluja. |
| <b>Longitud del coet</b>          | La longitud del coet repercutirà en el centre de pressió. Així mateix, si el coet és massa curt, pot perdre propietats aero-dinàmiques. O també pot ser tan llarg que l'estructura no s'aguanti (ja que està fet de paper).                                                                      |
| <b>Pes del coet</b>               | La distribució del pes del coet determinarà el centre de masses. Un con de morro pesat desplaçarà el CM cap endavant. Això es pot aconseguir col·locant plastilina en el morro.                                                                                                                  |

**Nota:** si la classe disposa d'ordinadors, es pot descarregar l'eina gratuïta de simulació del coets: <https://openrocket.info/>. En aquesta simulació, l'alumnat podrà fer proves amb les dimensions i el disseny dels seus coets i indagar en la relació entre el centre de masses i el centre de pressió.

## ACTIVITAT 2

# Llança el coet

En aquesta activitat l'alumnat descobrirà que les matemàtiques són una part integral de la ciència aeroespacial. Aprendreà sobre forces i haurà de dibuixar diagrames de cos lliure. Tant abans com després del llançament, considerarà la trajectòria del coet i realitzarà càlculs relacionats amb la velocitat.



45 min.

Exercicis

1

## MATERIAL NECESSARI

- Una còpia de la fitxa de treball d'aquesta activitat per grup
- Sistema de llançament (vegeu annexos 1 i 2)
- Coet de paper fet pel grup
- Cinta mètrica molt llarga
- Transportador d'angles (opcional)

## SEGURETAT

Assegura't que no hi ha ningú a la zona de llançament. No apuntis a ningú amb el coet. Convé protegir-se els ulls amb ulleres especials.

## EXERCICI

Per llançar els coets procura disposar de molt espai i d'una superfície plana (un camp de futbol seria òptim). Si utilitzes la plataforma de llançament de **l'annex 2**, els coets poden arribar a pujar 100 m o més! Avisa l'alumnat que la pressió màxima no pot ser superior a 7 bars.

Deixa que l'alumnat debati sobre el millor angle per al llançament. Més endavant, en l'apartat de posada en comú, pots parlar sobre l'angle òptim per arribar a la màxima distància. Una possibilitat és que tots els grups realitzin el llançament amb el mateix angle per poder comparar els coets i determinar quin és millor, o també pots deixar que cada grup provi de llançar el coet amb angles diferents per trobar l'opció òptima.

El llançament pot convertir-se en un concurs que premii els equips amb els coets que arribin més lluny.

A **l'annex 3** hi ha una taula per anotar la distància recorreguda per cada coet (aquesta informació es necessitarà més endavant).

e1

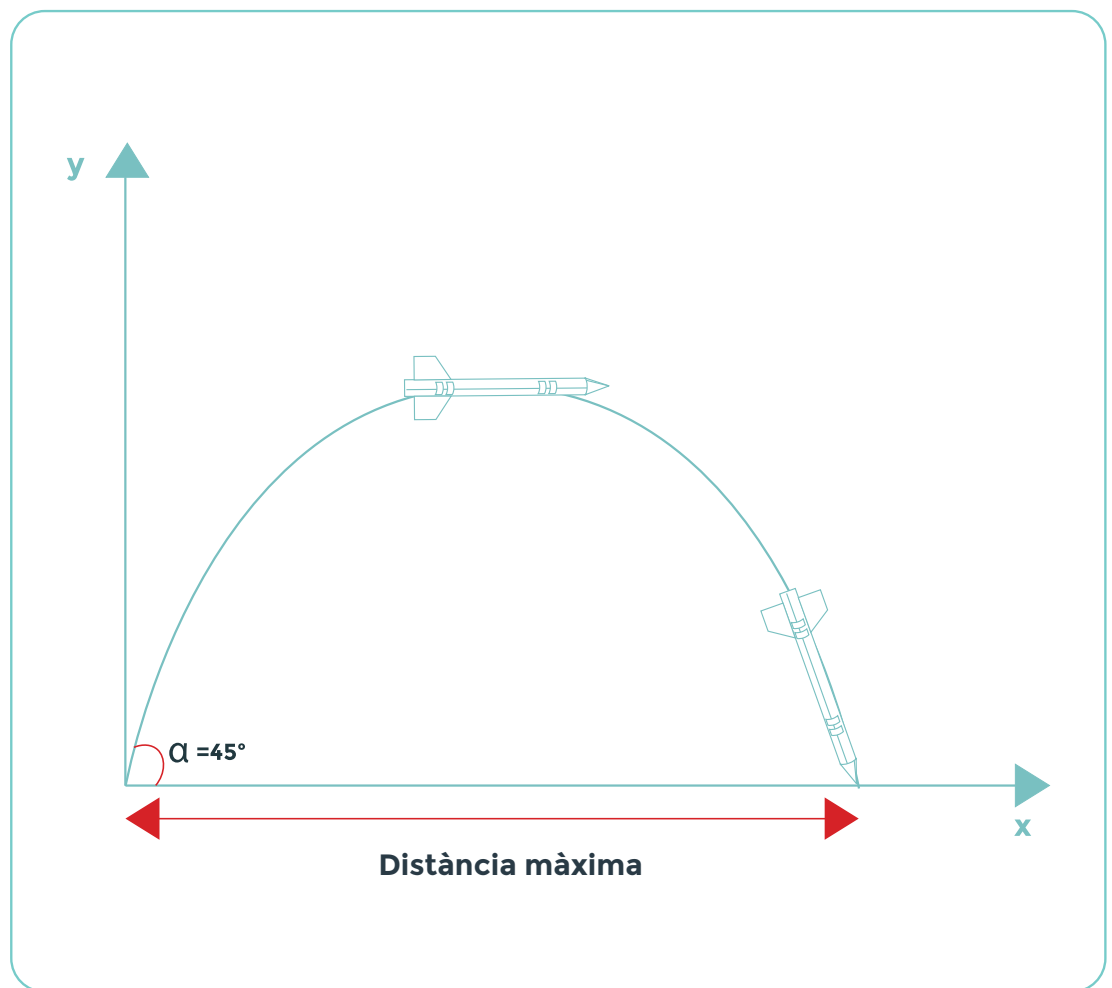
A2

Després dels llançaments, comenta a classe com s'acceleren els coets cap amunt i per què segueixen una trajectòria parabòlica. Fes una introducció a les tres lleis de la dinàmica de Newton i a la força de la gravetat. Aprofita per introduir els conceptes de velocitat d'escapament i de velocitat orbital i compara el llançament dels coets de paper amb el llançament d'un coet real amb destí a la Lluna.

r

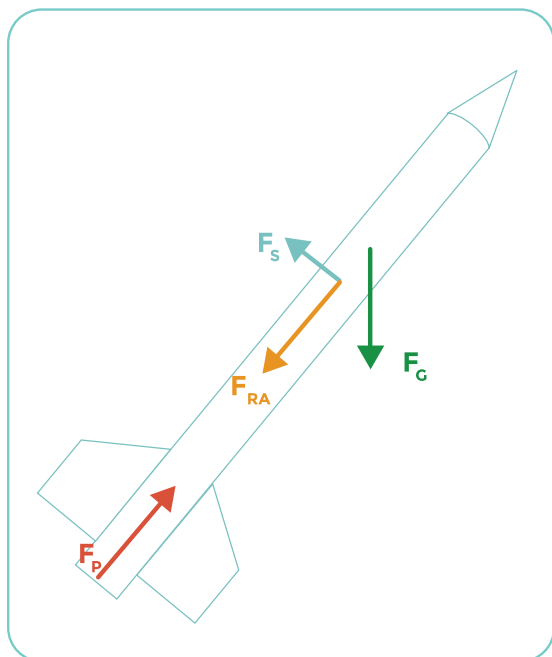
## RESULTATS

- 1 Esquema de la trajectòria que seguirà el coet.



- 2 Per maximitzar la distància recorreguda, el llançament s'hauria de fer amb un angle de 45°.
- 3 Condicions inicials que poden influir en la trajectòria del coet.
  - Vent
  - Velocitat inicial impresa al coet
  - Angle de llançament

- 4 Diagrama de forces que il·lustra les forces que actuen sobre el coet de la il·lustració superior en la fase de propulsió.



### $F_P = \text{Propulsió}$

La força de propulsió del coet només actuarà al llarg d'un espai de temps molt breu durant el llançament, mentre imprimeix empeny el coet. Aquesta força és la que fa que el coet surti volant.

### $F_G = \text{Força de la gravetat}$

La força de la gravetat serà aproximadament constant durant tot el vol.

### $F_{RA} = \text{Resistència aerodinàmica}$

La resistència aerodinàmica depèn de la densitat, la viscositat i la compressibilitat de l'aire, així com de la velocitat, la forma i la inclinació del coet.

### $F_S = \text{Sustentació}$

La sustentació depèn de la densitat, la viscositat i la compressibilitat de l'aire, així com de la velocitat, la forma i la inclinació del coet. Per a aquesta activitat, considerarem insignificant aquesta força.

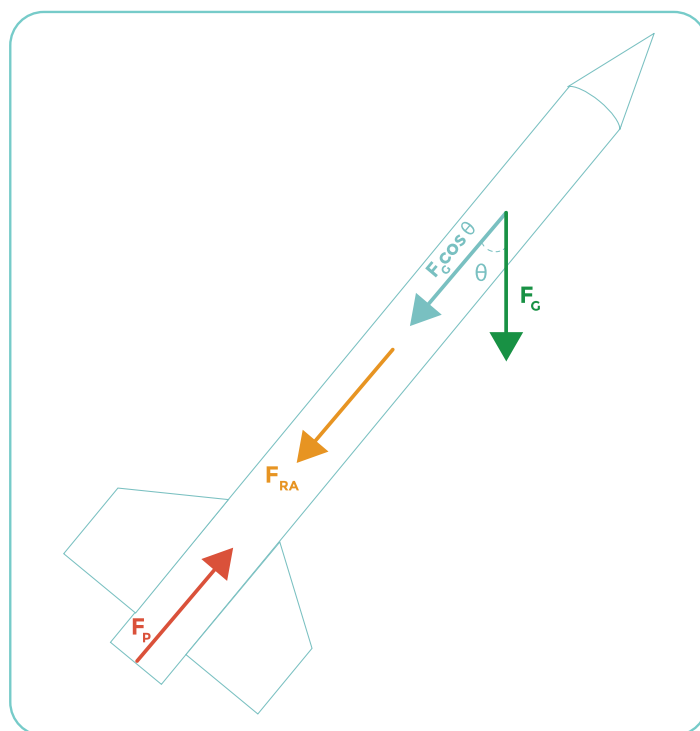
- 5  
**A** Amb un coet real de l'ESA (com un Ariane 5) aquesta fase durarà uns quants minuts, mentre que amb el coet de paper durarà amb prou feines un segon.  
**B** Na direcció do movimento, a forza resultante,  $F$ , vén dada por:

$$F = F_{RA} + F_P - F_G \cos \theta$$

On  $F$  és:  $F = ma$ , essent  $m$  la massa, i  $a$  l'acceleració.

On  $F_P$  és:  $F_P = -u_e \frac{dm}{dt}$ , essent  $u_e$  la velocitat d'escapament dels gasos pel que fa al coet, i  $\frac{dm}{dt}$  és el ritme al qual canvia la massa del coet.

On  $F_G \cos \theta$  és la força deguda a la gravetat en la direcció del moviment del coet.  
 $F_G = mg$ , essent  $m$  la massa i  $g$  l'acceleració.



A2

r

ció gravitatòria, mentre que  $\theta$  és l'angle que mantenen la direcció del moviment del coet i la direcció de  $F_G$ .

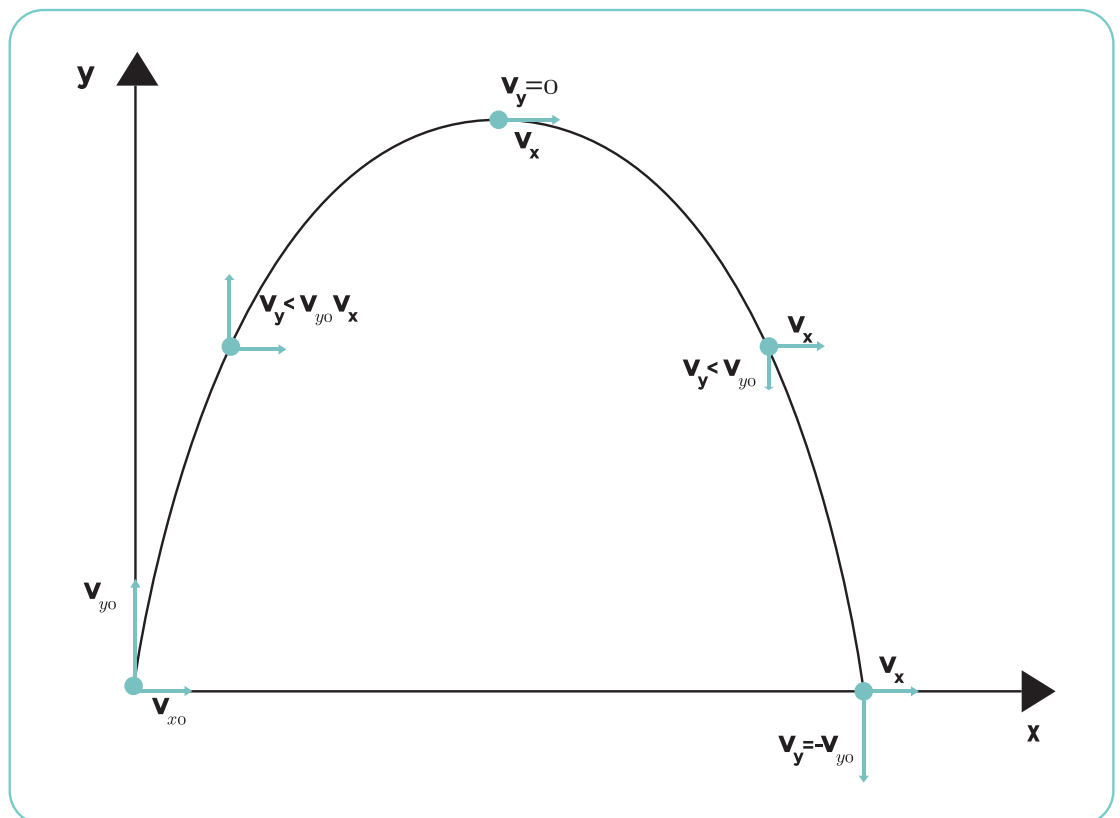
On  $F_{RA}$  és la força de resistència aerodinàmica.

- C** En substituir aquests termes i dividir entre  $m$  s'obté l'acceleració:

$$a = -\frac{F_{RA}}{m} - \frac{u_e}{m} \frac{dm}{dt} - g \cos(\theta)$$

6

- A** Gràfica amb les components horitzontal i vertical de la velocitat. Anima l'alumnat a reflexionar sobre les forces que actuen sobre el coet en cada punt i a què es deuen els resultats en el moviment parabòlic observat.



- B** El coet s'accelera amb rapidesa durant la fase de propulsió mentre és a la plataforma de llançament. Un cop el coet surt de la plataforma, deixa d'haver-hi propulsió. Si s'ignora la resistència, això significa que no actua cap força sobre l'eix  $x$  del coet, de manera que, segons la llei de Newton, la component  $x$  de la velocitat ( $v_x$ ) és constant. A l'eix  $y$ , la força de la gravetat actua sobre el coet en direcció al centre de la Terra (perpendicular a la superfície), així que la component  $y$  de la velocitat ( $v_y$ ) canviarà.

- 7 Ara aïllem la velocitat dins de l'equació:

$$v = \sqrt{\frac{d g}{\sin(2\alpha)}}$$

- 8 Si introduïm una distància  $d = 40$  m, i un angle  $\alpha = 45^\circ$ :

$$v = \sqrt{\frac{40 \times 9.81}{\sin(2 \times 45^\circ)}}$$

$$v = \sqrt{\frac{392.40}{1}} = 19.81 \text{ m/s}$$

- 9

$$v = \left(\frac{19.81}{1000}\right) \times 60 \times 60 = 71.3 \text{ km/h}$$

- 10 La velocitat d'escapament de la Terra es pot calcular de la següent manera:

$$v_e = \sqrt{\frac{2 \times 6.67 \times 10^{-11} \times 5.97 \times 10^{24}}{6.371 \times 10^6}} = 1.12 \times 10^4 \text{ m/s} = 4.03 \times 10^4 \text{ km/h}$$

- 11 La velocitat requerida per posar una nau en òrbita al voltant de la Terra a 300 km d'altitud sobre la superfície del planeta és:

$$v_{\text{orbital}} = \sqrt{\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 5.97 \times 10^{24}}{6.371 \times 10^6 + 3.00 \times 10^5}} = 7.73 \times 10^3 \text{ m/s} = 2.78 \times 10^4 \text{ km/h}$$

On  $r$  és el radi de l'òrbita (des del centre de la Terra), que equival a  $6.371 \text{ km} + 300 \text{ km}$ .

- 12 Comparat amb l'exemple del punt 8, això és  $2.78 \times 10^4 / 71.3 = 390$  vegades més gran que la velocitat del coet construït en paper.
- 13 La velocitat d'escapament de la Lluna és molt més baixa, ja que la Lluna té una quantitat de massa considerablement menor que la Terra en relació amb el seu radi.
- 14 La velocitat d'escapament de la Lluna se pot calcular de la següent manera:

$$v_e = \sqrt{\frac{2 \times 6.67 \times 10^{-11} \times 7.35 \times 10^{22}}{1.737 \times 10^6}} = 2.38 \times 10^3 \text{ m/s} = 8.57 \times 10^3 \text{ km/h}$$

- 15 Com que la velocitat d'escapament és més baixa a la Lluna, es necessita una energia molt inferior (i, per tant, molt menys combustible) per llançar una nau a l'espai des de la Lluna, fet que facilita el llançament de càrregues útils des de la superfície lunar.

A2

pc

**POSADA EN COMÚ**

Extraieu un resum dels resultats a classe. Quines decisions va prendre cada grup perquè el seu coet arribés més lluny? Van funcionar? Per què sí o per què no?

Pregunta a classe per què podria ser útil llançar coets des de la Lluna per arribar a llocs més llunyans de l'espai, com ara Mart. Explica que, com que la velocitat orbital i la velocitat d'escapament són molt menors a la Lluna que a la Terra, es necessitaria menys combustible, fet que implicaria llançaments molt menys costosos. També es pot plantejar per què els coets es llancen des d'emplaçaments pròxims a l'equador terrestre tenint en compte la informació de la introducció.

Comenta els detalls que s'han simplificat i que s'han donat per fet per realitzar els càlculs. Per exemple, no hem tingut en compte cap desacceleració deguda a la resistència aerodinàmica, que augmentarà a mesura que creixi la velocitat. Planteja a classe en quin moment i lloc creu l'alumnat que afectarà més la resistència aerodinàmica al coet. Les velocitats d'escapament i orbital a la Terra resulten, per tant, més grans del que s'ha calculat. Comenta que aquesta és una altra dels avantatges que ofereix la Lluna, ja que, com que no hi ha atmosfera, no hi ha resistència de l'aire i, en conseqüència, és més fàcil sortir a l'espai.

## ACTIVITAT 3

# Vol espacial tripulat

En aquesta activitat l'alumnat aprendrà sobre l'acceleració, forces i la força  $g$ . Analitzarà per què s'han de prendre precaucions addicionals per llançar coets tripulats.



45 min.

Exercicis

1

## EXERCICI

Inicia l'activitat preguntant a classe com s'acceleren els coets cap amunt. Aquesta és una ocasió excel·lent per parlar sobre les tres lleis de la dinàmica de Newton i la força deguda a la gravetat terrestre.

## RESULTATS

- 1 Si aïllem el temps ( $t$ ) a les equacions (1) i (2), obtenim:

$$\frac{2s}{u+v} = \frac{v-u}{a}$$

- Si d'aquí aïllem  $a$ , s'obté:

$$a = \frac{v^2 - u^2}{2s}$$

- 2 La velocitat inicial del coet és  $u = 0$  m/s. Si utilitzem la velocitat del llançament que hem calculat al punt 8 de l'activitat 2, llavors s'obté:

- 3 Demana a l'alumnat que calculi la força  $g$  del coet durant el llançament. La força  $g$  no és una força, sinó més aviat el quocient entre l'acceleració total que experimenta un objecte i l'acceleració deguda a la gravetat terrestre. Usant la resposta anterior, s'obté:

$$a = \frac{19.81^2 - 0^2}{2 \times 0.3} = \frac{392.4}{0.6} = 654 \text{ m/s}^2$$

$$G_{forza} = \frac{654}{9.81} = 67$$

← Això equival a 67 vegades la força deguda a la gravetat terrestre.

## POSADA EN COMÚ

Planteja a classe per què creuen que els astronautes no solen experimentar un valor de la força  $g$  per damunt d'entre 3 i 6, mentre que el seu valor és molt elevat per al coet usat a classe.

L'ésser humà no resisteix una acceleració tan elevada com 67  $g$  a la vida real. La força  $g$  que suporta una persona depèn també del temps que hi estigui exposada: des de diversos segons a minuts. Recorda a l'alumnat que això depèn de l'acceleració, no de la velocitat. L'acceleració és el canvi de la velocitat per unitat de temps. En les missions tripulades s'aplica una acceleració menor, i la nau tarda molt més en arribar a la velocitat necessària. Per completar les tres activitats, pots demanar a l'alumnat que escrigui un informe individual sobre el seu experiment. Haurien d'utilitzar els coneixements adquirits durant l'execució d'aquestes activitats i valorar com ha resultat i quines millores podrien introduir-s'hi en cas de tornar a realitzar-les.

## ACTIVITAT 1

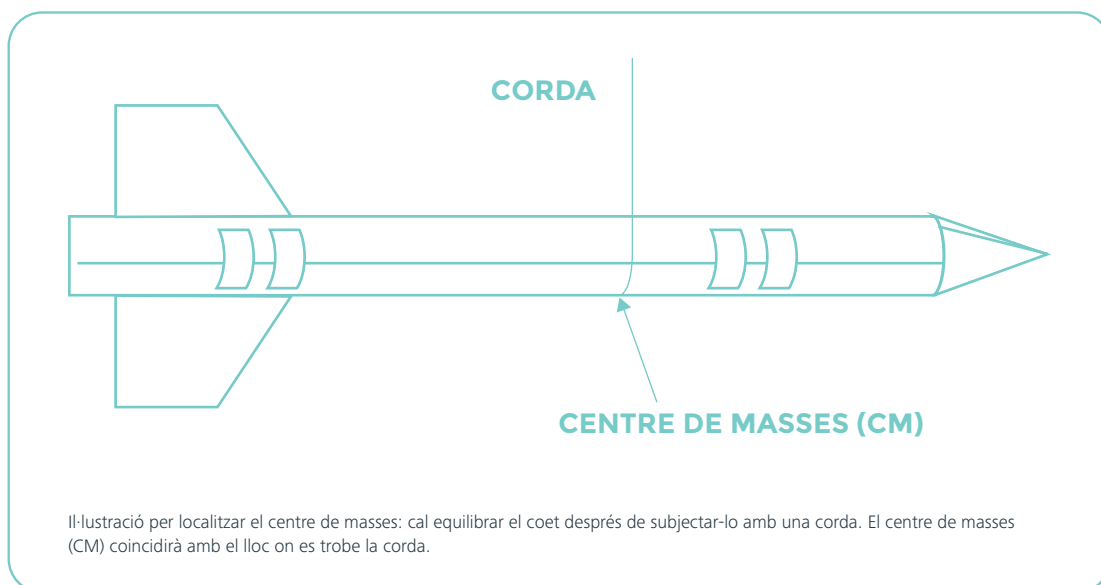
# Construeix un coet de paper

Els principis bàsics que hi ha darrere de la construcció d'un simple coet de paper i la d'un coet espacial de veritat són els mateixos. Durant aquesta activitat dissenyaràs i construiràs el teu propi coet de paper, i el faràs servir per indagar en algunes de les variables de disseny que poden influir en l'estabilitat i el funcionament del coet.

## e1

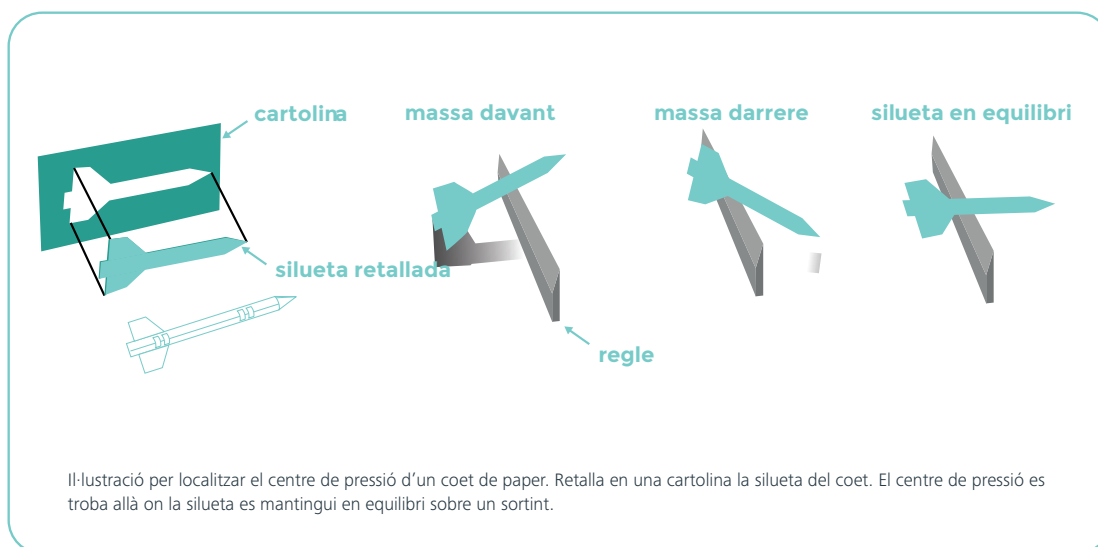
## EXERCICI

- 1 Construeix un coet de paper utilitzant el material que et proporioni el professorat. Pots construir el teu coet com vulguis, però assegura't que encaixa correctament a la plataforma de llançament que utilitzaràs després.
- 2 Localitza el centre de masses (CM) del coet, que coincideix amb el punt que representa la posició mitjana de tota la massa d'un cos o sistema. Pots fer-ho lligant un tros de corda al voltant del coet per equilibrar-lo tal com es mostra en el diagrama inferior. Senyala amb un llapis el lloc on creus que es troba el CM.



- 3 Localitza el centre de pressió (CP) del coet, que coincideix amb la posició mitjana de la pressió que actua sobre el coet i, en aquest cas, es pot trobar localitzant l'equilibri de

l'àrea projectada del coet. Pots ubicar el CP retallant la silueta del coet en una cartolina i equilibrant-la sobre un sortint. Senyala el punt CP al coet.



- 4 Quina és la distància entre el centre de masses i el centre de pressió?

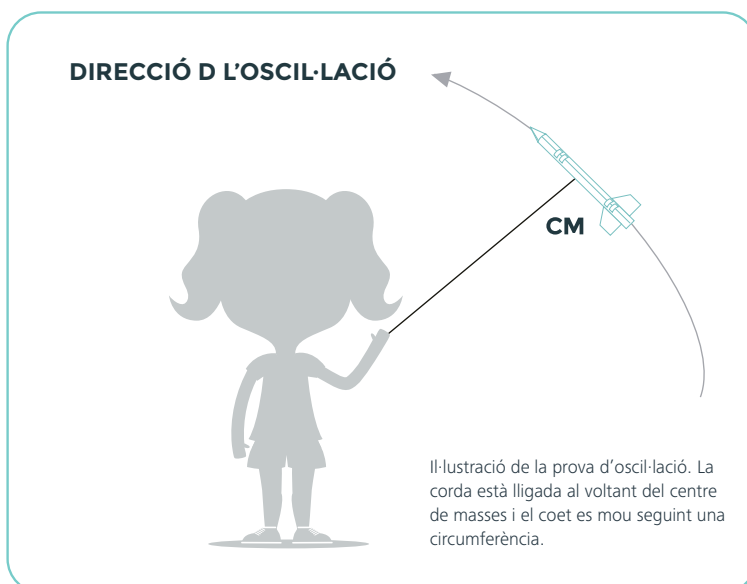
cm

- 5 El centre de pressió es troba davant del centre de masses?

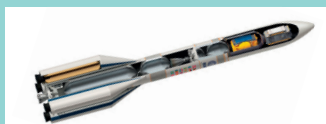
SÍ

NO

- 6 Simula una prova de túnel de vent realitzant una prova d'oscil·lació: lliga un tros de corda al voltant del centre de masses i mou el coet en cercles tal com es veu a la il·lustració: Comprova l'estabilitat del coet del teu grup i de la resta de companys i intenta jugar amb el centre de masses col·locant una mica de pes al con del morro o a la part posterior del coet. Quina creus que és la posició relativa del centre de masses (CM) en relació amb el centre de pressió (CP) en els tres exemples que es mostren a continuació?



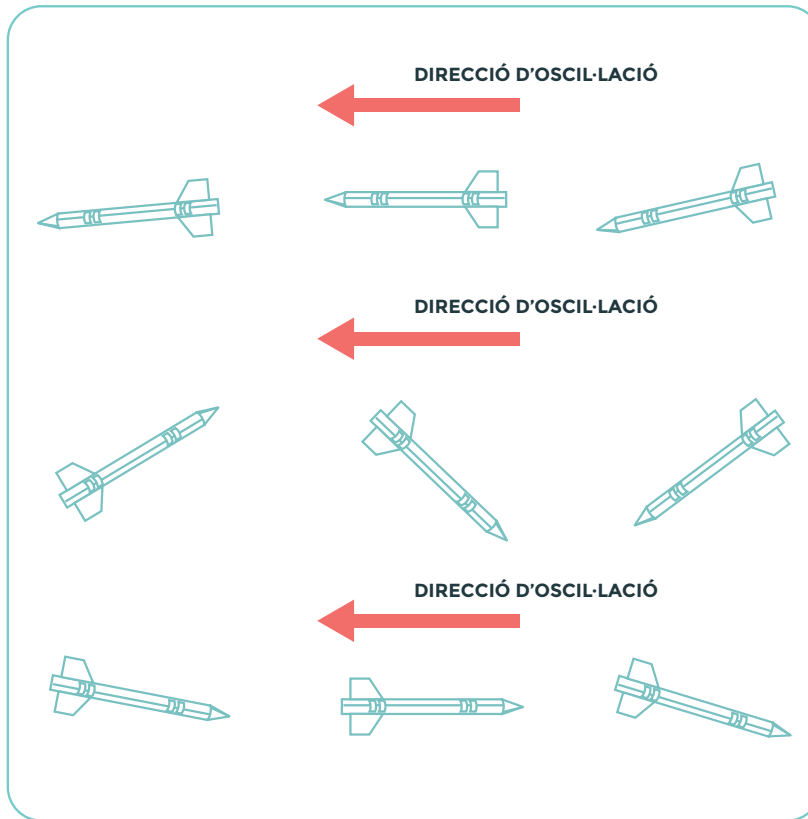
### SABIES QUE...



Els coets es divideixen en múltiples coets menors anomenats etapes. Cada coet menor té un motor propi i la seva pròpia reserva de combustible. El morro del coet, anomenat còfia, conté la càrrega útil, generalment satèl·lits o astronautes.

A1

e1



Posició relativa del CM respecte al CP:

-----

-----

Posició relativa del CM respecte al CP:

-----

-----

Posició relativa del CM respecte al CP:

-----

-----

- 7 El coet estava alineat amb la direcció de vol durant la prova d'oscil·lació? Si no fos així, què creus que s'hauria de canviar?

.....

.....

.....

- 8 Afegeix més variables a la taula i pensa com podries canviar la variable perquè el coet guanyés estabilitat.

| VARIABLE                   | DESCRIPCIÓ |
|----------------------------|------------|
| Nombre d'aletes            |            |
| Mida i forma de les aletes |            |
|                            |            |
|                            |            |
|                            |            |

Variables en el disseny del coet i la seva incidència en l'estabilitat.

- 9 Posa un nom graciós al teu coet:

.....

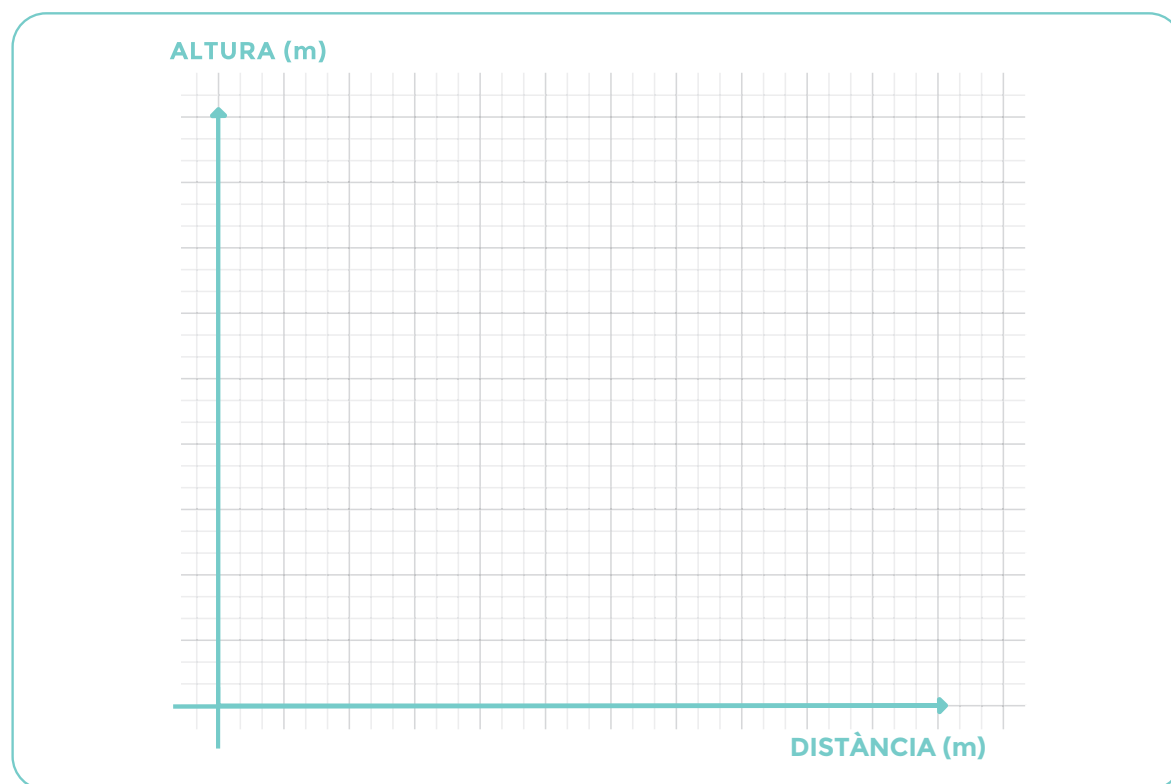
## ACTIVITAT 2

# Llança el coet

Ja està tot llest per llançar el coet! Un coet de paper ben construït pot arribar a distàncies de vol de 30 m o més! En aquesta activitat utilitzaràs els resultats obtinguts després del llançament del coet per calcular-ne la velocitat i la que hauria d'arribar per anar a la Lluna.

**EXERCICI**

- 1 Abans del llançament, dibuixa la trajectòria que preveus que seguirà el coet quan el llancis des de terra.



- 2 Amb quin angle hauries de llançar el coet respecta al terra per maximitzar-ne la distància recorreguda?

.....

.....

.....

e1

A2

e1

- 3** A quina distància de la plataforma de llançament va caure el coet, en metres?

.....

.....

.....

- 4** El coet va seguir la trajectòria que esperaves?

**SÍ** **NO**

Dels teus resultats, identifica tres possibles condicions inicials que afectarien la trajectòria de llançament del teu coet.

**A** .....

**B** .....

**C** .....

- 5** Dibuixa un diagrama de forces que il·lustri les forces que creus que actuarien sobre un coet durant la fase d'ascens propulsat (quan la propulsió és efectiva).

**6**

- A** Quant de temps creus que dura la fase d'ascens propulsat en un coet de veritat? I en el coet de paper que has construït tu?

.....

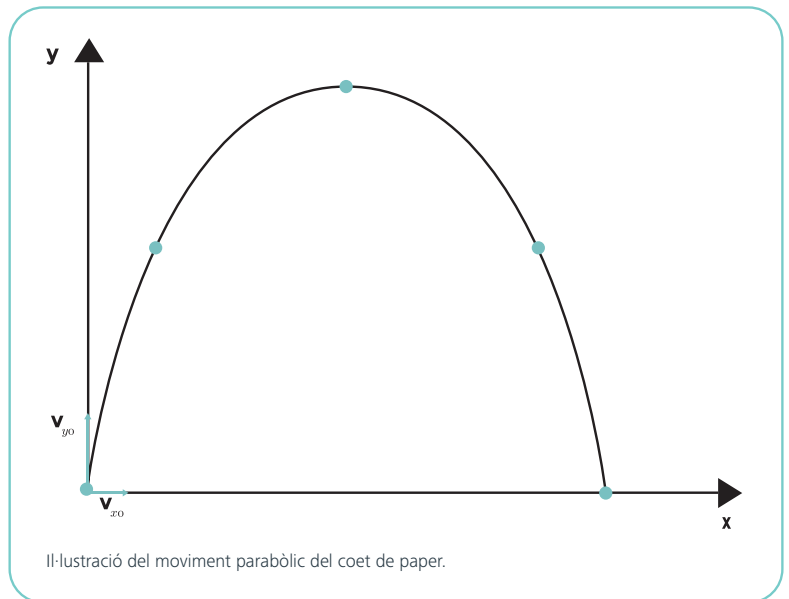
.....

- B** Escribe l'equació de la força resultant que actua sobre el coet (tenint en compte únicament les forces que actuen en la direcció a la qual es mou el coet).

- C** Troba una fórmula per expressar l'acceleració del coet.

7

- A** A Completa la gràfica amb la component horitzontal de la velocitat ( $v_x$ ) i amb la component vertical de la velocitat ( $v_y$ ) del coet en els punts senyalats en la següent paràbola. T'hem ajudat una mica dibuixant-hi els vectors de la velocitat inicial  $v_{x0}$  i  $v_{y0}$ . Hauries de tenir en compte també les forces que actuen sobre el coet durant el vol i plantejar-te per què segueix la trajectòria que segueix. En aquest cas, considerem insignificant l'efecte de la resistència de l'aire (**resistència aerodinàmica**).



- B** Descriu la variació de la velocitat a la gràfica.

- 8** Amb un objecte que segueix una trajectòria parabòlica a prop de la superfície terrestre (on podem donar per fet que el camp gravitatori és uniforme), es pot demostrar que té lloc una interdependència entre la distància, la velocitat i l'angle de llançament de la següent manera:

$$d = \frac{v^2 \sin(2\alpha)}{g}$$

on:

$d$  = distància [m]

$v$  = velocitat [m/s]

$\alpha$  = angle de llançament

$g$  = acceleració de la gravetat [m/s<sup>2</sup>]

A2

e1

Aïlla ara la velocitat en la fórmula anterior:

- 9 Utilitza la distància de vol (en metres) del teu coet que has mesurat a l'exercici anterior. Utilitza l'equació del punt 8 per calcular la velocitat en el moment en què el coet surt de la plataforma de llançament. Utilitza el valor  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ .

- 10 Converteix el resultat en km/h:

.....

- 11 Ara que ja has calculat la velocitat del coet, esbrina com arribar a la Lluna! Per fer-ho, has d'arribar a la velocitat d'escapament, que ve definida per:

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

On  $G$  correspon a la constant de la gravitació,  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$   
 $= 6,67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$ ,  
 $M$  és la massa de la Terra,  $M = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$ ,  
 $r$  és el radi de la Terra,  $r = 6.371 \text{ km}$ .

Calcula la velocitat d'escapament de la Terra. →

Il·lustració del llançament amb una gran velocitat tangencial (velocitat paral·lela a la superfície terrestre). Quan s'efectua un llançament amb una velocitat prou alta, el coet és capaç de situar-se en òrbita al voltant de la Terra.



Com que la velocitat d'escapament de la Terra és elevada, és habitual llançar els coets per situar-los en òrbita abans de realitzar maniobres per viatjar a llocs més allunyats de l'espai. Si llancéssim els coets directament cap amunt, no tardarien a tornar a caure a la superfície terrestre. En lloc d'això, s'ha de llançar el coet amb una velocitat tangencial gran (velocitat paral·lela a la superfície terrestre).

- 12** Com més alta és la velocitat del coet, més lluny arriba abans de caure a terra. Arriba un moment en què el llancem amb tanta velocitat que ja no torna a caure! La velocitat necessària perquè passi això s'ano-

**$G$  = constant de la gravitació**

**$r$  = radi de l'òrbita**

**$M$  = massa de la Terra**

Calcula la velocitat necessària per situar una nau espacial en òrbita al voltant de la Terra a 300 km d'altitud sobre la superfície terrestre. →

- 13** Quantes vegades més gran és aquesta velocitat que la del teu coet?

mena velocitat orbital. La velocitat orbital es pot calcular amb aquesta equació:

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

- 14** Després d'aterrar a la Lluna, ens agradaria tornar a la Terra o utilitzar la Lluna per allunyar-nos més per l'espai. Això implica enlairar-nos des de la Lluna. La velocitat d'escapament és directament proporcional a la massa de l'objecte i inversament proporcional al radi de l'objecte.

$$M_{Lluna} = 7,35 \times 10^{22} \text{ kg}$$

$$r_{Lluna} = 1.737 \text{ km}$$

La velocitat d'escapament de la Lluna, és superior o inferior que la de la Terra?

- 15** Calcula la velocitat d'escapament de la Lluna: →

- 16** Discuteix amb el teu grup per què convé utilitzar la Lluna com a trampolí per viatjar a llocs més llunyans de l'espai.

### SABIES QUE...



El Port Espacial Europeu es troba situat a la Guaiana Francesa, a Amèrica del Sud, a prop de l'equador terrestre. La rotació de la Terra és més veloç a l'equador i els coets poden aprofitar aquest efecte d'«ona gravitacional». Això incrementa en 460 m/s la velocitat del coet, fet que estalvia combustible i diners. Aquest emplaçament també és perfecte per enviar objectes a una òrbita de transferència geoestacionària, ja que obliga a imprimir pocs canvis en la trajectòria del satèl·lit.

## ACTIVITAT 3

## Vol espacial tripulat

e1

En aquesta activitat indagaràs en la rellevància de l'acceleració i les forces implicades per al vol espacial tripulat.

## EXERCICI

Analitzem ara amb més profunditat el llançament del coet de paper. Al punt 9 de l'activitat 2 has calculat la velocitat,  $v$ , del coet en el moment en què surt de la plataforma de llançament. Just abans del llançament, el coet encara està immòbil a la rampa de llançament, fet que significa que la seva velocitat inicial,  $u$ , val **0 m/s**. Ara calcularem l'acceleració del coet al llarg d'aquest brevíssim interval temporal.

(1)

$$a = \frac{v-u}{t}$$

on:

 **$u$  = velocitat inicial** **$v$  = velocitat de llançament** **$a$  = acceleració** **$t$  = temps**

Això no obstant, és difícil mesurar el temps que tarda el coet a sortir de la plataforma. Així que potser volem escriure l'equació sense incloure-hi  $t$ . Podem utilitzar l'aproximació que la distància recorreguda ( $s$ , que en aquest cas es correspon amb la longitud de la rampa de llançament) equival a la velocitat mitjana multiplicada pel temps:

(2)

$$s = \frac{(u+v)}{2} t$$

- 1 Utilitza les equacions (1) i (2) per trobar una expressió de l'acceleració,  $a$ .

- 2 Suposa que l'acceleració és constant, i utilitza l'equació per calcular l'acceleració del coet just abans de sortir de la plataforma de llançament. Tingues en compte que la longitud de la rampa de llançament ( $s$ ) ascendeix a 30 cm i utilitza la velocitat que has calculat a l'activitat 2 (si no has arribat a calcular-ne la velocitat, utilitza el valor 19,81 m/s).

- 3 Calcula la força  $g$  que experimentaria un astronauta en el teu coet de paper durant el llançament. Pots fer-ho dividint l'acceleració que has calculat al punt 2 entre  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ .

### SABIES QUE...



La força  $g$  no és una força, sinó més aviat el quocient entre l'acceleració total experimentada per un objecte i l'acceleració deguda a la gravetat terrestre. L'exposició a forces  $g$  elevades afecta l'ésser humà de diferents maneres. Per exemple, una bufetada a la cara pot imprimir breument cents de  $g$  molt localitzats, però l'exposició constant a 16  $g$  durant un minut pot ser mortal. Generalment, durant el llançament, els astronautes arriben a suportar de 3 a 6  $g$ ! I aconsegueixen suportar forces  $g$  tan altes gràcies al seu entrenament en centrífugadores com la que apareix en aquesta imatge.

# Annex 1

3, 2, 1, ENS ENLAIREM!

## ACTIVITAT 1. PREPARACIÓ D'UN SISTEMA DE LLANÇAMENT SENZILL

Utilitza una ampolla de plàstic i un colze de llançament obtingut amb una impressora 3D per confeccionar una plataforma de llançament que l'alumnat pugui utilitzar per llançar el coet de paper. Necessitaràs una impressora 3D per obtenir el colze que acoblarà l'ampolla al coet. Per imprimir-lo (<https://esamultimedia.esa.int/docs/edu/1PBL.zip>) pots recórrer o bé a la teva pròpia impressora 3D o a la impressora 3D d'un MakerSpace (o un servei equivalent); o també a un servei en línia que permeti imprimir un objecte a partir d'un arxiu informàtic. Aquest colze es pot substituir per alguna versió casolana utilitzant, per exemple, cartró o un colze de canonada de plàstic.

### MATERIAL NECESSARI

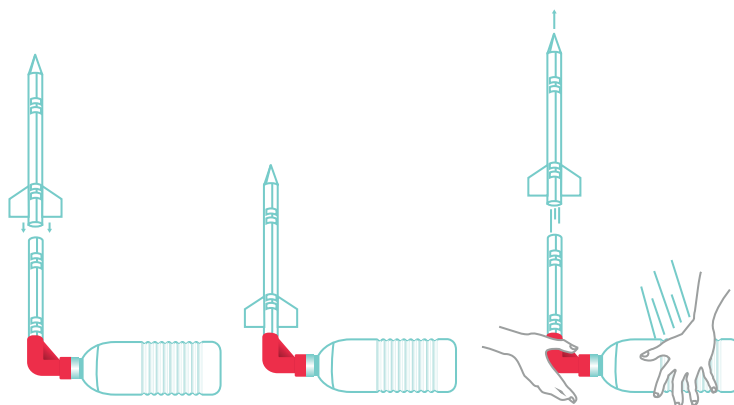
- 1 full de paper mida A4
- 1 colze de llançament fet amb impressora 3D
- 1 ampolla de plàstic d'aigua de 500 ml de capacitat

### MUNTATGE DE LA PLATAFORMA DE LLANÇAMENT SENZILLA

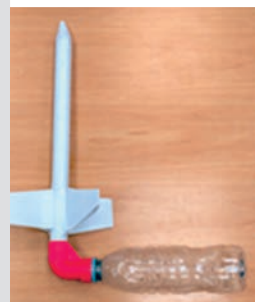
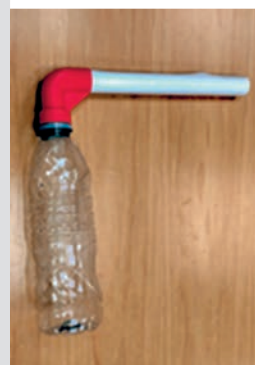
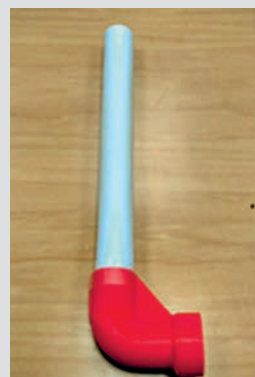
- 1 Enrotlla el full de paper per formar un cilindre ben estret.
- 2 Introdueix el cilindre de paper al colze de llançament i deixa'l anar perquè es desenrotlli fins que quedi de la mateixa mida que l'orifici del colze de llançament.
- 3 Enrosca el coll de l'ampolla d'aigua a l'altre extrem del colze de llançament.
- 4 Ja tens un sistema de llançament de coets.

### ÚS DEL SISTEMA DE LLANÇAMENT

- 1 Fes lliscar el coet dins del tub de paper connectat al colze de llançament.
- 2 Col·loca el sistema de llançament i el coet a terra.
- 3 Trepitja o comprimeix amb força l'ampolla per llançar el coet.



Sistema per al llançament dels coets.



# Annex 2

3, 2, 1, ENS ENLAIREM!

## PREPARACIÓ D'UNA PLATAFORMA DE LLANÇAMENT PRESSURITZADA

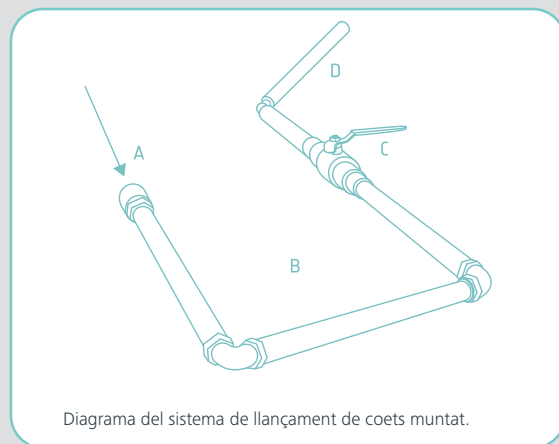
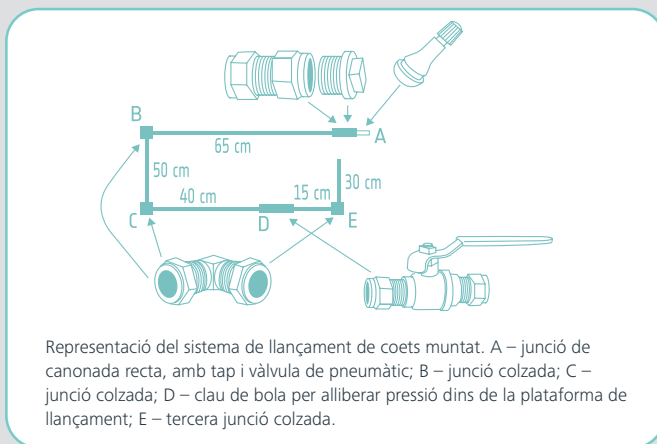
Instruccions per construir una plataforma de llançament de coets amb aire comprimit.

### MATERIAL NECESSARI

- Tubs de coure (de diàmetre: 22 cm, i longituds: 65 cm, 50 cm, 40 cm, 30 cm, 15 cm)
- 3 juncions colzades
- 1 tap de canonada
- 1 clau de bola
- 1 vàlvula d'aire de pneumàtic
- bomba d'aire o compressor d'aire
- 1 junció de canonada recta (amb una connexió normal en un extrem i una rosca interna a l'altre)

### MUNTATGE DE LA PLATAFORMA DE LLANÇAMENT PRESSURITZADA

- 1 Fes un orifici al tap de canonada i insereix-hi la vàlvula.
- 2 Connecta el tap amb la vàlvula a la junció de canonada recta.
- 3 No estrenyis gaire la tercera junció colzada, per poder canviar l'angle de la plataforma de llançament del coet.
- 4 Acobla la resta de canonades i de connectors tal com es mostra a continuació:



### ÚS DEL SISTEMA DE LLANÇAMENT

- 1 Ajusta l'angle de la plataforma de llançament.
- 2 Tanca la clau de bola perquè no perdi gens d'aire.
- 3 Bombeja el sistema fins a un màxim de 7 bars utilitzant una bomba de bicicleta.
- 4 Obre la clau i deixa que l'aire comprimit entri al sistema (això llançarà el coet).

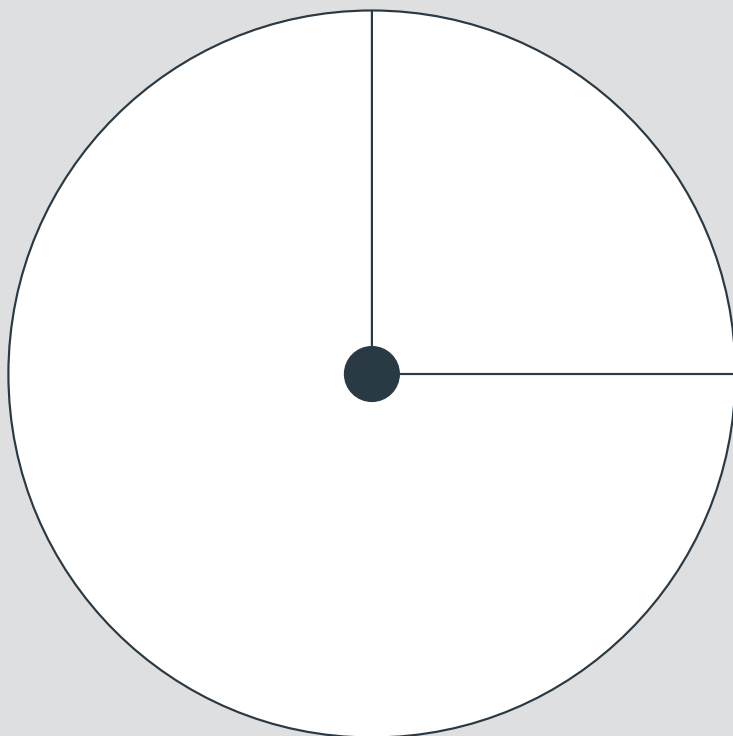
### SEGURETAT

Comprova i estreny les juncions de canonada amb regularitat, ja que podrien afluixar-se amb l'ús. Subjecta amb un peu la plataforma de llançament per evitar que es mogui. Assegura't que no hi hagi ningú davant de la plataforma de llançament en posar-hi pressió. La pressió màxima per al llançament és de 7 bars o 101 psi.

# Annex 3

3, 2, 1, ENS ENLAIREM!

## ACTIVITAT 1. ALETES I CON DE MORRO



# Annex 4

## 3, 2, 1, ENS ENLAIREM!

## TAULA PER REGISTRAR LA DISTÀNCIA RECORREGUDA A CADA VOL

# Notes

3, 2, 1, ENS ENLAIREM!



# Enllaços d'interès

## RECURSOS DE L'ESA

Model de colze simple per a plataforma de llançament per imprimir en 3D

<https://esamultimedia.esa.int/docs/edu/1PBL.zip>

Desafiament base lunar

[esa.int/Education/Moon\\_Camp](https://esa.int/Education/Moon_Camp)

Animacions sobre com anar a la Lluna

[esa.int/Education/Teach\\_with\\_the\\_Moon/Travelling\\_to\\_the\\_Moon](https://esa.int/Education/Teach_with_the_Moon/Travelling_to_the_Moon)

Recursos de classe de l'ESA

[esa.int/Education/Classroom\\_resources](https://esa.int/Education/Classroom_resources)

Com funcionen els coets

[esa.int/kids/en/learn/Technology/Rockets/How\\_does\\_a\\_rocket\\_work](https://esa.int/kids/en/learn/Technology/Rockets/How_does_a_rocket_work)

## MISSIONS DE L'ESA

Orion

[esa.int/Our\\_Activities/Human\\_and\\_Robotic\\_Exploration/Orion](https://esa.int/Our_Activities/Human_and_Robotic_Exploration/Orion)

Vehicles de llançament de l'ESA

[esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Transportation/Launch\\_vehicles/Europe\\_s\\_launchers](https://esa.int/Our_Activities/Space_Transportation/Launch_vehicles/Europe_s_launchers)

Transport espacial de l'ESA

[esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Transportation](https://esa.int/Our_Activities/Space_Transportation)

Ariane 6

[ariane6.esa.int](https://ariane6.esa.int)

Port espacial europeu

[blogs.esa.int/spaceport](https://blogs.esa.int/spaceport)

## INFORMACIÓ ADDICIONAL

«Open rocket», eina gratuïta de simulació sobre coets

<http://openrocket.info>

«To space! But on which rocket?» («A l'espai! Però en quin coet?»)

[esa.int/spaceimages/Images/2019/06/To\\_space!\\_But\\_on\\_which\\_rocket](https://esa.int/spaceimages/Images/2019/06/To_space!_But_on_which_rocket)

Spain



EUROPEAN SPACE EDUCATION RESOURCE OFFICE  
A collaboration between ESA & national partners



L'Oficina Europea de Recursos per a l'Educació Espacial a Espanya (ESERO Spain), amb el lema «De l'espai a l'aula» i aprofitant la fascinació que l'alumnat sent per l'espai, té com a objectiu principal proporcionar recursos a docents de primària i secundària per millorar-ne l'alfabetització i competències en matèries CTIM (Ciències, Tecnologia, Enginyeria i Matemàtiques).

Aquest projecte educatiu de l'Agència Espacial Europea està liderat a Espanya pel **Parque de las Ciencias de Granada** i compte amb la col·laboració d'institucions educatives tant nacionals com d'àmbit regional en les diferents comunitats autònomes.

## Enginyeria d'astronaus

COL·LECCIÓ  
NAUS ESPACIALS EN ÒRBITA

### Inclou, entre altres:

Materials per a naus espacials  
Llançament de coets  
L'aliatge perfecte  
**3, 2, 1, ens enlairem!**  
Miniampolla de reacció  
Ampolla de reacció

#### ESERO SPAIN

Parque de las Ciencias  
Avda. de la Ciencia s/n.  
18006 Granada (Espanya)  
T: 958 131 900

info@esero.es  
www.esero.es



IA-SB-02-C

**3, 2, 1, ENS ENLAIREM!**

QUADERN DEL PROFESSORAT  
**SECUNDÀRIA I BATXILLERAT**