Guía docente: simulación de caída libre e tiro parabólico

Ficha rápida

A simulación de caída libre e tiro parabólico lanza un obxecto preto do chan e deixa unha estela de puntos a intervalos iguais de tempo, cos vectores velocidade e aceleración en cada instante. Amosa que a caída libre, o tiro vertical, o tiro horizontal e o tiro oblicuo son o mesmo movemento, coa aceleración da gravidade sempre cara abaixo, e que só cambian a altura e a velocidade coas que comezan. Un botón quita ou pon o aire para ver por que unha pluma e unha bóla de aceiro caen distinto na aula e á vez na Lúa. En Galicia o seu uso principal é en 4.º de ESO e en 1.º de Bacharelato.

Dato	Detalle
Ligazón	simulaciencia.es/gl/simulacions/caida-libre/
Cursos	4.º de ESO e 1.º de Bacharelato
Materia	Física e Química
Duración orientativa	15–20 minutos de explicación coa simulación proxectada; o modo «Reto» dá para outra sesión de problemas
Material	Proxector ou encerado dixital; funciona no navegador, tamén no móbil e na tableta, sen instalar nada. En pantallas estreitas o lenzo queda arriba e os controis debaixo; para explicar é mellor unha pantalla grande
Coñecementos previos	Para 4.º de ESO, o movemento rectilíneo uniforme e a idea de aceleración. Para 1.º de Bacharelato, o MRUA, a descomposición dun vector en compoñentes e as razóns trigonométricas
Accesibilidade	Catro temas visuais (SimulaCiencia, escuro, claro e alto contraste) no botón da roda dentada. Velocidade ×1, ×0,5 e ×0,25, e un control deslizante de instante con botóns − e + para avanzar paso a paso. Os lanzamentos, a chegada ao chan e a altura máxima anúncianse con lector de pantalla. Teclas: espazo para lanzar ou pausar e R para reiniciar

Como funciona a simulación

A simulación ten tres modos, «Vertical», «Parabólico» e «Reto», que se escollen arriba do panel esquerdo. O lenzo amosa o chan, o punto de lanzamento (unha persoa sobre unha plataforma ou unha azotea se hai altura), uns eixes coa escala en metros e, arriba, unha franxa co nome do movemento, o lugar e o valor de g. A escala do debuxo axústase soa para que caiba toda a traxectoria.

Modo	Que se ve
Vertical	Caída libre e tiro vertical. «Altura inicial (h_0)» de 0 a 100 m e «Velocidade inicial (v_0)» de 30 m/s cara abaixo a 30 m/s cara arriba; no centro, 0 m/s («soltar»). Exemplos: «Caída libre» (45 m, 0 m/s), «Lanzar cara arriba» (0 m, 20 m/s ↑) e «Lanzar cara abaixo» (30 m, 10 m/s ↓). Mentres o obxecto sobe, os puntos da estela son ocos, e cando baixa son cheos, para que a subida e a baixada non se confundan na mesma vertical
Parabólico	Tiro horizontal e oblicuo. «Altura inicial» de 0 a 50 m, «Rapidez inicial» de 0 a 30 m/s e «Ángulo de lanzamento» de −30° (cara abaixo) a 90° (vertical). Exemplos: «Tiro horizontal» (20 m, 10 m/s, 0°), «Desde o chan» (0 m, 20 m/s, 45°) e «Desde unha azotea» (20 m, 15 m/s, 30°)

Modo	Que se ve
Reto	Catro problemas con datos ao chou: «Ata o balcón» e «Canto tarda?» (4.º de ESO) e «Á diana» e «Dous ángulos» (Bacharelato). Sempre na Terra e sen aire. Escríbese a resposta calculada no caderno, prémese «Comprobar» e a simulación lanza con ese valor

Grupo «Que se lanza e onde» (modos Vertical e Parabólico):

- **Obxecto.** Bóla de aceiro, balón de baloncesto, pelota de tenis, pelota de pingpong, bóla de papel ou pluma, coa súa masa. Sen aire, o obxecto non cambia nada; con aire, cada un fréase de forma distinta.
- **Lugar.** Terra (g = 9,8 m/s²), Lúa (1,6 m/s²), Marte (3,7 m/s²) ou Xúpiter (24,8 m/s²).
- **«Con aire».** Só na Terra. Coa caixa marcada, a franxa avisa de que o movemento xa non é caída libre ou de que a traxectoria xa non é unha parábola, e no modo Parabólico debúxase en gris a traxectoria do mesmo lanzamento sen aire.
- **«Comparar con outro obxecto»** (modo Vertical). Solta á vez outro obxecto, á dereita, desde a mesma altura.
- **«Soltar outra bóla á vez»** (modo Parabólico). Unha bóla cae desde o punto de lanzamento no mesmo instante: chega ao chan á vez que a lanzada.
- **«Conservar as traxectorias anteriores»** (modo Parabólico). Deixa ata cinco traxectorias en gris co seu ángulo, para comparar alcances.

Grupo «Que se ve»:

- **«Vectores velocidade e aceleración».** A velocidade en azul, tanxente á traxectoria, coas súas compoñentes v_x e v_y no modo Parabólico, e a aceleración en laranxa, sempre cara abaixo. As dúas frechas están a escalas distintas, e a lenda dío.
- **«Proxeccións sobre os eixes».** Dúas «sombras» do obxecto, unha sobre o chan e outra sobre o eixe vertical, cada unha coa súa estela: a do chan avanza con puntos igual de separados (MRU) e a do eixe, con puntos cada vez máis separados ao baixar (MRUA).
- **«Estela: un punto cada»** 0,1 s, 0,2 s ou 0,5 s.
- **«Pausar na altura máxima».** A animación detense no punto máis alto para comentar os vectores.
- **«Ocultar resultados».** Agocha o tempo de voo, a altura máxima, o alcance e a velocidade ao chegar, para que se calculen antes de lanzar. As gráficas só amosan o xa percorrido.

Na barra de abaixo están «Lanzar» (que pasa a «Pausar», «Continuar» e «Lanzar outra vez»), «Reiniciar», a velocidade ×0,25, ×0,5 ou ×1 e o botón «Gráficas», que engade baixo o lenzo as gráficas posición-tempo e velocidade-tempo das dúas compoñentes. Debaixo, a fila «Instante» permite ir a calquera momento do lanzamento co control deslizante ou cos botóns − e +, que avanzan un intervalo da estela.

O despregable «Datos do movemento» dá, no instante actual, o tempo, a posición x, a altura y, v_x, v_y (cunha frecha que indica se sobe ou baixa) e a rapidez $|v|$, e en «Resultados do lanzamento», o tempo de voo, a altura máxima, o alcance e a velocidade ao chegar. «Ecuacións do movemento» escribe as ecuacións cos valores substituídos, por exemplo «$y = 20 + 7{,}5 \cdot t - 4{,}9 \cdot t^2$», e debaixo os resultados calculados con elas. «Ideas clave» resume cinco ideas: sen aire todos os obxectos caen igual, a aceleración é sempre g cara abaixo, no punto máis alto a velocidade vertical é cero, os dous movementos son independentes e o aire rompe a parábola.

Sen aire, a simulación usa as ecuacións exactas, así que os seus números coinciden cos dun problema resolto no caderno con g = 9,8 m/s².

Uso en cada curso

En 4.º de ESO a simulación traballa a caída libre e o tiro vertical como MRUA, a predición de movementos a partir das súas ecuacións e gráficas e a idea de que todos os corpos caen igual en ausencia de aire. En 1.º de Bacharelato traballa a composición de movementos: o tiro horizontal e o tiro oblicuo como suma dun MRU e un MRUA independentes. En 2.º de ESO pódese usar de forma cualitativa (actividades 1 e 2 da ficha) para o contido «Análise de movementos sinxelos a partir dos conceptos da cinemática». Os contidos e os criterios de avaliación citados son os do currículo de Galicia (Decreto 156/2022, DOG do 26 de setembro de 2022, para ESO; Decreto 157/2022, da mesma data, para Bacharelato), que organiza cada curso en bloques.

4.º de ESO: caída libre e tiro vertical

15–16 anos · 10th grade nos EUA · Year 11 no Reino Unido

Contidos. Bloque 4: «Predición e comprobación, utilizando a experimentación e o razoamento lóxico-matemático, utilizando ecuacións e gráficas da variación das principais magnitudes que describen o movemento dun corpo, relacionándoo con situacións cotiás e coa mellora da calidade de vida» e «Lei da gravitación universal: atracción entre os corpos que compoñen o universo. Concepto de peso».

Criterios de avaliación. CA4.1 (comprender fenómenos cotiáns relacionados co movemento e explicalos con rigor a partir das leis científicas), CA4.2 (resolver problemas sobre o movemento expresando os resultados con corrección e precisión), CA4.3 (identificar e describir fenómenos de movemento a partir de situacións observadas ou de información gráfica ou numérica) e CA4.4 (validar hipóteses sobre o movemento con procedementos experimentais ou dedutivos).

Obxectivos. Recoñecer a caída libre e o tiro vertical como movementos rectilíneos uniformemente acelerados con a = g cara abaixo. Explicar que, sen aire, todos os corpos caen coa mesma aceleración, sexa cal sexa a súa masa. Calcular o tempo de caída, a altura máxima e a velocidade ao chegar ao chan. Interpretar as gráficas posición-tempo e velocidade-tempo dun lanzamento vertical.

Secuencia de explicación (15–20 min).

1. Modo «Vertical», exemplo «Caída libre» (45 m, 0 m/s), estela cada 0,2 s. Preguntar antes: cae sempre á mesma velocidade? Lanzar. Os puntos da estela están cada vez máis separados: en cada 0,2 s percorre máis distancia que no anterior. Chega en 3,03 s a 29,7 m/s.
2. Marcar «Comparar con outro obxecto», coa pluma e a bóla de aceiro, e marcar «Con aire». A bóla chega en 3,05 s; a pluma, a 0,8 m/s, tarda case un minuto. Preguntar: por que? Quitar o aire: chegan xuntas en 3,03 s. O que as separaba era o aire, non a masa. Cambiar o lugar á Lúa, que non ten aire: caen xuntas en 7,5 s, coma a pluma e o martelo do Apolo 15.
3. Volver á Terra sen aire e abrir «Ecuacións do movemento». Comprobar no encerado que $45 = 4{,}9 \cdot t^2$ dá t = 3,03 s e que $v = 9{,}8 \cdot 3{,}03 = 29{,}7$ m/s.
4. Exemplo «Lanzar cara arriba» (0 m, 20 m/s ↑), con «Pausar na altura máxima». Antes de lanzar, preguntar canto valen a velocidade e a aceleración arriba de todo. Na pausa, a frecha da velocidade desapareceu ($v_Y = 0$) e a da aceleración segue igual, cara abaixo. Chega a 20,4 m en 2,04 s.
5. Continuar. A baixada é simétrica da subida: os puntos cheos caen sobre os ocos, tarda outros 2,04 s e chega ao chan a 20 m/s, a mesma rapidez coa que saíu. Mentres sobe, a velocidade apunta cara arriba e a aceleración cara abaixo: por iso frea.
6. Premer «Gráficas». A posición-tempo é unha parábola co máximo en 2,04 s; a velocidade-tempo é unha recta de pendente −9,8 m/s², que corta o eixe no mesmo instante. A pendente é a mesma

subindo e baixando: a aceleración non cambia.
7. Modo «Reto», «Ata o balcón» e «Canto tarda?». O alumnado calcula no caderno, escribe o resultado e comproba. Vale a resposta redondeada a dúas cifras significativas.

1.º de Bacharelato: composición de movementos

16–17 anos · 11th grade nos EUA · Year 12 no Reino Unido

Contidos. Bloque 5: «Variables cinemáticas en función do tempo nos distintos movementos que pode ter un obxecto, con ou sen aceleración: resolución de situacións reais relacionadas coa física e coa contorna cotiá» e «Expresión da traxectoria dun movemento composto en función das magnitudes que o describen».

Criterios de avaliación. CA5.1 (aplicar os conceptos da cinemática clásica na análise de movementos cotiáns), CA5.2 (resolver problemas sobre movementos a partir de situacións cotiás, expresando adecuadamente os resultados) e CA5.3 (utilizar de maneira rigorosa as unidades das magnitudes cinemáticas).

Obxectivos. Descompoñer a velocidade inicial nas súas compoñentes. Describir o tiro horizontal e o oblicuo como a composición dun MRU en horizontal e un MRUA en vertical, independentes entre si. Escribir as ecuacións x(t) e y(t) e obter delas o tempo de voo, a altura máxima e o alcance. Xustificar por que dous ángulos complementarios dan o mesmo alcance desde o chan e por que o aire reduce o alcance e o ángulo óptimo.

Secuencia de explicación (15–20 min).

1. Modo «Parabólico», exemplo «Tiro horizontal» (20 m, 10 m/s, 0°), con «Proxeccións sobre os eixes». A sombra do chan deixa puntos igual de separados (MRU, 10 m/s); a do eixe vertical, puntos cada vez máis separados (MRUA), igual que unha caída libre.
2. Marcar «Soltar outra bóla á vez». Preguntar antes cal chegará primeiro. Chegan xuntas, en 2,02 s, porque o tempo de caída só depende da altura. A bóla lanzada cae a 20,2 m do pé da azotea.
3. Cos vectores: v_x non cambia en todo o voo; v_y crece cara abaixo 9,8 m/s cada segundo. Ao chegar, v_x = 10,0 m/s e v_y = 19,8 m/s cara abaixo, e a rapidez é $\sqrt{(10^2 + 19{,}8^2)}$ = 22,2 m/s.
4. Exemplo «Desde o chan» (0 m, 20 m/s, 45°), con «Pausar na altura máxima». No cume a velocidade non é cero: queda v_x = 14,1 m/s, horizontal. Só no tiro vertical se para de todo. Altura máxima 10,2 m, alcance 40,8 m, tempo de voo 2,89 s.
5. Marcar «Conservar as traxectorias anteriores» e lanzar a 30°, 45° e 60° con 20 m/s. 30° e 60° caen no mesmo punto, 35,3 m: son ángulos complementarios e sen(2α) é igual para os dous. 45° chega máis lonxe. Comprobalo con $x = v_0^2 \cdot \text{sen}(2\alpha) / g$.
6. Marcar «Con aire» coa pelota de tenis. O alcance a 45° baixa de 40,8 m a 25,7 m, a traxectoria vólvese asimétrica (baixa máis empinada do que subiu) e a liña gris lembra a parábola sen aire. Con aire, o ángulo que chega máis lonxe baixa a uns 40°.
7. Exemplo «Desde unha azotea» (20 m, 15 m/s, 30°) con «Ocultar resultados». Expor o problema: tempo de voo, altura máxima e alcance. Resolvelo, quitar a caixa e comprobar: 2,93 s, 22,9 m e 38,0 m. Para rematar, os retos «Á diana» e «Dous ángulos».

Concepcións alternativas que axuda a corrixir

A simulación ataca sobre todo a idea de que os corpos pesados caen antes e a confusión entre velocidade e aceleración no punto máis alto. Cada fila indica a idea previa frecuente e como desmontala

coa simulación.

Idea do alumnado	Idea correcta	Como amosalo
«Os obxectos pesados caen máis rápido»	Sen aire, todos caen coa mesma aceleración g; o que os separa é o rozamento co aire	Comparar pluma e bóla de aceiro desde 45 m: con aire, 56 s fronte a 3 s; sen aire, xuntas en 3,03 s. Na Lúa, xuntas en 7,5 s
«No punto máis alto a aceleración é cero, porque o obxecto está parado»	A aceleración é g cara abaixo en todo o voo, tamén arriba; o que se anula é a velocidade vertical	«Pausar na altura máxima» cos vectores: a frecha da aceleración non cambia, e na gráfica velocidade-tempo a recta ten a mesma pendente antes e despois
«Mentres sobe, a forza do lanzamento empúrrao cara arriba»	Unha vez soltado, a única forza (sen aire) é o peso; sobe porque leva velocidade, e frea porque a aceleración vai en contra	Vectores en «Lanzar cara arriba»: velocidade cara arriba cada vez máis curta e aceleración sempre cara abaixo
«No tiro parabólico, no punto máis alto a velocidade é cero»	Só se anula v_Y; v_x segue igual	«Desde o chan» con pausa no cume: queda a frecha horizontal e o panel marca v_x = 14,1 m/s
«Unha bala disparada en horizontal tarda máis en caer ca unha que se solta»	Os dous movementos son independentes: o tempo de caída só depende da altura	«Soltar outra bóla á vez»: as dúas chegan xuntas, e as proxeccións verticais coinciden en cada instante
«O obxecto vai recto e logo cae de golpe»	A traxectoria é unha parábola desde o primeiro instante, porque g actúa desde o principio	Estela cada 0,1 s no tiro horizontal e proxeccións: a sombra vertical empeza a caer desde o lanzamento
«A 45° chégase sempre máis lonxe»	Só desde o chan e sen aire; con altura inicial ou con aire, o ángulo óptimo é menor	«Conservar as traxectorias anteriores»: con aire, 40° chega algo máis lonxe que 45°; desde a azotea, 30° supera a 45°

Simplificacións que convén coñecer

A simulación prioriza que os números coincidan cos dun problema de clase e que se vexa con claridade a composición de movementos. Convén coñecer estas licenzas para non reforzar ideas incorrectas sen querer.

1. **g constante e Terra plana.** Tómase g = 9,8 m/s² en toda a traxectoria e o chan é plano. Para alturas duns centos de metros a diferenza coa realidade é inapreciable.
2. **O obxecto é un punto.** Non xira nin rebota: detense ao tocar o chan. Non hai efecto Magnus (o que curva unha pelota con efecto).
3. **Un modelo de aire sinxelo.** Con aire, o rozamento é proporcional ao cadrado da velocidade e cada obxecto queda definido pola súa velocidade límite: aceiro 105 m/s, baloncesto 20 m/s, tenis 22 m/s, pingpong 9 m/s, papel 5 m/s e pluma 0,8 m/s. Son valores orientativos; unha pluma real ademais planea e abanéase. Con aire, a simulación integra paso a paso e as ecuacións do panel son as do mesmo lanzamento sen aire.
4. **Só hai aire na Terra.** A Lúa non ten atmosfera, pero Marte si ten unha moi tenue, que a simulación non ten en conta. Xúpiter non ten superficie sólida: está para comparar o valor de g.
5. **Frechas a escalas distintas.** A velocidade e a aceleración non se miden nas mesmas unidades, así que a súa lonxitude relativa non significa nada. O importante é a dirección e como cambia cada unha.
6. **As proxeccións son unha construción.** As «sombras» sobre os eixes non existen na realidade; serven para separar os dous movementos que forman o tiro.

7. **Tolerancia nos retos.** Dáse por boa a resposta redondeada a dúas cifras significativas, e nos tiros, caer a menos de 0,5 m do centro da diana.

Ficha de actividades do alumnado

A ficha de actividades segue o esquema predí, observa e explica. Cada actividade leva unha ligazón á simulación xa preparada, así que funciona na aula de informática, con tabletas ou como tarefa na casa. Descárgase en Word e LibreOffice para adaptala.

Curso	Actividades	Duración orientativa
2.º de ESO	Antes de comezar, actividades 1 e 2 (sen os cálculos), Revisa as túas ideas	Media sesión
4.º de ESO	Actividades 1 a 4, Aplica o aprendido (1 a 3) e os retos «Ata o balcón» e «Canto tarda?»	Unha sesión de 50–55 minutos, ou dúas se se fan na clase os problemas
1.º de Bacharelato	Actividade 1 como repaso, actividades 5 a 7, Aplica o aprendido (4 e 5) e Para ampliar	Unha ou dúas sesións

A táboa de «Antes de comezar» recolle cinco ideas previas sobre a caída dos corpos. Convén non corrixila ao principio: o alumnado volve a ela en «Revisa as túas ideas». Con aire, a pluma tarda case un minuto en caer desde 45 m: pódese pasar a ×1 ou premer «Reiniciar» cando xa se viu que a bóla chega moito antes.

Solucións

Apartado	Solución
Antes de comezar	a) Falsa: sen aire caen xuntas (actividade 1). b) Falsa: a aceleración é g cara abaixo tamén no punto máis alto (actividade 3). c) Verdadeira: sobe e baixa coa mesma rapidez ao mesmo nivel (actividade 3). d) Falsa: chegan á vez (actividade 5). e) Falsa: no cume só se anula a velocidade vertical (actividade 6)
Actividade 1	Con aire: a bóla de aceiro tarda uns 3,05 s e a pluma uns 56 s. Sen aire: as dúas, 3,03 s. Na Lúa: 7,5 s as dúas. O que fai caer distinto a pluma é o aire, non a súa masa: sen aire, todos os obxectos caen coa mesma aceleración
Actividade 2	Os puntos están cada vez máis separados: en cada intervalo percorre máis distancia, así que a velocidade aumenta. Velocidades: 0, 9,8, 19,6 e 29,4 m/s aos 0, 1, 2 e 3 s. t = 3,03 s e v = 29,7 m/s. $45 = ½ \cdot 9{,}8 \cdot t^2$, $t = \sqrt{(90 / 9{,}8)} = 3{,}03$ s; $v = 9{,}8 \cdot 3{,}03 = 29{,}7$ m/s. A velocidade aumenta 9,8 m/s cada segundo: iso é g
Actividade 3	Altura máxima 20,4 m en 2,04 s; volve ao chan en 4,08 s a 20 m/s. No punto máis alto v = 0 e a aceleración segue sendo 9,8 m/s² cara abaixo. Mentres sobe, a velocidade vai cara arriba e a aceleración cara abaixo, por iso frea. $h = v_0^2 / (2g) = 400 / 19{,}6 = 20{,}4$ m; $t = v_0 / g = 2{,}04$ s
Actividade 4	A posición-tempo é unha parábola (curva) co máximo en 2,04 s. A velocidade-tempo é unha recta que baixa: pasa de +20 a −20 m/s e corta o eixe en 2,04 s. A pendente é −9,8 m/s², a aceleración, e é a mesma ao subir e ao baixar
Actividade 5	Chegan á vez, en 2,02 s. A sombra do chan avanza con puntos igual de separados (MRU) e a do eixe, con puntos cada vez máis separados (MRUA). A bóla lanzada cae a 20,2 m. O movemento horizontal non afecta ao vertical: o tempo de caída só depende da altura
Actividade 6	No cume, $v_y = 0$ e $v_x = 14{,}1$ m/s: a velocidade non é cero, é horizontal. v_x é igual en todo o voo. A aceleración segue sendo g cara abaixo. Altura máxima 10,2 m, tempo de voo 2,89 s e alcance 40,8 m
Actividade 7	Sen aire: 15°, 30° e 45° dan 20,4 m, 35,3 m e 40,8 m; 60° e 75°, 35,3 m e 20,4 m. Os ángulos complementarios dan o mesmo alcance porque $\text{sen}(2\alpha) = \text{sen}(180° - 2\alpha)$. O máximo, a 45°. Con aire e a pelota de tenis, os alcances baixan (uns 25,7 m a 45°) e o mellor ángulo é menor, uns 40°

Apartado	Solución
Aplica o aprendido	1) $t = \sqrt{(2 \cdot 80 / 9{,}8)} = 4{,}04$ s; $v = 9{,}8 \cdot 4{,}04 = 39{,}6$ m/s. 2) $h = 15^2 / 19{,}6 = 11{,}5$ m; t de subida $= 15 / 9{,}8 = 1{,}53$ s; voo 3,06 s. 3) Na Lúa, $t = \sqrt{(2 \cdot 45 / 1{,}6)} = 7{,}5$ s, fronte a 3,03 s na Terra: g é unhas seis veces menor. 4) $t = \sqrt{(2 \cdot 1{,}25 / 9{,}8)} = 0{,}505$ s; $v_0 = 6 / 0{,}505 = 11{,}9$ m/s. 5) $v_x = 25 \cdot 0{,}80 = 20$ m/s; $v_y = 25 \cdot 0{,}60 = 15$ m/s; $h = 15^2 / 19{,}6 = 11{,}5$ m; $t = 2 \cdot 15 / 9{,}8 = 3{,}06$ s; $x = 20 \cdot 3{,}06 = 61{,}2$ m
Para ampliar	1) $x = 15 \cdot \cos 30° \cdot t = 13{,}0 \cdot t$; $y = 20 + 7{,}5 \cdot t - 4{,}9 \cdot t^2$. 2) $y = 0 \rightarrow 4{,}9\,t^2 - 7{,}5\,t - 20 = 0$, $t = 2{,}93$ s; $x = 38{,}0$ m; altura máxima $20 + 7{,}5^2 / 19{,}6 = 22{,}9$ m. 3) Ao chegar, $v_x = 13{,}0$ m/s e $v_y = 7{,}5 - 9{,}8 \cdot 2{,}93 = -21{,}2$ m/s; rapidez 24,8 m/s, a mesma que dá a conservación da enerxía: $\sqrt{(15^2 + 2 \cdot 9{,}8 \cdot 20)} = 24{,}8$ m/s. 4) Desde 20 m, a 45° o alcance é 35,8 m, menos que a 30°: con altura inicial o ángulo óptimo é menor de 45°

Juan Ramón Grijota · SimulaCiencia. Guía publicada baixo licenza CC BY-SA 4.0: podes adaptala e compartila citando a autoría e coa mesma licenza. Versión actualizada e simulación en simulaciencia.es/gl/guias/caida-libre/.