Guía docente: simulación de caída libre y tiro parabólico

Ficha rápida

La simulación de caída libre y tiro parabólico lanza un objeto cerca del suelo y deja una estela de puntos a intervalos iguales de tiempo, con los vectores velocidad y aceleración en cada instante. Muestra que la caída libre, el tiro vertical, el tiro horizontal y el tiro oblicuo son el mismo movimiento, con la aceleración de la gravedad siempre hacia abajo, y que solo cambian la altura y la velocidad con que empiezan. Un botón quita o pone el aire para ver por qué una pluma y una bola de acero caen distinto en el aula y a la vez en la Luna. Su uso principal es 4.º ESO y 1.º Bachillerato.

Dato	Detalle
Enlace	simulaciencia.es/simulaciones/caida-libre/
Cursos	4.º ESO y 1.º Bachillerato
Materia	Física y Química
Duración orientativa	15–20 minutos de explicación con la simulación proyectada; el modo «Reto» da para otra sesión de problemas
Material	Proyector o pizarra digital; funciona en navegador, también en móvil y tableta, sin instalar nada. En pantallas estrechas el lienzo queda arriba y los controles debajo; para explicar es mejor una pantalla grande
Conocimientos previos	Para 4.º ESO, el movimiento rectilíneo uniforme y la idea de aceleración. Para 1.º Bachillerato, el MRUA, la descomposición de un vector en componentes y las razones trigonométricas
Accesibilidad	Cuatro temas visuales (SimulaCiencia, oscuro, claro y alto contraste) en el botón del engranaje. Velocidad ×1, ×0,5 y ×0,25, y un deslizador de instante con botones − y + para avanzar paso a paso. Los lanzamientos, la llegada al suelo y la altura máxima se anuncian con lector de pantalla. Teclas: espacio para lanzar o pausar y R para reiniciar

Cómo funciona la simulación

La simulación tiene tres modos, «Vertical», «Parabólico» y «Reto», que se eligen arriba del panel izquierdo. El lienzo muestra el suelo, el punto de lanzamiento (una persona sobre una plataforma o una azotea si hay altura), unos ejes con la escala en metros y, arriba, una franja con el nombre del movimiento, el lugar y el valor de g. La escala del dibujo se ajusta sola para que quepa toda la trayectoria.

Modo	Qué se ve
Vertical	Caída libre y tiro vertical. «Altura inicial (h_0)» de 0 a 100 m y «Velocidad inicial (v_0)» de 30 m/s hacia abajo a 30 m/s hacia arriba; en el centro, 0 m/s («soltar»). Ejemplos: «Caída libre» (45 m, 0 m/s), «Lanzar hacia arriba» (0 m, 20 m/s ↑) y «Lanzar hacia abajo» (30 m, 10 m/s ↓). Mientras el objeto sube, los puntos de la estela son huecos, y cuando baja son rellenos, para que la subida y la bajada no se confundan en la misma vertical
Parabólico	Tiro horizontal y oblicuo. «Altura inicial» de 0 a 50 m, «Rapidez inicial» de 0 a 30 m/s y «Ángulo de lanzamiento» de −30° (hacia abajo) a 90° (vertical). Ejemplos: «Tiro horizontal» (20 m, 10 m/s, 0°), «Desde el suelo» (0 m, 20 m/s, 45°) y «Desde una azotea» (20 m, 15 m/s, 30°)

Modo	Qué se ve
Reto	Cuatro problemas con datos al azar: «Hasta el balcón» y «¿Cuánto tarda?» (4.º ESO) y «A la diana» y «Dos ángulos» (Bachillerato). Siempre en la Tierra y sin aire. Se escribe la respuesta calculada en el cuaderno, se pulsa «Comprobar» y la simulación lanza con ese valor

Grupo «Qué se lanza y dónde» (modos Vertical y Parabólico):

- **Objeto.** Bola de acero, balón de baloncesto, pelota de tenis, pelota de ping-pong, bola de papel o pluma, con su masa. Sin aire, el objeto no cambia nada; con aire, cada uno se frena de forma distinta.
- **Lugar.** Tierra (g = 9,8 m/s²), Luna (1,6 m/s²), Marte (3,7 m/s²) o Júpiter (24,8 m/s²).
- **«Con aire».** Solo en la Tierra. Con la casilla marcada, la franja avisa de que el movimiento ya no es caída libre o de que la trayectoria ya no es una parábola, y en el modo Parabólico se dibuja en gris la trayectoria del mismo lanzamiento sin aire.
- **«Comparar con otro objeto»** (modo Vertical). Suelta a la vez otro objeto, a la derecha, desde la misma altura.
- **«Soltar otra bola a la vez»** (modo Parabólico). Una bola cae desde el punto de lanzamiento en el mismo instante: llega al suelo a la vez que la lanzada.
- **«Conservar trayectorias anteriores»** (modo Parabólico). Deja hasta cinco trayectorias en gris con su ángulo, para comparar alcances.

Grupo «Qué se ve»:

- **«Vectores velocidad y aceleración».** La velocidad en azul, tangente a la trayectoria, con sus componentes v_x y v_Y en el modo Parabólico, y la aceleración en naranja, siempre hacia abajo. Las dos flechas están a escalas distintas, y la leyenda lo dice.
- **«Proyecciones sobre los ejes».** Dos «sombras» del objeto, una sobre el suelo y otra sobre el eje vertical, cada una con su propia estela: la del suelo avanza con puntos igual de separados (MRU) y la del eje, con puntos cada vez más separados al bajar (MRUA).
- **«Estela: un punto cada»** 0,1 s, 0,2 s o 0,5 s.
- **«Pausar en la altura máxima».** La animación se detiene en el punto más alto para comentar los vectores.
- **«Ocultar resultados».** Esconde el tiempo de vuelo, la altura máxima, el alcance y la velocidad al llegar, para que se calculen antes de lanzar. Las gráficas solo muestran lo ya recorrido.

En la barra de abajo están «Lanzar» (que pasa a «Pausar», «Reanudar» y «Lanzar otra vez»), «Reiniciar», la velocidad ×0,25, ×0,5 o ×1 y el botón «Gráficas», que añade bajo el lienzo las gráficas posición–tiempo y velocidad–tiempo de las dos componentes. Debajo, la fila «Instante» permite ir a cualquier momento del lanzamiento con el deslizador o con los botones − y +, que avanzan un intervalo de la estela.

El desplegable «Datos del movimiento» da, en el instante actual, el tiempo, la posición x, la altura y, v_x, v_Y (con una flecha que indica si sube o baja) y la rapidez $|v|$, y en «Resultados del lanzamiento», el tiempo de vuelo, la altura máxima, el alcance y la velocidad al llegar. «Ecuaciones del movimiento» escribe las ecuaciones con los valores sustituidos, por ejemplo «$y = 20 + 7{,}5 \cdot t - 4{,}9 \cdot t^2$», y debajo los resultados calculados con ellas. «Ideas clave» resume cinco ideas: todos los objetos caen igual sin aire, la aceleración es siempre g hacia abajo, en el punto más alto la velocidad vertical es cero, los dos movimientos son independientes y el aire rompe la parábola.

Sin aire, la simulación usa las ecuaciones exactas, así que sus números coinciden con los de un problema resuelto en el cuaderno con g = 9,8 m/s².

Uso en cada curso

En 4.º ESO la simulación trabaja la caída libre y el tiro vertical como MRUA, la predicción de movimientos a partir de sus ecuaciones y la idea de que todos los cuerpos caen igual en ausencia de aire. En 1.º Bachillerato trabaja la composición de movimientos: el tiro horizontal y el tiro oblicuo como suma de un MRU y un MRUA independientes. Los saberes y criterios citados son los del currículo LOMLOE de la Comunidad de Madrid.

4.º ESO: caída libre y tiro vertical

15–16 años · 10th grade en EE. UU. · Year 11 en Reino Unido

Saberes básicos. Bloque D: «Predicción de movimientos sencillos a partir de los conceptos de la cinemática, formulando hipótesis comprobables sobre valores futuros de estas magnitudes, validándolas a través del cálculo numérico, la interpretación de gráficas o el trabajo experimental» y «Ley de la gravitación universal: atracción entre los cuerpos que componen el universo. Concepto de peso». Bloque A: «Utilización de herramientas matemáticas adecuadas en diferentes escenarios científicos y de aprendizaje» y «el laboratorio o los entornos virtuales».

Criterios de evaluación. 1.1 (comprender y explicar con rigor los fenómenos fisicoquímicos cotidianos a partir de los principios, teorías y leyes científicas adecuadas), 1.2 (resolver los problemas planteados mediante las leyes adecuadas, expresando los resultados con corrección), 2.2 (predecir respuestas que se puedan comprobar de forma experimental o deductiva) y 3.2 (utilizar adecuadamente las unidades y las herramientas matemáticas).

Objetivos. Reconocer la caída libre y el tiro vertical como movimientos rectilíneos uniformemente acelerados con a = g hacia abajo. Explicar que, sin aire, todos los cuerpos caen con la misma aceleración, sea cual sea su masa. Calcular el tiempo de caída, la altura máxima y la velocidad al llegar al suelo. Interpretar las gráficas posición–tiempo y velocidad–tiempo de un lanzamiento vertical.

Secuencia de explicación (15–20 min).

1. Modo «Vertical», ejemplo «Caída libre» (45 m, 0 m/s), estela cada 0,2 s. Preguntar antes: ¿cae siempre a la misma velocidad? Lanzar. Los puntos de la estela están cada vez más separados: en cada 0,2 s recorre más distancia que en el anterior. Llega en 3,03 s a 29,7 m/s.
2. Marcar «Comparar con otro objeto», con la pluma y la bola de acero, y marcar «Con aire». La bola llega en 3,05 s; la pluma, a 0,8 m/s, tarda casi un minuto. Preguntar: ¿por qué? Quitar el aire: llegan juntas en 3,03 s. Lo que las separaba era el aire, no la masa. Cambiar el lugar a la Luna, que no tiene aire: caen juntas en 7,5 s, como la pluma y el martillo del Apolo 15.
3. Volver a la Tierra sin aire y abrir «Ecuaciones del movimiento». Comprobar en la pizarra que $45 = 4{,}9 \cdot t^2$ da t = 3,03 s y que $v = 9{,}8 \cdot 3{,}03 = 29{,}7$ m/s.
4. Ejemplo «Lanzar hacia arriba» (0 m, 20 m/s ↑), con «Pausar en la altura máxima». Antes de lanzar, preguntar qué valen la velocidad y la aceleración arriba del todo. En la pausa, la flecha de la velocidad ha desaparecido ($v_y = 0$) y la de la aceleración sigue igual, hacia abajo. Llega a 20,4 m en 2,04 s.
5. Reanudar. La bajada es simétrica de la subida: los puntos rellenos caen sobre los huecos, tarda otros 2,04 s y llega al suelo a 20 m/s, la misma rapidez con que salió. Mientras sube, la velocidad apunta hacia arriba y la aceleración hacia abajo: por eso frena.
6. Pulsar «Gráficas». La posición–tiempo es una parábola con el máximo en 2,04 s; la velocidad–tiempo es una recta de pendiente $-9{,}8$ m/s², que corta el eje en el mismo instante. La pendiente es la misma subiendo y bajando: la aceleración no cambia.

7. Modo «Reto», «Hasta el balcón» y «¿Cuánto tarda?». El alumnado calcula en el cuaderno, escribe el resultado y comprueba. Vale la respuesta redondeada a dos cifras significativas.

1.º Bachillerato: composición de movimientos

16–17 años · 11th grade en EE. UU. · Year 12 en Reino Unido

Saberes básicos. Bloque D: «Variables cinemáticas en función del tiempo en los distintos movimientos que puede tener un objeto, con o sin fuerzas externas: resolución de situaciones reales relacionadas con la física y el entorno cotidiano», «Relación de la trayectoria de un movimiento compuesto con las magnitudes que lo describen» y «Composición de movimientos: tiro horizontal y tiro oblicuo».

Criterios de evaluación. 1.2 (resolver problemas de manera experimental y analítica, utilizando principios, leyes y teorías de la física), 2.1 (analizar y comprender la evolución de los sistemas naturales utilizando modelos, leyes y teorías), 3.2 (utilizar con rigor las unidades y elaborar e interpretar gráficas que relacionan variables físicas) y 5.2 (reproducir en laboratorios, reales o virtuales, procesos físicos modificando las variables que los condicionan).

Objetivos. Descomponer la velocidad inicial en sus componentes. Describir el tiro horizontal y el oblicuo como la composición de un MRU en horizontal y un MRUA en vertical, independientes entre sí. Escribir las ecuaciones x(t) e y(t) y obtener de ellas el tiempo de vuelo, la altura máxima y el alcance. Justificar por qué dos ángulos complementarios dan el mismo alcance desde el suelo y por qué el aire reduce el alcance y el ángulo óptimo.

Secuencia de explicación (15–20 min).

1. Modo «Parabólico», ejemplo «Tiro horizontal» (20 m, 10 m/s, 0°), con «Proyecciones sobre los ejes». La sombra del suelo deja puntos igual de separados (MRU, 10 m/s); la del eje vertical, puntos cada vez más separados (MRUA), igual que una caída libre.
2. Marcar «Soltar otra bola a la vez». Preguntar antes cuál llegará primero. Llegan juntas, en 2,02 s, porque el tiempo de caída solo depende de la altura. La bola lanzada cae a 20,2 m del pie de la azotea.
3. Con los vectores: v_x no cambia en todo el vuelo; v_Y crece hacia abajo 9,8 m/s cada segundo. Al llegar, v_x = 10,0 m/s y v_Y = 19,8 m/s hacia abajo, y la rapidez es $\sqrt{(10^2 + 19{,}8^2)}$ = 22,2 m/s.
4. Ejemplo «Desde el suelo» (0 m, 20 m/s, 45°), con «Pausar en la altura máxima». En la cima la velocidad no es cero: queda v_x = 14,1 m/s, horizontal. Solo en el tiro vertical se para del todo. Altura máxima 10,2 m, alcance 40,8 m, tiempo de vuelo 2,89 s.
5. Marcar «Conservar trayectorias anteriores» y lanzar a 30°, 45° y 60° con 20 m/s. 30° y 60° caen en el mismo punto, 35,3 m: son ángulos complementarios y sen(2α) es igual para los dos. 45° llega más lejos. Comprobarlo con $x = v_0^2 \cdot \text{sen}(2\alpha) / g$.
6. Marcar «Con aire» con la pelota de tenis. El alcance a 45° baja de 40,8 m a 25,7 m, la trayectoria se vuelve asimétrica (baja más empinada de lo que subió) y la línea gris recuerda la parábola sin aire. Con aire, el ángulo que llega más lejos baja a unos 40°.
7. Ejemplo «Desde una azotea» (20 m, 15 m/s, 30°) con «Ocultar resultados». Plantear el problema: tiempo de vuelo, altura máxima y alcance. Resolverlo, quitar la casilla y comprobar: 2,93 s, 22,9 m y 38,0 m. Para terminar, los retos «A la diana» y «Dos ángulos».

Concepciones alternativas que ayuda a corregir

La simulación ataca sobre todo la idea de que los cuerpos pesados caen antes y la confusión entre velocidad y aceleración en el punto más alto. Cada fila indica la idea previa frecuente y cómo desmontarla

con la simulación.

Idea del alumnado	Idea correcta	Cómo mostrarlo
«Los objetos pesados caen más rápido»	Sin aire, todos caen con la misma aceleración g; lo que los separa es el rozamiento con el aire	Comparar pluma y bola de acero desde 45 m: con aire, 56 s frente a 3 s; sin aire, juntas en 3,03 s. En la Luna, juntas en 7,5 s
«En el punto más alto la aceleración es cero, porque el objeto está parado»	La aceleración es g hacia abajo en todo el vuelo, también arriba; lo que se anula es la velocidad vertical	«Pausar en la altura máxima» con los vectores: la flecha de la aceleración no cambia, y en la gráfica velocidad–tiempo la recta tiene la misma pendiente antes y después
«Mientras sube, la fuerza del lanzamiento lo empuja hacia arriba»	Al soltarlo, la única fuerza (sin aire) es el peso; sube porque lleva velocidad, y frena porque la aceleración va en contra	Vectores en «Lanzar hacia arriba»: velocidad hacia arriba cada vez más corta y aceleración siempre hacia abajo
«En el tiro parabólico, en el punto más alto la velocidad es cero»	Solo se anula v_Y; v_x sigue igual	«Desde el suelo» con pausa en la cima: queda la flecha horizontal y el panel marca v_x = 14,1 m/s
«Una bala disparada en horizontal tarda más en caer que una que se suelta»	Los dos movimientos son independientes: el tiempo de caída solo depende de la altura	«Soltar otra bola a la vez»: las dos llegan juntas, y las proyecciones verticales coinciden en cada instante
«El objeto va recto y luego cae de golpe»	La trayectoria es una parábola desde el primer instante, porque g actúa desde el principio	Estela cada 0,1 s en el tiro horizontal y proyecciones: la sombra vertical empieza a caer desde el lanzamiento
«A 45° se llega siempre más lejos»	Solo desde el suelo y sin aire; con altura inicial o con aire, el ángulo óptimo es menor	«Conservar trayectorias»: con aire, 40° llega algo más lejos que 45°; desde la azotea, 30° supera a 45°

Simplificaciones que conviene conocer

La simulación prioriza que los números coincidan con los de un problema de clase y que se vea con claridad la composición de movimientos. Conviene conocer estas licencias para no reforzar ideas incorrectas sin querer.

1. **g constante y Tierra plana.** Se toma g = 9,8 m/s² en toda la trayectoria y el suelo es plano. Para alturas de unos cientos de metros la diferencia con la realidad es inapreciable.
2. **El objeto es un punto.** No gira ni rebota: se detiene al tocar el suelo. No hay efecto Magnus (el que curva una pelota con efecto).
3. **Un modelo de aire sencillo.** Con aire, el rozamiento es proporcional al cuadrado de la velocidad y cada objeto queda definido por su velocidad límite: acero 105 m/s, balón 20 m/s, tenis 22 m/s, ping-pong 9 m/s, papel 5 m/s y pluma 0,8 m/s. Son valores orientativos; una pluma real además planea y se balancea. Con aire, la simulación integra paso a paso y las ecuaciones del panel son las del mismo lanzamiento sin aire.
4. **Solo hay aire en la Tierra.** La Luna no tiene atmósfera, pero Marte sí tiene una muy tenue, que la simulación no tiene en cuenta. Júpiter no tiene superficie sólida: está para comparar el valor de g.
5. **Flechas a escalas distintas.** La velocidad y la aceleración no se miden en las mismas unidades, así que su longitud relativa no significa nada. Lo importante es la dirección y cómo cambia cada una.
6. **Las proyecciones son una construcción.** Las «sombras» sobre los ejes no existen en la realidad; sirven para separar los dos movimientos que forman el tiro.

7. **Tolerancia en los retos.** Se da por buena la respuesta redondeada a dos cifras significativas, y en los tiros, caer a menos de 0,5 m del centro de la diana.

Ficha de actividades del alumnado

La ficha de actividades sigue el esquema predice, observa y explica. Cada actividad enlaza a la simulación ya preparada, así que funciona en el aula de informática, con tabletas o como tarea en casa. Se descarga en Word y LibreOffice para adaptarla.

Curso	Actividades	Duración orientativa
4.º ESO	Actividades 1 a 4, Aplica lo aprendido (1 a 3) y los retos «Hasta el balcón» y «¿Cuánto tarda?»	Una sesión de 50–55 minutos, o dos si se hacen en clase los problemas
1.º Bachillerato	Actividad 1 como repaso, actividades 5 a 7, Aplica lo aprendido (4 y 5) y Para ampliar	Una o dos sesiones

La tabla de «Antes de empezar» recoge cinco ideas previas sobre la caída de los cuerpos. Conviene no corregirla al principio: el alumnado vuelve a ella en «Revisa tus ideas». Con aire, la pluma tarda casi un minuto en caer desde 45 m: se puede pasar a ×1 o pulsar «Reiniciar» cuando ya se ha visto que la bola llega mucho antes.

Soluciones

Apartado	Solución
Antes de empezar	a) Falsa: sin aire caen juntas (actividad 1). b) Falsa: la aceleración es g hacia abajo también en el punto más alto (actividad 3). c) Verdadera: sube y baja con la misma rapidez al mismo nivel (actividad 3). d) Falsa: llegan a la vez (actividad 5). e) Falsa: en la cima solo se anula la velocidad vertical (actividad 6)
Actividad 1	Con aire: la bola de acero tarda unos 3,05 s y la pluma unos 56 s. Sin aire: las dos, 3,03 s. En la Luna: 7,5 s las dos. Lo que hace caer distinto a la pluma es el aire, no su masa: sin aire, todos los objetos caen con la misma aceleración
Actividad 2	Los puntos están cada vez más separados: en cada intervalo recorre más distancia, así que la velocidad aumenta. Velocidades: 0, 9,8, 19,6 y 29,4 m/s a los 0, 1, 2 y 3 s. t = 3,03 s y 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. La velocidad aumenta 9,8 m/s cada segundo: eso es g
Actividad 3	Altura máxima 20,4 m en 2,04 s; vuelve al suelo en 4,08 s a 20 m/s. En el punto más alto v = 0 y la aceleración sigue siendo 9,8 m/s² hacia abajo. Mientras sube, la velocidad va hacia arriba y la aceleración hacia abajo, por eso frena. $h = v_0^2 / (2g) = 400 / 19{,}6 = 20{,}4$ m; $t = v_0 / g = 2{,}04$ s
Actividad 4	La posición–tiempo es una parábola (curva) con el máximo en 2,04 s. La velocidad–tiempo es una recta que baja: pasa de +20 a −20 m/s y corta el eje en 2,04 s. La pendiente es −9,8 m/s², la aceleración, y es la misma al subir y al bajar
Actividad 5	Llegan a la vez, en 2,02 s. La sombra del suelo avanza con puntos igual de separados (MRU) y la del eje, con puntos cada vez más separados (MRUA). La bola lanzada cae a 20,2 m. El movimiento horizontal no afecta al vertical: el tiempo de caída solo depende de la altura
Actividad 6	En la cima, $v_y = 0$ y $v_x = 14{,}1$ m/s: la velocidad no es cero, es horizontal. v_x es igual en todo el vuelo. La aceleración sigue siendo g hacia abajo. Altura máxima 10,2 m, tiempo de vuelo 2,89 s y alcance 40,8 m
Actividad 7	Sin aire: 15°, 30° y 45° dan 20,4 m, 35,3 m y 40,8 m; 60° y 75°, 35,3 m y 20,4 m. Los ángulos complementarios dan el mismo alcance porque $\text{sen}(2\alpha) = \text{sen}(180° - 2\alpha)$. El máximo, a 45°. Con aire y la pelota de tenis, los alcances bajan (unos 25,7 m a 45°) y el mejor ángulo es menor, unos 40°

Apartado	Solución
Aplica lo 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 subida $= 15 / 9{,}8 = 1{,}53$ s; vuelo 3,06 s. 3) En la Luna, $t = \sqrt{(2 \cdot 45 / 1{,}6)} = 7{,}5$ s, frente a 3,03 s en la Tierra: g es unas 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) Al llegar, $v_x = 13{,}0$ m/s y $v_y = 7{,}5 - 9{,}8 \cdot 2{,}93 = -21{,}2$ m/s; rapidez 24,8 m/s, la misma que da la conservación de la energía: $\sqrt{(15^2 + 2 \cdot 9{,}8 \cdot 20)} = 24{,}8$ m/s. 4) Desde 20 m, a 45° el alcance es 35,8 m, menos que a 30°: con altura inicial el ángulo óptimo es menor de 45°

Juan Ramón Grijota · SimulaCiencia. Guía publicada bajo licencia CC BY-SA 4.0: puedes adaptarla y compartirla citando la autoría y con la misma licencia. Versión actualizada y simulación en simulaciencia.es/guias/caida-libre/.