



El salto de la rana, Tracker y los humedales.



Martín Massaferro ¹

¹ Liceo N° 68 "Paulina Luisi", Dirección General de Educación Secundaria, Montevideo, Uruguay.

E-mail: massaferro@gmail.com

(Recibido el 9/11/2025, aceptado el 3/12/2025)

Resumen

Este artículo presenta una experiencia interdisciplinaria entre Física y Biología desarrollada con estudiantes de segundo año de bachillerato opción ciencias y tecnología en Uruguay. La actividad, denominada "El salto de la rana", propone analizar el movimiento de una rana mediante el uso del software Tracker y registros en video, con el objetivo de contextualizar el estudio del movimiento parabólico y establecer vínculos entre conceptos físicos y biológicos. A través del análisis cinemático de las fases de impulso y vuelo, los estudiantes identificaron magnitudes relevantes como velocidad inicial, ángulo de salida, aceleración y fuerza neta, comparando los resultados con modelos teóricos y observaciones biológicas. La propuesta favoreció la motivación, la comprensión significativa de los conceptos de cinemática y la integración de saberes científicos, demostrando el potencial de las actividades basadas en video análisis para la enseñanza interdisciplinaria en ciencias.

Palabras clave: interdisciplinario, Biología, Física, experimento, análisis de video, movimiento parabólico, Tracker, ecosistemas, rana.

Abstract

This paper presents an interdisciplinary experience combining Physics and Biology, carried out with second-year high school students in the science and technology specialization in Uruguay. The activity, titled "The Frog's Jump", involves analyzing a frog's motion using Tracker software and video recordings to contextualize the study of projectile motion and connect physical and biological concepts. Through the kinematic analysis of the take-off and flight phases, students identified key variables such as initial velocity, launch angle, acceleration, and net force, comparing their findings with theoretical models and biological observations. The project fostered student engagement, meaningful understanding of kinematics, and integration of scientific knowledge, highlighting the potential of video-based experiments for interdisciplinary science education.

Keywords: Interdisciplinary, Biology, Physics, experiment, video analysis, parabolic motion, Tracker, ecosystems, frog.

1. Introducción

En tiempos de interdisciplinariedad, diseños competenciales, aprendizaje basado en proyectos y tantos otros enfoques, volver a los aportes de Ausubel, Bruner o Morin, así como los de Pozo y Sanmartí, podría parecer nostálgico o caer en los mismos artículos de siempre. Sin embargo, cuando me propuse escribir sobre una experiencia didáctica, fueron justamente ellos quienes aparecieron en mis primeras líneas. Son la base de la construcción de mi planificación anual, claves en los andamiajes para mis actividades de aula y fundamentales en las dimensiones de mis evaluaciones. En definitiva, son parte estructurante de mi ser docente.

También me pregunté si, en la época de la inteligencia artificial, tenía sentido escribir un artículo o compartir una planificación. Pensé: “ya está todo inventado”. Y quizá sí. Pero este trabajo busca, simplemente, compartir la experiencia de un docente con sus colegas, esperando que nos permita seguir pensando nuestras prácticas de aula, situadas y contextualizadas.

Este texto no tiene carácter investigativo. Muchas de las afirmaciones que contiene se sustentan únicamente en la práctica y la experiencia de quien escribe, y por tanto expresan una visión necesariamente parcial. Reconozco en este ejercicio de escribir para otros, la necesidad de seguir jerarquizando la formación docente y poner mayor atención en la investigación educativa y en la escritura académica. Pero, como se dice, eso ya es harina de otro costal.

1.1. Contexto

En el marco de la implementación de la llamada transformación educativa llevada a cabo a partir de 2023, los estudiantes de segundo de Bachillerato en 2025 se encontraban buscando una orientación que ya no existe¹. Aquellos estudiantes que buscaban una opción académica dentro del área de las ciencias, debieron optar por el llamado “Espacio Ciencias y Tecnología” (CT).

Así, nuestras aulas comenzaron a mostrar una diversidad de intereses aún mayor que cuando el plan reformulación 2006 estaba vigente con “científico” y “biológico”. Los estudiantes reclamaban más biología en el currículum específico de ciencias. Esta situación abrió nuevas oportunidades para contextualizar los aprendizajes, pero también nos enfrentó a la tentación de

caer en lo falsamente cotidiano o en lo no significativo para nuestros alumnos.

Un diagnóstico inicial realizado en un grupo matutino de un liceo de la zona centro de Montevideo reveló un fuerte interés por las ciencias biológicas y, al mismo tiempo, una debilidad en la integración de las ciencias con las matemáticas. Otro aspecto destacado fue la clara voluntad de continuar estudios terciarios y el deseo de que el liceo sea un espacio para aprender con sentido. Por tanto, el diseño de la planificación debía atender esa realidad concreta. Así es como surge el interés de trabajar para lograr actividades interdisciplinarias significativas para nuestros estudiantes y conseguir construir el conocimiento específico desde la experiencia.

Tabla 1. Secuencia de módulos de aprendizaje. Planificación anual 2025. Elaboración propia.

Módulos de aprendizaje:		Actividades experimentales:
Introducción		1. Velocidad media (Cronómetro)
Leyes de Newton	Cinemática en una dimensión	2. Movimientos Rectilíneos (Tracker) 3. Plano Inclinado con “carro” (fotopuerta)
	Cinemática en dos dimensiones	4. Caída Libre (Tracker) 5. Tiro horizontal (Tracker)
	Tres leyes fundamentales	6. Hooke (balanza) 7. Plano Inclinado con “bloque” (balanza) 8. El salto de la rana
Energía	Parte 1 - Conservación y sistemas	9. Sistema masa-resorte (balanza, fotopuerta)
	Parte 2 - Energía mecánica	

Este artículo no trata sobre la confección de un plan anual ni de una planificación por módulos, pero sí se considera importante situar la actividad propuesta

¹ Los documentos preliminares hacia 2026 incluyen nuevamente un curso de 2ºEMS Ciencias y Tecnología orientado a la Biología.

dentro de su contexto pedagógico. La tabla 1 presenta la secuencia temporal de los módulos de aprendizaje y algunas de las actividades experimentales que precedieron a la experiencia que aquí se describe.

La actividad “El salto de la rana” (Actividad exp. Nro.8) es una actividad enmarcada en un trabajo interdisciplinario y con enfoque experimental, que consiste en el análisis mediante video del movimiento descrito por una rana al efectuar uno de sus movimientos más característicos: el salto.

1.2. Objetivos de la actividad

El proyecto interdisciplinario “El salto de la rana” pretende ser un puente entre asignaturas (Física y Biología) de un grupo de segundo año CT para contextualizar movimientos en dos dimensiones, y así atender los intereses de los estudiantes identificados en las instancias de diagnóstico del módulo introductorio.

En esta actividad experimental de video análisis, se espera que los estudiantes determinen el o los tipos de movimiento a partir de la interpretación de gráficos posición-tiempo ($x(t)$ e $y(t)$). Asimismo, se espera que identifiquen las causas de dichos movimientos, tanto desde la física como desde la biología. En este punto cabe agradecer a la Prof. Mag. Alicia Cara (Docente de Biología del grupo 2°CT2) quien es parte importante del inicio de esta actividad.

Tabla 2. Objetivos del Proyecto Interdisciplinario.

Biología:	Física:
Identificar características anatómicas y fisiológicas que permiten el salto en ranas. Analizar el comportamiento del animal en relación con su hábitat y estrategias de supervivencia. Comprender la interacción de la rana con su ecosistema.	Determinar el tiempo de reacción de la rana y sus depredadores. Analizar la trayectoria de la rana durante el salto e identificar el tipo de movimiento. Calcular magnitudes cinemáticas (velocidad, ángulo de salida, altura máxima, alcance, entre otros). Determinar fuerza neta a partir de la aceleración.

1.3. Objetivos secundarios

Es interesante hacer una breve revisión bibliográfica sobre las oportunidades de contextualización que nos ofrecen los textos clásicos sobre física general, entre los que podríamos mencionar a autores como Blatt, Hecht, Hewitt, Tipler o Wilson, en donde los movimientos parabólicos o diversos problemas de lanzamiento se vinculan con disparos, flechas, cañones y balística en general.

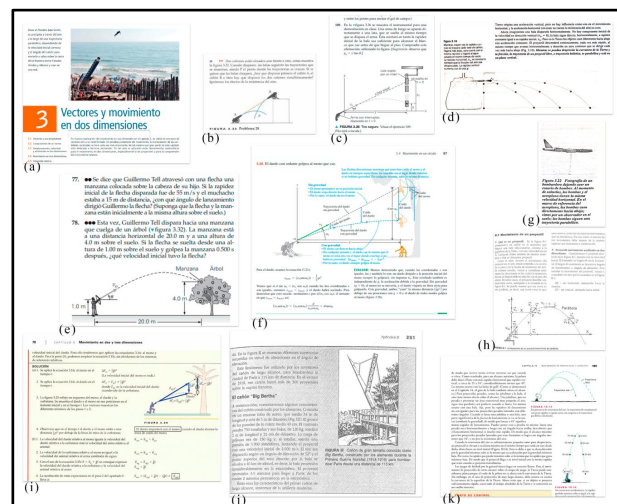


Figura 1. Contextualización de movimientos parabólicos con disparos (ver anexo 2).

Era una preocupación, al momento de planificar el módulo de movimientos parabólicos, poder encontrar opciones que dejaran fuera del aula las armas. Es de orden aclarar que mucha de la bibliografía disponible también contextualiza el modelo teórico en base a deportes como el básquetbol o el golf.

TABLA 3.3
DATOS BALÍSTICOS REALES*

Arma	Características del proyectil		Alcance máximo		
	Masa (kg)	Diámetro (mm)	Rapidez de salida (m/s)	Calculado (km)	Real (km)
Lanzagranadas	0.23	40.0	76	0.59	0.40
Mortero	4.2	81.0	240	5.90	3.74
Pistola Cal. 0.45	16.2×10^{-3}	11.4	262	7.00	1.50
Mortero	11.8	106.7	299	9.10	5.61
Cañón/obús M198	43.0	155.0	376	14.4	9.87
Cañón/obús 8 pulg. M1	90.7	203.0	594	36.0	16.6
Rifle M-14	10.1×10^{-3}	7.62	853	74.0	3.7
Rifle M-16	3.6×10^{-3}	5.56	991	100.0	2.6

* Hay bastante variación en rapidez de salida y alcance, que dependen de factores tales como condiciones ambientales y carga de pólvora.

Figura 2. Datos balísticos reales (Hecht. 1999. p.75).

2. Modelo teórico

Es posible modelar el salto de una rana como un movimiento bidimensional, el cual tiene al menos tres fases que se identificarán como: impulso, vuelo y aterrizaje. Cada una de estas fases tiene una implicancia directa con la anatomía del anfibio (articulaciones, músculos y centro de masa). En este artículo, el foco está puesto particularmente en la física del salto; un análisis cinemático con una incidencia menor de las leyes de Newton.

El *impulso*² es una fase de aceleración plena que ocurre en intervalos de tiempo de entre 100ms y 150ms (Astley & Roberts, 2014), y dependiendo del ángulo de salida encontraremos mayor o menor concavidad en los gráficos $x(t)$ e $y(t)$ para dicha fase.

Una segunda fase que llamaremos *vuelo* ocurre cuando la rana se encuentra completamente en el aire y la influencia de la gravedad acelera verticalmente al animal describiendo un “movimiento de proyectil”. Dependiendo de cada salto y de la especie que se esté estudiando se deberá discutir la pertinencia de despreciar el efecto del rozamiento con el aire.

Por último, se identifica una tercera fase de desaceleración en el aterrizaje, que quedará fuera del alcance de este proyecto por tiempos y también por entender que no aporta nuevos conceptos a la discusión.

3. Experimento

3.1. Aspectos procedimentales

Si bien hasta el momento no fue posible encontrar filmaciones disponibles en línea que cumplieran con los requerimientos para realizar un análisis de video adecuado (como ser una cámara estática, un plano de cámara paralelo al plano de movimiento, el tiempo de filmación en velocidad normal y un lente sin efecto *ojo de pez*) un análisis³ preliminar con un video tomado del documental “Cómo las ranas consiguieron su salto vertical”⁴ (The New York Times, 2018), mostró que era posible hacer un análisis cualitativo del salto de la rana. Por lo tanto, se entiende que es posible cumplir con la mayoría de los objetivos planteados inicialmente para este proyecto interdisciplinario.

² Si bien *Impulso* no se utilizó durante la actividad como la variación en la cantidad de movimiento, sino por su acepción en el Diccionario de la lengua española (RAE, s.f.), podría servir para una futura introducción del concepto, dado que no produce en sí mismo una incongruencia conceptual.

³ Análisis preliminar disponible en “Anexo 1”.

La falta de referencias en el fondo de los videos o la poca información disponible sobre las especies filmadas, implica un trabajo taxonómico previo para la identificación del anfibio en cuestión y una investigación sobre sus dimensiones. Esto último permite utilizar a la propia rana como vara de calibración del video.



Figura 3. Vara de calibración de Tracker.

Como primer paso para la identificación de la especie se utilizaron diversas imágenes capturadas desde el video utilizado, que se cargaron en *Google Lens* para una identificación mediante el uso de la inteligencia artificial. Si bien la rana detectada (rana pretiosa)⁵ no es ni una especie autóctona ni está presente en nuestros humedales, entendemos que la mecánica del salto es similar al de la Rana Monito⁶.

Determinar el tiempo de reacción de la rana a partir de los videos en *cámara lenta* presenta un problema: la indeterminación del tiempo del fotograma. La solución escogida implica utilizar el tiempo promedio de impulso de la especie identificada para lograr establecer una calibración del tiempo del experimento, identificando el momento del video en que ya no hubiera contacto del anfibio con el suelo. La ecuación 1 muestra la transformación del tiempo en unidades arbitrarias (*u.a.*) a segundos (*s*).

$$t_{(s)} = t_{(u.a.)} \cdot \frac{0,100}{2,5} \quad (1)$$

Tabla 3. Datos para la calibración del video. Elaboración propia.

Largo de la rana aproximado:	10 cm
Tiempo de impulso aproximado:	100 ms

⁴ Traducción de “How frogs got their vertical leap.” (2018)

⁵ Conocida como “Oregon spotted frog” de unos 10cm de longitud (WDFW, s.f.).

⁶ Nombre científico: *Phyllomedusa iheringii* de unos 6,5cm de longitud (CED, s.f.).

3.2. Procesamiento de datos

La secuencia de puntos experimentales indica un comportamiento según lo esperado, identificando dos tramos bien definidos. Los datos de posición para cada eje en función de los datos temporales corregidos en base a la ecuación 1, se presentan a continuación:

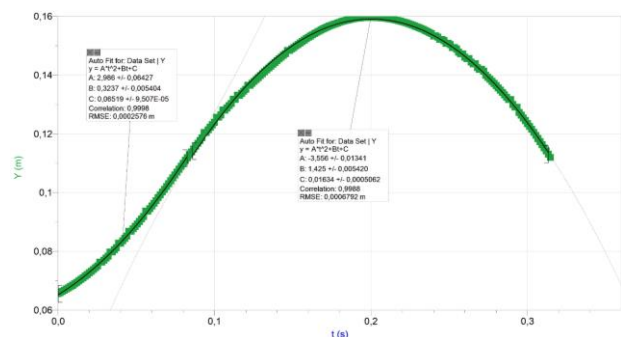


Gráfico 1. Posición en eje y en función del tiempo.

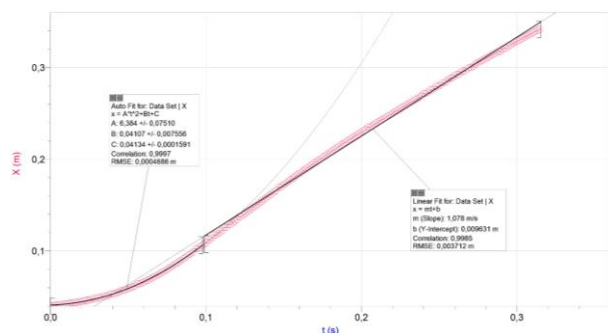


Gráfico 2. Posición en eje x en función del tiempo.

A partir de los gráficos obtenidos y la identificación de las fases de impulso y vuelo, se realizan ajustes de curva para obtener ecuaciones parametrizadas que describan las características del movimiento en cada tramo desde un punto de vista cinemático, siendo las ecuaciones para los movimientos rectilíneos de la forma general:

$$r(t) = At^2 + Bt + C \quad (2)$$

Donde r es la posición, t el tiempo y los parámetros A , B y C la mitad de la aceleración ($a/2$), la velocidad (v_i) y la posición inicial (r_0) respectivamente. La tabla 4 muestra resultados que respaldan nuestras hipótesis de forma bastante aproximada. La aceleración en el segundo tramo tiene solo componente vertical y un valor $a_{(y)} = -7,12 \text{ m/s}^2$, un poco menor que la aceleración gravitatoria medida en la tierra ($g = -9,80 \text{ m/s}^2$). Dato que también concuerda con el modelo teórico. Por su parte,

en el primer tramo (impulso), ambas ecuaciones muestran una aceleración positiva.

Tabla 4. Ajustes matemáticos para la posición en función del tiempo, identificando tramos 1) Impulso y 2) Vuelo, para cada eje. Elaboración propia.

Ecuaciones parametrizadas:	
Tramo 1	$x(t) = 6,38t^2 + 0,041t + 0,041$ $y(t) = 2,99t^2 + 0,324t + 0,065$
Tramo 2	$x(t) = 1,08t + 0,009$ $y(t) = -3,56t^2 + 1,43t + 0,016$

Si se analiza, a partir de los parámetros las condiciones iniciales del salto, más precisamente, la velocidad con la que el anfibio comienza el vuelo, obtenemos para el eje horizontal $v_{(x)i} = 1,08 \text{ m/s}$ y $v_{(y)i} = 1,43 \text{ m/s}$ para el eje vertical. Por tanto, el vector velocidad inicial del salto se calcula como:

$$v_0 = \sqrt{(1,08)^2 + (1,43)^2} = 1,79 \text{ m/s}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{1,43}{1,08}\right) = 52,9^\circ$$



Figura 4. Captura de video del instante final del impulso

3.3. Análisis y conclusiones

Asumiendo que en la etapa de vuelo las ranas describen un movimiento parabólico de proyectil, es sumamente interesante que a pesar de las aproximaciones ciertamente arbitrarias que se hicieron de calibración, el error porcentual es poco mayor al 25% respecto a la aceleración gravitatoria. No solo es un valor que podría ser relativamente aceptable en otras

experiencias de laboratorio clásicas, sino que permite la discusión sobre la incidencia de rozamientos.⁷

Por otra parte, es necesario aclarar que plantear como objetivo experimental “Determinar el tiempo de reacción de una rana” no es posible en este experimento, ya que “tiempo de reacción” implicaría para la presa detectar el peligro y actuar en consecuencia. Pero sí es posible determinar el tiempo necesario para “alejarse del peligro”. Tomaremos ese tiempo como el intervalo temporal entre el reposo y el final del tramo de “impulso”, siendo este un $\Delta t = 0,092$ s, determinado a partir del gráfico 2 buscando la intersección de las curvas de mejor ajuste.

Además del relativo éxito de los resultados experimentales, es importante destacar que los estudiantes fueron capaces de identificar los aspectos matemáticos del modelo de movimiento parabólico, definir diferentes fases o tramos del movimiento, determinar aceleraciones y asociar dichos conocimientos a contenidos de la asignatura biología, como la explicación del aparato locomotor de la rana, tanto a nivel esquelético como muscular. Desde biología, los estudiantes pudieron estudiar particularmente la diferencia entre las extremidades anteriores y posteriores de la rana que le permiten realizar saltos que, en algunos casos, pueden superar varias veces su largo corporal. En el caso del salto analizado, el alcance del salto es apenas tres veces su tamaño (ver gráfico 3).

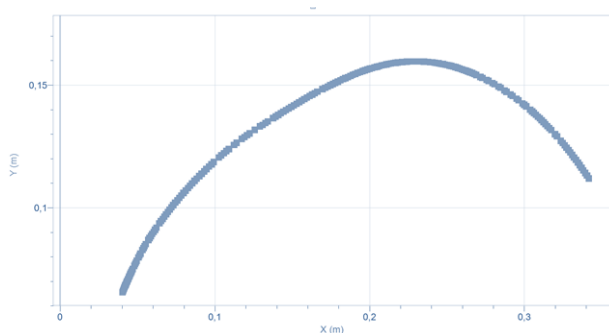


Gráfico 3. Trayectoria de la rana $y=f(x)$.

Para finalizar, destacar que, como ya se ha mencionado, este experimento no solo permite un análisis vectorial respecto a las componentes cartesianas de la velocidad de salto (v_0), sino también la posibilidad de aplicar las leyes de Newton en los diferentes tramos para determinar la fuerza neta aplicada sobre la rana. Calcular la fuerza media ejercida por la rana para la fase de impulso es posible a partir de la aplicación de la

segunda ley de Newton (ecuación 3), teniendo en cuenta un valor de masa estimado para la misma especie de $m=25g$.

$$\begin{aligned} |F_n| &= m \cdot |a| \quad (3) \\ |F_x| &= m \cdot |a_x| = (0,025)(6,38)(2) = 0,32N \\ |F_y| &= m \cdot |a_y| = (0,025)(2,99)(2) = 0,15N \\ F_m &= \sqrt{(0,32)^2 + (0,15)^2} = 0,35N \end{aligned}$$

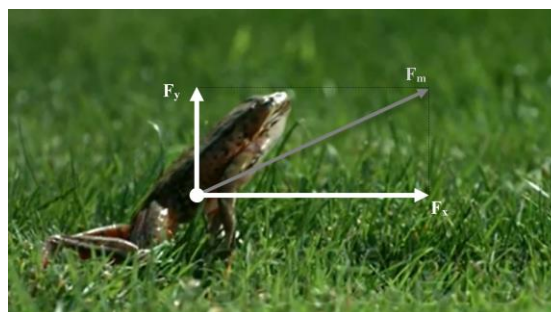


Figura 5. Análisis vectorial de la fuerza neta media aplicada sobre la rana durante la fase de impulso. Elaboración propia.

4. Reflexiones finales

A modo de cierre, e insistiendo con la subjetividad de este trabajo, es pertinente evaluar los aspectos pedagógicos de esta actividad experimental e interdisciplinaria. Por un lado, remarcar el entusiasmo y la motivación de los estudiantes por conocer los resultados del análisis de video y poder contrastar sus hipótesis. Por otro lado, el nivel de comprensión significativa de los movimientos por intervalos que demostró este trabajo interdisciplinario, y la determinación de existencia de aceleración a partir de las curvas de los gráficos de posición en función del tiempo vinculando con las leyes de Newton. Una posibilidad no contemplada por la planificación inicial es el análisis de la fuerza aplicada por la rana sobre el suelo como consecuencia de la determinación de la fuerza neta sobre la rana.

Un aspecto sumamente relevante del estudio del salto de la rana desde una perspectiva interdisciplinaria, es el análisis de la posición del centro de masa del ser vivo a lo largo del salto. Este aspecto tampoco fue contemplado inicialmente en la planificación de la actividad. A medida que avanzaba la indagación biológica respecto al sistema muscular y esquelético de la rana, el centro de masa surgió como un aspecto fundamental. Por cuestiones de coordinación

⁷ Al momento de escribir el artículo, entiendo que también habilita a la discusión entre la trayectoria real y la trayectoria

modelada de los proyectiles comparando el gráfico 3 con la imagen de la figura 1-k.

entre asignaturas durante el proyecto, no fue posible abordar en el aula la discusión de resultados experimentales tomando las diferentes referencias para el análisis de video: un punto fijo de la rana, como pueden ser los ojos (parte superior de la cabeza) o ubicando el centro de masa según cada tramo (durante el impulso se encuentra desplazado hacia la zona de la pelvis y las patas traseras, mientras que en la fase de vuelo se adelanta hacia la región troncoabdominal).

También destacar que la actividad no toma tiempos pedagógicos muy extendidos en el curso, pero sí exige una coordinación entre asignaturas para lograr el máximo provecho de descubrimiento y construcción de aprendizajes interdisciplinarios.

Como último punto, es pertinente sugerir otras posibles aproximaciones a esta actividad como ser otros saltos de otros seres vivos (ejemplo: arácnidos), en función de los ecosistemas que se pretendan trabajar desde la biología y coincidir en las planificaciones; o aplicaciones deportivas en caso de tratarse de un enfoque más orientado a la biología humana (para lo que hay mayor material disponible).

5. Referencias

Astley, H. & Roberts, T. (2014). *Mechanics of elastic loading and recoil in frog jumping* [Mecánica de la carga elástica y el retroceso en el salto de los anuros]. *Journal of Experimental Biology*. Recuperado de <https://journals.biologists.com/jeb/article/217/24/4372/12983/The-mechanics-of-elastic-loading-and-recoil-in>

Blatt, F. (1991). *Fundamentos de física* (p. 45). Prentice Hall.

Cascadia Films. (2013). *Rana saltando en la hierba a cámara lenta* [Video]. Shutterstock. Recuperado en junio de 2025, de <https://www.shutterstock.com/es/video/clip-4661927-frog-jumping-grass-slow-motion>

Contenidos Educativos Digitales (CED). (s.f.). *Rana monito*. Recuperado 4 de noviembre de 2025, de <https://contenidoseducativosdigitales.edu.uy/contenido/rana-monito/>

Diccionario de la lengua española. (s.f.). *Impulso*. Recuperado 27 de octubre de 2025, de <https://dle.rae.es/impulso>

Dirección General de Educación Secundaria (DGES). (2024). *Programa de Física – 2° EMS*. ANEP Uruguay. <https://www.anep.edu.uy/sites/default/files/images/te-programas/2024/2-3-EM/DGES/2do/F%C3%ADsica%20do%20DGES%20EMS.pdf> (Consultado el 13 de febrero de 2025)

Hecht, E. (1999). *Física 1: Álgebra y trigonometría* (2.ª ed. p.75). Thomson.

Hewitt, P. (2016). *Física conceptual* (12.ª ed., p. 189). Pearson Education. México.

Máximo, A., & Alvarenga, B. (1998). *Física general: Con experimentos sencillos* (4.ª ed., pp. 245, 251). Oxford University Press. México.

Open Source Physics. (s.f.). *Tracker (versión web)* [Software]. <https://opensourcephysics.github.io/tracker-website/>

Serway, R., & Vuille, C. (2012). *Fundamentos de física* (9.ª ed., vol. 1, p. 56). Cengage Learning. México.

The New York Times. (2018). *How frogs got their vertical leap* / *Science Take* [Video]. YouTube. Recuperado en junio de 2025, de <https://www.youtube.com/watch?v=wxvq4XA5Y5Y>

Tipler, P., & Mosca, G. (2010). *Física para la ciencia y la tecnología* (vol. 1, p. 78). Reverté. España.

Wilson, J., Buffa, A., & Lou, B. (2007). *Física* (6.ª ed., p. 100). Pearson Education. México.

Washington Department of Fish & Wildlife. (s. f.). *Oregon spotted frog (Rana pretiosa)*. Recuperado el 31 de julio de 2025, de <https://wdfw.wa.gov/species-habitats/species/rana-pretiosa#conservation>

Young, H., & Freedman, R. (2009). *Física universitaria* (12.ª ed., vol. 1, p. 87). Pearson Education. México.

Anexo 1: Análisis cualitativo del salto de la rana

Las siguientes figuras muestran el análisis de video del salto de una rana en la aplicación Tracker recuperado de “How frogs got their vertical leap /Science take.”

Este video fue dejado de lado del análisis principal por cuestiones de “impacto”. Al ser un movimiento que ocurría hacia la izquierda, no coincidía con las demostraciones de movimientos de proyectil más abundantes en la bibliografía disponible. Esto no significa, claramente, que sea menos válido, pero no generaría el mismo impacto visual en los estudiantes.

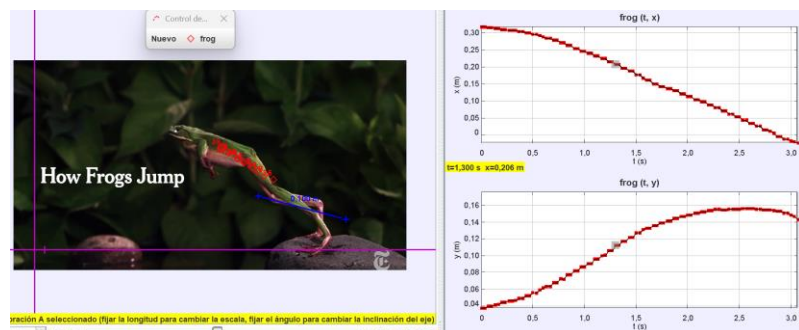
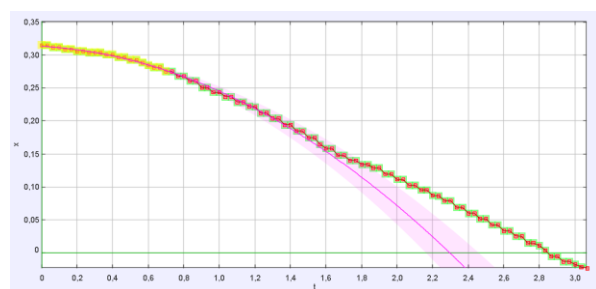
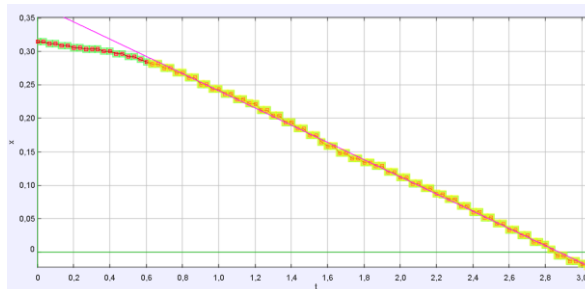


Figura 6. Captura de pantalla de aplicación Tracker. A la derecha los valores de posición para cada eje en función del tiempo en unidades arbitrarias.

Posición horizontal en función del tiempo:

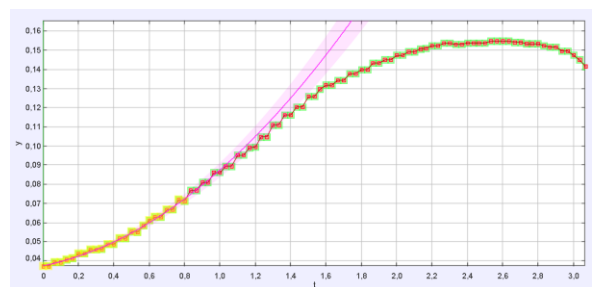


Tramo 1 – Ajuste parabólico.

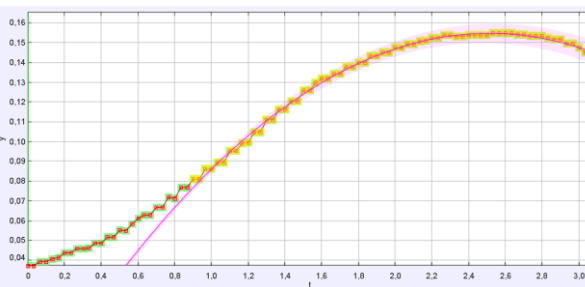


Tramo 2 – Ajuste lineal.

Posición vertical en función del tiempo:



Tramo 1 – Ajuste parabólico.



Tramo 2 – Ajuste parabólico con concavidad de distinto signo.

Anexo 2: Recortes de libros de texto de física vinculados a balística

[illegible]

Elaboración propia.

Referencias de la imagen:

- (a) Serway, R., & Vuille, C. (2012): *"Hombre bala"*
- (b) Tipler, P., & Mosca, G. (2010): *"Problema con cañones"*
- (c) Wilson, J., Buffa, A., & Lou, B. (2007): *"Disparo de revólver"*
- (d) Hecht, E. (1999): *"Disparo de cañón"*
- (e) Wilson, J., Buffa, A., & Lou, B. (2007): *"Problemas de Guillermo Tell con arco y flecha"*
- (f) Young, H., & Freedman, R. (2009): *"Cazador de monos con arma con mira telescópica y dardos"*
- (g) Blatt, F. (1991): *"Avión descargando bombas"*
- (h) Máximo, A., & Alvarenga, B. (1998): *"Análisis de bala de cañón"*
- (i) Tipler, P., & Mosca, G. (2010): *"Problema de muestra: cazador de monos"*
- (j) Máximo, A., & Alvarenga, B. (1998): *"Cañón Big Bertha"*
- (k) Hewitt, P. (2016): *"Análisis de bala de cañón"*