

# Determinación de la trayectoria de un pie al caminar: una experiencia didáctica con estudiantes del Profesorado de Biología

Determination of the trajectory of a foot when walking: a didactic experience with Biology Professorship students

Rubén Horacio Cortez Castro <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Biología, Instituto de Enseñanza Superior Dra. Carmen Peñaloza, San Juan, Argentina.

\*E-mail: [rubenhcc2@gmail.com](mailto:rubenhcc2@gmail.com)

Recibido el 6 de febrero de 2024 | Aceptado el 9 de mayo de 2024

## Resumen

El presente relato expone una experiencia didáctica realizada con estudiantes del Profesorado de Biología del Instituto de Enseñanza Superior Dra. Carmen Peñaloza. El valor del trabajo para su publicación reside, principalmente, en la incorporación del análisis de la locomoción del pie como recurso para abordar un proceso de modelización. Esto permite vincular contenidos de Física y Biología en una misma propuesta a través de la utilización de un recurso TIC. Con ese pretexto se desarrollaron actividades orientadas a que los estudiantes recuperen los conceptos de movimiento (sistema de referencia, posición, velocidad y aceleración) para utilizarlos en otro contexto y desarrollen habilidades experimentales propias de la Física. Complementariamente, también pudieron desarrollar habilidades en el uso de TIC para el aprendizaje.

**Palabras clave:** Conceptos de movimiento; Movimiento en el plano; Trayectoria modelo; Trabajo experimental.

## Abstract

The present story exposes a didactic experience carried out with Biology Professorship students at the Dra. Carmen Peñaloza Institute of Higher Education. The value of the work for publication lies mainly in the incorporation of the analysis of foot locomotion as a resource to address a modeling process. This allows Physics and Biology content to be linked in the same proposal through the use of an ICT resource. With this pretext they developed activities aimed at helping students recover movement concepts (system of reference, position, velocity and acceleration) and develop experimental skills typical of Physical. Additionally, they were also able to develop skills in the use of ICT for learning.

**Keywords:** Movement concepts; Movement in the plane; Model trajectory; Experimental work.

## I. INTRODUCCIÓN

En el Profesorado de Educación Secundaria en Biología, en el segundo cuatrimestre de segundo año, se dicta la unidad curricular Física. Esta es una asignatura con una carga horaria de 5 horas cátedra (más dos horas para consulta). Dicho espacio está dividido en cuatro unidades que abarcan la gran mayoría de tópicos de la Física Clásica y algunos de la Física Moderna. Dentro de esa estructura, uno de los temas que deben desarrollarse es movimiento en el plano. Los dos movimientos de este tipo que se abarcan son Tiro Parabólico y Movimiento Circular Uniforme.

Además de los contenidos propios de la asignatura, también es requisito establecer vínculos con la Biología, es decir, evidenciar las relaciones que pueden existir entre la Física y la Biología, atendiendo especialmente a los casos en los cuales la segunda se sirve de la primera para sus descripciones.

Por otra parte, una de las líneas de trabajo de la institución, que emana de los lineamientos establecidos por el Instituto Nacional de Formación Docente del Ministerio de Educación de la Nación (Res. CFE N.º 337/18), es brindar a los estudiantes la posibilidad de vivenciar propuestas didácticas (metodologías o estrategias) que puedan serles útiles en el desempeño de las Prácticas Docentes y en el mundo laboral posterior.

Bajo este marco, nos propusimos desarrollar una propuesta didáctica que le permitiera a los estudiantes recuperar conceptos físicos para utilizarlos en otro contexto, vincularlos con la Biología y desarrollar la capacidad para el trabajo experimental y para el uso de TIC. En virtud de este propósito, el objetivo general de la propuesta didáctica fue: Favorecer la comprensión de los conceptos básicos de los movimientos y promover el desarrollo de la capacidad experimental mediante un trabajo experimental que vincule la Física y la Biología. A continuación detallamos los contenidos y capacidades involucradas.

- Contenidos de Física: conceptos de movimiento, sistema de referencia, posición (horizontal y vertical).
- Contenidos de Biología: locomoción humana (solo a modo indagatorio, ya que la asignatura específica se desarrolla en tercer año del cursado).
- Capacidades experimentales: planificar la secuencia de ejecución del experimento de observación y medición del movimiento y ejecutarla.
- Capacidades en uso de TIC: utilizar Tracker v.6.0.9 para analizar videos de movimiento y obtener tablas de datos y gráficos de movimiento.

La propuesta consistió en la indagación sobre las trayectorias del pie de una persona al caminar, con el objetivo de analizar patrones de trayectoria que permitan construir un modelo. Este modelo construido permitiría comparar si el caminar de una persona se ajusta al patón observado. Desde el punto de vista pedagógico-didáctico este objetivo es una herramienta de vinculación entre la Biología y la Física. Además, da una respuesta contundente a la clásica pregunta que los docentes de Física hemos recibido por años (y seguimos recibiendo): ¿Para qué sirve esto que estamos estudiando? Extrapolada esa pregunta al estudio de los movimientos, sería: ¿Para qué sirve estudiar los movimientos y sus magnitudes descriptivas? Esta pregunta toma mayor valor cuando se realiza dentro de una carrera superior sobre otra Ciencia. La propuesta de estudio del movimiento de un pie al caminar es por sí sola la respuesta a esa pregunta y así lo entendieron los estudiantes del curso.

En una indagación bibliográfica, breve debido a los cortos plazos del cursado de la unidad curricular, no encontramos este tipo de determinación (encontramos solo sobre otras temáticas).

## II. DESARROLLO DE LA PROPUESTA DIDÁCTICA

A continuación, describimos el desarrollo de la propuesta didáctica implementada con los estudiantes. Cabe aclarar, a modo descriptivo del grupo de trabajo, que el curso contaba con 31 estudiantes, 30 mujeres y un varón.

### A. Estudio de los movimientos rectilíneos

Previamente al desarrollo de la propuesta que nos interesaba, se trabajaron los movimientos rectilíneos, uniforme y uniformemente variado. Durante el desarrollo de los mismos se hicieron prácticas de laboratorio y construcción de modelos matemáticos (utilizando la planilla de cálculo LibreOffice Calc v.7.5.8 disponible por Licencia Pública de Mozilla).

Durante esta parte, se abordaron los conceptos de: movimiento, sistema de referencia, posición, intervalo de tiempo, velocidad y aceleración.

### B. Estudio del movimiento en el plano

Antes de iniciar el estudio de este tema, se les indicó a los estudiantes que descargaran el software Tracker v.6.0.9 (Brown, D., Christian, W. y Hanson, R. M., 2022) y que observaran los siguientes tutoriales: Tutorial de Tracker Parte 1 (video análisis), Tutorial de Tracker parte 2, Análisis físico de videos/ Movimiento Parabólico.

Al principio de la clase se les propuso a los estudiantes que realizaran la experiencia de laboratorio que figura en el Anexo I. El docente participó activamente guiando sobre cuestiones referidas a la filmación del video y al uso del programa Tracker. Los estudiantes aprendieron cuestiones referidas a: buscar una buena iluminación, alto contraste,

mantener el celular en reposo mientras se filma, configurar el análisis del video en Tracker y obtener gráficos en Tracker.

Luego de la ejecución de la experiencia de laboratorio, en grupos de 4 o 5 integrantes, se hizo un análisis y puesta en común de las respuestas a las preguntas. Este análisis estableció que la división del movimiento en dos componentes (para facilitar el estudio) e incluyó la revisión de los gráficos logrados y la comparación con los gráficos obtenidos para MRU y MRUV. Se concluyó que el modelo que describe la componente horizontal de la posición del movimiento es el mismo que del MRU y que los modelos que describen la componente vertical de la posición del movimiento son los mismos que para el MRUV.

### C. Estudio del movimiento del pie

Luego del estudio del movimiento parabólico, se planteó la posibilidad de estudiar la trayectoria que sigue un pie al caminar, al dar un paso. Se hizo un debate para encontrar el fundamento biológico para hacer ese estudio. Este debate inició a partir de la pregunta: ¿Es razonable pensar que los pies siguen algún patrón en particular al caminar o cada persona tendrá su “estilo”? Esta pregunta disparó la expresión de ideas importantes por parte de los estudiantes; la mayoría (alrededor de 18) coincidían en que debía haber un patrón general aunque cada persona pudiera tener su propio estilo. Posteriormente, el debate giró hacia la importancia de contar con modelo de trayectoria con el objetivo de poder detectar posibles dificultades en la locomoción de una persona en particular.

Resulta que la locomoción humana, al igual que la de cualquier otro animal, debe seguir un cierto patrón para ser efectiva. Entonces se planteó el objetivo de encontrar ese modelo de trayectoria que sigue el pie al caminar.

Para concretar dicho objetivo, los mismos grupos de antes, construyeron una guía experimental a seguir. En general, todos los grupos construyeron guías muy parecidas y pueden sintetizarse en: grabar videos de cada integrante caminando y utilizar el programa Tracker para analizar el video. Al realizar la grabación, se colocó un círculo de color en el pie a estudiar, a mitad del largo del pie, por la parte lateral externa, a la altura del talón o del empeine, buscando que se vea lo mejor posible en el video. Esto, con el objeto de asegurar el contraste necesario para que el programa pudiera analizar el movimiento correctamente. La figura 1 muestra dicha disposición en una estudiante.



**FIGURA 1.** Se muestra una captura de pantalla del video de una estudiante dónde se observa claramente el círculo de papel pegado en la zapatilla. Se lo ha indicado con un cartel anexo.

En el video se aseguraron que se viera al menos un paso completo que daba el pie (se presupone que todos los pasos son iguales). Posteriormente cargaban el video en el Tracker y configuraban todos los ajustes para realizar el análisis (colocar regla, determinar fotogramas de estudio, colocar el sistema de referencia, hacer el seguimiento del punto de interés: el círculo de papel pegado en la zapatilla). Es de destacar que el sistema de referencia era colocado en el lugar dónde comenzaba el movimiento de interés. En esta etapa, el docente participó respondiendo dudas, principalmente de carácter técnico.

Una vez que el programa hacía la detección de puntos y les brindaba la tabla de valores, cambiaban las variables de los ejes colocando: “x” en el eje horizontal e “y” en el eje vertical. Predeterminadamente, el programa Tracker

muestra dos gráficos de posición en función del tiempo: para posición horizontal y para posición vertical. Al hacer el cambio indicado, se obtiene el gráfico conocido como gráfico de trayectoria. Ese trabajo se hizo con cada integrante del grupo, para obtener el gráfico de cada quién. En el Anexo II se presenta un modelo de guía del trabajo experimental realizado por los grupos en general. Cabe aclarar que no es exactamente el mismo para todos los grupos ya que cada uno armó el suyo propio; si bien todos coinciden en la secuencia general, había diferencias en cuanto a la revisión de los videos y al momento de cargado de los videos (algunos grupos revisaban la calidad de los videos antes de cargarlos en la netbook, otros revisaban la calidad de los mismos una vez cargados en el programa Tracker).

El docente participó de dos formas. En una primera instancia, ayudando a cada grupo con la elaboración de la guía experimental que seguirían y con la toma de videos y el procesamiento para llegar al gráfico de trayectoria. En una segunda instancia, recibió todos los gráficos de todos los grupos e hizo la comparación y el proceso matemático para encontrar la trayectoria modelo. Ese proceso se llevó a cabo tomando datos de los grupos para construir una tabla en LibreOffice Calc, y en ella generar el gráfico (gráfico de dispersión con asignación de línea de tendencia) y su ecuación. Cabe aclarar que el docente realizó dicha tarea porque los estudiantes carecen de los conocimientos matemáticos necesarios para poder hacerlo (en el profesorado no cuentan con una unidad curricular de Matemática). Este modelado en particular requiere de conocimientos en cuanto a análisis de rangos de datos, interpolación de datos y características de los polinomios. Lamentablemente estas estudiantes carecen de esos conocimientos. Además, consideramos que era más importante el análisis comparativo entre gráficos y modelo, desde el punto de vista biológico, que el proceso matemático llevado a cabo para encontrar dicho modelo. Cabe aclarar que el trabajo realizado por el docente en horario extracurricular permitió ahorrar tiempo (que es escaso para el desarrollo de todos los contenidos estipulados, como ya se mencionó). Con el trabajo matemático llevado a cabo se obtuvo un gráfico de trayectoria modelo.

Posteriormente, el docente mostró y compartió con los estudiantes el gráfico de trayectoria modelo y cada grupo pudo comparar sus gráficos individuales con el mismo, intentando dilucidar si se acercaba al mismo o difería mucho. Esta actividad también fue compartida en todo el curso. Se pudo establecer que

- La mayoría de los gráficos individuales coincidía aproximadamente con el modelo.
- En los casos de diferencias importantes, se pudo establecer que se debían a debilidades en la toma del video (aunque no se descartaron otras posibilidades, como el uso de algún calzado en especial).

También se aprovechó para analizar algunas tablas de datos de los grupos para observar el comportamiento de la velocidad (vertical y horizontal) y de la aceleración (vertical y horizontal) que mostraba el pie.

El grupo en general se mostró alegre por el logro del modelo buscado, aunque esto no se pudo registrar por ningún medio, principalmente porque inmediatamente después de analizar el modelo, cada grupo se dio a la tarea de comparar sus gráficos personales con el mismo. Fue interesante observar la dinámica de ese trabajo: todas las integrantes colaboraban en analizar observacionalmente qué tanto se parecían sus gráficos al modelo. También resultó claro para el grupo de estudiantes, que no se buscaba coincidencia exacta, sino identificar aproximación con la forma general del mismo.

#### **D. Después del estudio del movimiento del pie**

Luego de las restricciones impuestas por la pandemia debida al covid-19, el instituto decidió organizar una jornada de reencuentro e intercambio entre la comunidad del mismo. La primera de estas jornadas se llevó a cabo en octubre del ciclo 2022 y se llamó Entre Lazos. Los estudiantes fueron los principales actores de la misma, organizando y exponiendo diferentes tipos de propuestas, vinculadas a los contenidos abordados en alguna unidad curricular (o varias) además de algunas propuestas de contenido extracurricular.

De la misma forma, en el ciclo lectivo 2023 se realizó nuevamente la jornada Entre Lazos con el mismo objetivo. En este marco, un grupo de seis estudiantes aceptaron el desafío de replicar el trabajo que hicieron ellas con estudiantes de todo el instituto. Así, organizaron afiche con lo que iban mostrar (modelo de trayectoria), computadora con Tracker, celulares para la toma de videos y accesorios para garantizar que el programa tome correctamente el pie a estudiar (en cuánto a contraste).

El trabajo se llevó a cabo durante la jornada, desde las 10:00 h hasta las 18:00 h. Durante el mismo, las estudiantes explicaban el trabajo que habían hecho en clase, la importancia biológica del modelo de trayectoria encontrado, tomaban videos a otros estudiantes y les mostraban su propia trayectoria. En ese punto, fue muy importante el análisis comparativo que hacían las estudiantes para poder indicar a los sujetos de prueba si la trayectoria de su pie se ajustaba o no al modelo.

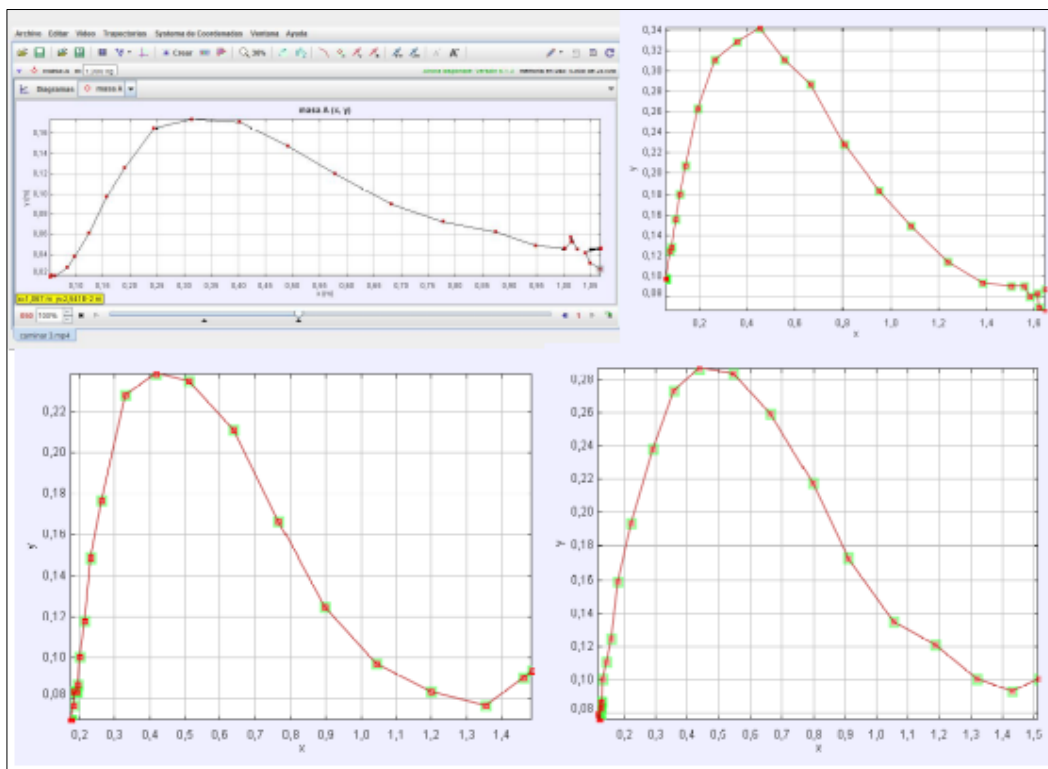
Se tomaron más de treinta videos para los cuales se construyeron los gráficos de trayectoria respectivos. La gran mayoría se correspondían con el modelo de trayectoria que se había encontrado. Hubo un caso en el cual había diferencias porque la estudiante utilizaba calzado alto. Otro caso en el cual hubo diferencias con el modelo fue el de un estudiante que había sufrido un accidente por el cual tiene una prótesis metálica en una pierna que cambia su forma de caminar.

Las estudiantes que participaron de esta experiencia manifestaron estar muy contentas con el impacto que había tenido la propuesta en la comunidad del instituto y con los resultados obtenidos (dicho instituto funciona en los tres turnos y posee seis profesorados de nivel terciario). Esas estudiantes manifestaron su sorpresa al haber tenido que grabar tantos videos y hacer tantos gráficos. Una de ellas expresó: “pensé que no iba a venir nadie, que quizás llegábamos a grabar unos ocho videos nada más”. Otra de las compañeras, que llevaba más de tres horas en el puesto, manifestó: “estoy muy cansada, de la vista especialmente, desde que llegué estoy usando tracker para analizar videos; pero me encanta que hayamos tenido éxito”.

Durante la observación docente del trabajo de exposición realizado por estas estudiantes, se notó claridad en las explicaciones, utilizando conceptos como posición horizontal y posición vertical, trayectoria y modelo. Además se observó que ponían mucho énfasis en dejar clara la relación de la Física y la Biología en este caso. La única dificultad observada fue la lentitud (relativamente hablando) del programa para procesar el video, lo que llevó a que algunas de las personas que se acercaban debían volver minutos más tarde para tener la trayectoria de su pie y poder recibir el análisis de las estudiantes.

### III. RESULTADOS: EL MODELO DE TRAYECTORIA DEL PIE

A continuación, mostramos resultados de las prácticas realizadas por los estudiantes y el modelo encontrado. En primer lugar, presentamos la figura 2 que muestra cuatro gráficos de trayectoria del pie de estudiantes distintas. Son gráficos logrados con el programa Tracker, por lo que se ajustan a las capacidades gráficas del mismo.



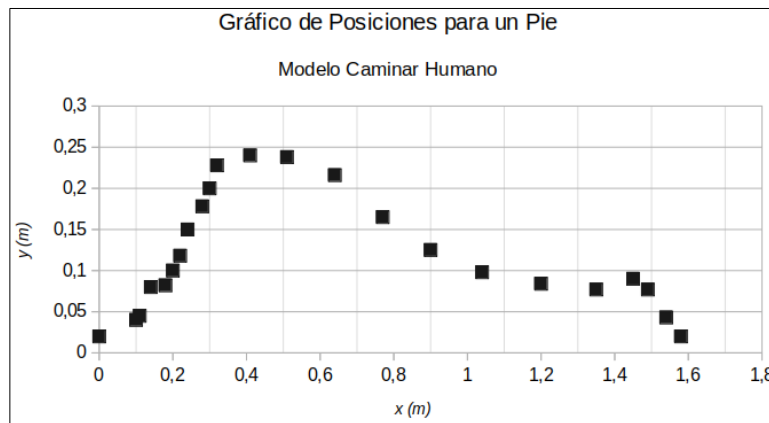
**FIGURA 2.** Se muestran cuatro gráficos de trayectoria de un pie, obtenidos con el programa Tracker. En el eje horizontal se muestran las posiciones  $x$  del pie y en el eje vertical las posiciones  $y$  correspondientes, ambas medidas en metros. El programa coloca los puntos en color rojo y los une con segmentos, formando un polígono abierto.

Si bien los gráficos son diferentes en los detalles, puede advertirse una forma general. Puede notarse que, en general, hay puntos más cercanos que otros en algunas secciones de los gráficos. Esto se debe principalmente a dos factores: la imposibilidad del programa para identificar claramente el objeto de rastreo y los cambios de velocidad del pie.

Para determinar que es lo que está ocurriendo realmente en cada caso, hay que hacer un análisis pormenorizado de los gráficos y las tablas de valores. Sin embargo, debido a la escasez de tiempo disponible para este trabajo, no se pudo realizar dicho estudio.

Otra cuestión importante de observar es que, aunque los alcances y las alturas máximos son diferentes, las formas siguen coincidiendo. Sin embargo, en el programa Tracker se dificultaba obtener fácilmente una trayectoria modelo de línea continua curvada.

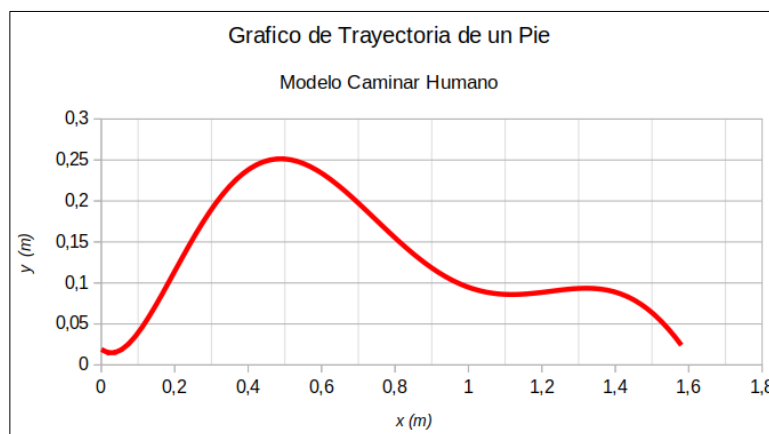
Por ello se tomó una de las tablas de valores, la de rangos más altos, y se compararon sus datos con las otras tablas. De esa comparación, se ajustaron valores y se incluyeron puntos intermedios que correspondían a puntos de segmentos del polígono abierto. De ese modo se obtuvo una tabla de datos que permitió obtener el gráfico de puntos que se muestra en la figura 3, utilizando el programa LibreOffice Calc.



**FIGURA 3.** Gráfico que muestra las posiciones verticales del pie en función de sus posiciones horizontales al dar un paso. Se obtuvo con una ampliación de datos de una de las tablas obtenidas por las estudiantes.

El paso siguiente era encontrar una curva que una todos (o la mayoría) los puntos de modo de tener una curva como modelo. Si bien la planilla de cálculo utilizada posee esa función, se necesita algo de conocimiento matemático para no restringirse a una tarea de ensayo y error que podría dilatarse mucho en el tiempo. Por este motivo, fue el docente quién hizo esa tarea.

La figura 4 muestra la curva obtenida como modelo de trayectoria de un pie al dar un paso mientras se camina. Evidentemente, lo más importante es la forma de la curva. De ninguna manera podemos decir que la altura máxima que debe alcanzar un pie, al dar un paso, deba ser de 0,25 m (25 cm). O que el desplazamiento horizontal en cada paso deba ser de 1,6 m sí o sí. Esos valores dependerán de cada persona.



**FIGURA 4.** Gráfico que muestra la trayectoria modelo que debería seguir un pie al dar un paso mientras se camina. La misma fue obtenido a partir del gráfico de la Figura 3, utilizando la planilla de cálculo LibreOffice Calc.

Tampoco es requisito que la curva personal de un pie sea exactamente idéntica a la mostrada. En cada persona, el pie se levantará verticalmente en mayor o menor medida, tendrá un desplazamiento horizontal mayor o menor, la curva tendrá mayor o menor pendiente en alguna parte; pero la forma general debería mantenerse para todas las personas. De otro modo, si se observa alguna diferencia importante, puede suponerse que existe algún factor que



provoca esa alteración. En ese caso, lo mínimo que debería hacer la persona es indagar a qué puede deberse la diferencia.

Cabe aclarar que la curva no comienza exactamente en el punto (0;0) del gráfico, que correspondería al punto de contacto entre el pie y el suelo, porque el punto de rastreo seleccionado en el programa no coincidía exactamente con el centro del sistema de referencia del programa ni con el punto de contacto entre pie y suelo.

Por último, y aprovechando que ya se tenía una curva, se utilizó la función de mostrar ecuación de la planilla de cálculo, para obtener el modelo matemático. A continuación se presenta el mismo (ecuación 1).

$$y = 1,56 \cdot x^6 - 9,09 \cdot x^5 + 19,58 \cdot x^4 - 18,78 \cdot x^3 + 7,15 \cdot x^2 - 0,35 \cdot x + 0,02 \quad (1)$$

No se ha hecho un análisis profundo de dicha ecuación debido a las limitaciones temporales ya comentadas. Solo podemos decir que el último coeficiente corresponde exactamente a la posición inicial que había en la tabla de datos. Del resto de los coeficientes que acompañan a la variable posición horizontal, solo podemos decir que deben tener unidad de longitud elevada a una potencia negativa de valor reducido en 1 respecto del valor del grado de cada  $x$ .

Al presentar estos resultados a todo el curso, se hizo el trabajo de comparación entre los gráficos individuales y el modelo, como se mencionó anteriormente. Luego se inició un debate para establecer a qué se podían deber las diferencias entre cada gráfico personal y dicho modelo, llegándose a la conclusión que se debían a dos factores principalmente: la imposibilidad de seguir certeramente el punto de estudio y errores aleatorios ocurridos durante todo el experimento.

Varias estudiantes manifestaron haber encontrado puntos de su trayectoria que se alejaban varios centímetros de la línea del modelo, pero no eran más de cuatro en el caso de mayor disidencia. En el debate hubo varias hipótesis sobre la cuestión de esas disidencias: dificultades de esa persona al caminar, errores cometidos en el momento de grabación o de análisis del video (la persona no caminó como lo hace normalmente por algún factor aleatorio), falta de contraste o de definición en el video (esto dificulta poder seguir un punto de forma manual o automática), pequeños cambios (pero bruscos) en la velocidad del pie de la persona debidos a su propio estilo de caminar. Sin embargo, después de escuchar algunos argumentos, se acordó que los factores más importantes eran los mencionados en el párrafo anterior.

Por otra parte, quedó claro que el modelo es una representación general y que los gráficos personales no debían coincidir exactamente con este, sino mostrar la misma forma aproximadamente (como ya mencionamos).

Otro aspecto interesante observado durante el debate fue el uso correcto del vocabulario. Si bien el docente intervino haciendo preguntas dirigidas sobre la observación de posiciones y velocidades, las estudiantes respondían utilizando el mismo vocabulario. Por ejemplo, ante la pregunta “¿cómo describiría la variación de la posición vertical del pie?” una estudiante respondió: “al principio, la posición vertical cambia rápidamente, el pie se levanta muy rápidamente; pero después disminuye más lentamente la posición vertical y alcanza mayor posición horizontal”. Si bien se pueden detectar algunas debilidades en esa frase, es muy destacable el uso correcto del vocabulario en función de lo observado en el gráfico. Otras estudiantes dieron expresiones similares, algunas con más debilidades que otras, pero, en general, se observa comprensión de los conceptos de posición vertical y posición horizontal, como también de los conceptos de velocidad vertical y velocidad horizontal. El diseño experimental realizado por las estudiantes y el uso del software contribuyeron a esto, obligando a las estudiantes a identificar las posiciones y las velocidades y tener noción sobre cómo se mide cada posición en el gráfico que entrega Tracker.

Aunque no se utilizó un instrumento papel para registrar el aprendizaje de los estudiantes, fue posible valorar sus aprendizajes a partir de las aportaciones que estos hacían en clases y durante la comunicación de lo trabajado al resto de la comunidad educativa. Esto se observó durante el desarrollo de la propuesta, prestando especial atención al uso correcto de vocabulario y a la guía experimental diseñada y ejecutada.

De todas formas, el espacio curricular cuenta con la toma de una evaluación individual sobre algunos temas desarrollados y trabajos prácticos o experimentales evaluados sobre otros temas; y el examen final. Además se toma una encuesta final no obligatoria (no está dentro de las obligaciones reglamentarias del espacio) con el objetivo de obtener valoraciones del grupo respecto de aspectos metodológicos y didácticos implementados (solo respondieron 19 estudiantes). En esa encuesta, una de las preguntas pedía al grupo valorar la relación establecida con la Biología, para la cual el 89% de quienes respondieron, eligieron las opciones que indican que fue una relación que favoreció el aprendizaje. Otra pregunta interroga sobre la relación entre las actividades experimentales desarrolladas y el aprendizaje logrado. En esta el 95% de quienes respondieron eligieron las opciones que indican que las actividades experimentales favorecen el aprendizaje y entretienen. Cabe destacar que estos resultados son muy similares a los brindados por la encuesta tomada al final del ciclo lectivo 2022.

De algún modo, esos porcentajes de respuestas nos indican las actividades desarrolladas han tenido impacto positivo en la percepción que tienen los estudiantes sobre la relación con la Biología y el aprendizaje logrado a partir de las actividades experimentales.

## IV. CONCLUSIONES

La propuesta didáctica planteada a los estudiantes tuvo por objetivo pedagógico que se acercaran al trabajo experimental y recuperaran conceptos vinculados con el movimiento, en general, y al movimiento en el plano, en particular, de modo de favorecerse la comprensión de los mismos. Este objetivo se cumplió. Además los estudiantes desarrollaron habilidades en uso de TIC específicas. Cabe destacar que dicha propuesta no tenía por objetivo que las estudiantes aprendieran conceptos nuevos; por lo tanto no podemos hablar de que hayan aprendido conceptos nuevos. Pero sí podemos hablar, como ya se ha expuesto, de la reutilización de los aprendizajes logrados en un nuevo contexto de implementación.

Por otra parte, la propuesta logró evidenciar un vínculo entre la Física y la Biología, lo que fue muy bien valorado por el grupo de estudiantes en general, al igual que la realización de actividades de tipo experimental, como se recoge en la encuesta final de la unidad curricular (no se detallan mayores datos sobre la misma porque será motivo de otra publicación). Es de destacar que, en el ámbito de la enseñanza de las Ciencias Naturales, muy a menudo las y los estudiantes reclaman que las y los docentes evidenciamos vínculos de lo que enseñamos con la realidad y con otros campos del saber. Típicamente preguntan: ¿para qué sirve esto? Los más de veinte años de experiencia de este autor avalan ese tipo de necesidad estudiantil.

También se cumplió el objetivo disciplinar de encontrar un modelo de trayectoria que sigue un pie al dar un paso mientras se camina. Si bien fue necesaria la actuación del docente durante este proceso, el trabajo de base fue realizado por los estudiantes. El gráfico encontrado indica que el pie se levanta bastante al iniciar el paso y luego reduce la altura casi paulatinamente mientras incrementa el alcance horizontal.

Probablemente, si el grupo contara con mayores recursos matemáticos y la unidad curricular con más tiempo para su desarrollo, podría haberse llegado más lejos. Por ejemplo: establecer valores límites de velocidades, interpretar los coeficientes de la ecuación de trayectoria, entre otras cuestiones. De todas formas, el trabajo realizado ha sido muy provechoso. Y lo que no se pudo realizar, se configura como oportunidad para el futuro o para otros grupos de docentes y estudiantes que encuentren estas cuestiones como motivaciones para realizar sus estudios académicos.

Por otra parte, el trabajo logrado se posiciona como un doble insumo. Por una parte, es insumo para profesores que enseñan Biología Humana o Mecánica del Cuerpo Humano. En este sentido, pueden utilizar el modelo para hacer análisis comparativo de trayectorias tomadas a otras personas y, quizás, afinar el modelo. También pueden dedicarse a establecer los valores de los coeficientes de la ecuación de trayectoria encontrada. Otro trabajo disciplinar que podría derivar del estudio aquí presentado, es establecer patrones de desviación de la curva para distintas afecciones que provocan defectos al caminar.

Por otra parte, es un insumo desde el punto de vista docente. Docentes de Física y de Biología en general pueden tomar este trabajo como disparador para elaborar propuestas didácticas tendientes a hacer investigaciones similares. Es decir, elaborar propuestas didácticas que vinculen la Física y la Biología para encontrar trayectoria modelo para el movimiento de una extremidad o de otra parte del cuerpo humano. También podrían, en una carrera de veterinaria, obtener patrones para distintos animales (aunque puede ser más dificultoso tomar los videos de los animales) y analizar diferencias con los humanos o entre ellos. O, simplemente, pueden replicar esta propuesta para obtener un modelo propio y compararlo con el mostrado en este estudio, de modo de validar o corregir nuestro resultado.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Instituto de Enseñanza Superior Dra. Carmen Peñaloza por haber apoyado el desarrollo de la propuesta didáctica implementada. Resulta gratificante trabajar con libertad de cátedra y contar con apoyo cuando se necesita. Se agradece también a toda la Comunidad del Software Libre, que contribuye al desarrollo de la educación con software de alta calidad y en forma coherente con los paradigmas educativos actuales.

## REFERENCIAS

Barone, L. A. (2004). *Anatomía y Fisiología del Cuerpo Humano*. Argentina: Cultural Librería Americana-Grupo CLASA.

Brown, D., Christian, W. y Hanson, R. M., (2022). Tracker v.6.0.9 [software]. Open Sources Physics: [www.compadre.org/osp](http://www.compadre.org/osp)

Clínica Universidad de Navarra (2023). Palanca ósea o esquelética. <https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/palanca-osea-esqueletica>



Movimiento Suma (n. d.). Taller + Ruta: El arte de caminar. <https://www.movimientosumma.com/biomecanica-de-la-marcha-el-arte-de-caminar>

Perelman, Y. (1936). *Física Recreativa (14a ed.)*. Moscú: Editorial MIR. Preparado por Barros, P. en [www.librosmaravillosos.com](http://www.librosmaravillosos.com)

## ANEXO I

I.N.E.S. Dr. Carmen Peñaloza  
Profesorado en Biología  
Física  
Prof.: Rubén H. Cortez C.

### Movimiento en el Plano: Tiro Parabólico

#### **Laboratorio: El Tiro Parabólico**

**Objetivo:** encontrar las características y los modelos del movimiento llamado tiro parabólico.

**Materiales:** pelota, celular, cinta papel, marcadores de colores, netbook, programa Tracker.

#### **Procedimiento**

1) Filmar un video del movimiento de una pelota que es lanzada por un integrante del grupo. Para la toma del video debe elegirse un lugar que muestre alto contraste con la pelota. Si esto se dificulta, utilizar la cinta papel y algún marcador para mejorar el contraste. Atender todas las sugerencias del docente. No olvidar marcar una distancia patrón (o distancia testigo).

2) Abrir el video con el programa Tracker. Seleccionar la sección de video a trabajar. Definir la vara de calibración. Colocar el sistema de referencia. Crear el punto o masa a trabajar con el programa (corresponderá a la pelota). Hacer la toma de datos del movimiento de la pelota.

3) Utilizar el programa para obtener los siguientes gráficos:  $y$  en función de  $x$ ,  $y$  en función de  $t$ ,  $x$  en función de  $t$ . Copiar los gráficos en el cuaderno (se pueden guardar las imágenes de cada gráfico, imprimirlas y luego pegarlas).

4) Responder las siguientes preguntas.

a) De acuerdo al gráfico de  $x$  en función del tiempo: ¿qué movimiento realiza la pelota en forma horizontal?

b) De acuerdo al gráfico de  $y$  en función del tiempo: ¿qué movimiento realiza la pelota en forma vertical?

c) De acuerdo al gráfico de  $y$  en función de  $x$ : ¿qué forma tiene la trayectoria que sigue la pelota?

d) ¿Qué conclusión podría escribirse en función de las respuestas anteriores?

5) Utilizar el programa para obtener los gráficos:  $v_x$  en función de  $t$ ,  $v_y$  en función de  $t$ . Copiar los gráficos en el cuaderno (se pueden guardar las imágenes de cada gráfico, imprimirlas y luego pegarlas).

6) Responder: ¿se verifican las respuestas del ítem 4) con los gráficos de velocidad?

7) Utilizar el programa para obtener el gráfico:  $a$  en función de  $t$ . Copiar el gráfico en el cuaderno (se puede guardar la imagen, imprimirla y luego pegarla).

8) Responder: ¿el valor de aceleración encontrado coincide con el informado por libros y sitios de Internet?

9) De acuerdo a todo lo trabajado sobre este movimiento: ¿es necesario encontrar modelos matemáticos que expliquen el movimiento parabólico?

## ANEXO II

I.N.E.S. Dra. Carmen Peñaloza      Profesorado de Biología  
Espacio de Formación: Física Curso: 2° Año  
Prof.: Rubén H. Cortez C.      Integrantes de Grupo:.....

Laboratorio: ¿Cómo se mueve nuestro pie al caminar?

### Objetivos

- Establecer el patrón de movimiento del pie en el andar del grupo de estudiantes del grupo.
- Determinar valores de posición, velocidad y aceleración promedios de los integrantes del grupo.

### Materiales

- Estudiantes.
- Dispositivo multimedia para grabar.
- Computadora con programa tracker.
- Cinta papel.
- Cartulinas u hojas de colores (deben ser de alto contraste con las zapatillas y fondo seleccionado).

### Medidas de seguridad

- Mantener el orden al movilizarse (cuidado con los estudiantes que están grabando).
- No correr en el laboratorio o lugar de ejecución de la práctica.
- Establecimiento de zona de trabajo sin exceso de personas para evitar accidentes.

### Procedimientos

- 1) Seleccionar el lugar para la toma de los videos de cada integrante, el mismo debe ser iluminado, de alto contraste con el color de cartulina elegido y libre de perturbaciones.
- 2) Cortar un círculo de la cartulina de no menos de 8 cm de diámetro y pegarlo en la zapatilla, a la altura del tobillo (el círculo debe cubrir hasta la suela sin tocar el piso).
- 3) Grabar un video de cada integrante del grupo, caminando (en cada uno de ellos deben registrarse 2 pasos por persona). La persona que camina debe comenzar a caminar fuera del cuadro de la cámara, para que en la misma se vea pasar caminando.
- 4) Ingresar cada video al tracker, ejecutar el programa para análisis de movimiento y determinar: trayectoria, posiciones, velocidades y aceleraciones para el pie. Guardar las tablas de datos y los gráficos, estos últimos en formato de imagen (jpg o png).

### Análisis de los resultados

- 1) Provee los gráficos y tablas al docente para que ejecute el procesamiento matemático de todos los datos.
- 2) El docente mostrará los resultados del procesamiento matemático realizado con un software de planilla de cálculo. Con base en lo que muestre el docente, responder las siguientes preguntas:
  - a) ¿La velocidad vertical se mantiene constante en el tiempo? ¿Y la velocidad horizontal?
  - b) En caso que las respuestas anteriores sean negativas (o solo alguna lo sea), registre los valores máximos y mínimos de cada velocidad.
  - c) ¿La aceleración vertical permanece constante en el tiempo? ¿Y la aceleración horizontal?
  - d) Comparar el gráfico modelo de trayectoria con los gráficos grupales y responder: ¿los gráficos del grupo coinciden aproximadamente con el modelo? ¿Las diferencias son muy importantes o no? Redactar una respuesta que resuma las respuestas y otras observaciones para cada integrante del grupo.

### Conclusión

En este espacio se escriben conclusiones sobre el cumplimiento de los objetivos de esta guía. Además se presenta un breve análisis sobre los conceptos estudiados en el Movimiento Rectilíneo y su aplicación al estudio realizado en este práctico de laboratorio.

### Bibliografía

- Iparraguirre, L. (2009). Mecánica Básica, 1a ed. Buenos Aires: Ministerio de Educación de la Nación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica.
- Rey Victorio (2015). La evolución del movimiento humano. Extraído de : <https://www.electrolisisterapeutica.com/la-evolucion-del-movimiento-humano/>
- Europa press (2018). La mecánica de caminar humana evolucionó antes que el género Homo. Ciencia Plus. Extraído de: <https://www.europapress.es/ciencia/ruinas-y-fosiles/noticia-mecanica-caminar-humana-evoluciono-antes-genero-homo-20180423101903.html>