



# Aplicación del ciclo de aprendizaje de la dinámica de Newton con el estudio del lanzamiento de un gallito en el juego de bádmin-ton

Alejandro González y Hernández<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, FC-UNAM  
Av Universidad 3000, Cd. Universitaria, Coyoacán, 04510 Ciudad de México, México

## ARTICLE INFO

**Received:** 24 April 2018  
**Accepted:** 4 December 2019  
**Available on-line:** 4 May 2019

**Keywords:** Dynamics, trajectory, badminton cock, modeling.

**E-mail addresses:**  
agh@ciencias.unam.mx

ISSN 2007-9842

© 2019 Institute of Science Education.  
All rights reserved

## ABSTRACT

In the game of badminton is interesting to study the dynamics of the flight of the cock because its trajectory is not a parabolic shot as could be expected. In this game, when the cock is hit by a player, it performs unexpected movements for the opponent that require quick reaction to achieve a successful counterattack. Studying the movement of the cock in the mechanic's laboratory means not only training in the launchings of the cock to achieve such strange trajectories but investigate and model their dynamics according to Newton's Second Law. The teaching of Newton's dynamics in the mechanic's laboratory, it is carried out through a learning cycle that consists of four stages: exploration, experimentation, modeling, and prediction. Through this cycle, students study different movements that they model analytically or numerically to explain the dynamics of each of them. To assess how students, apply the learning cycle in the study of other movement phenomena not seen in class, at the end of the course they are asked for an original project where they apply the knowledge and methodologies they have carried out during the course. One of the projects proposed by a team of students was the flight of the badminton cock, so in this work, we present the dynamics of the flight of this object, how it was analyzed by the students and some interesting results that appear in this dynamic

La dinámica del vuelo del gallito en el juego de bádmin-ton es interesante de estudiar debido a que su trayectoria no es un tiro parabólico como podría esperarse. En el juego de bádmin-ton, el gallito al ser golpeado por un jugador realiza movimientos inesperados para el oponente que le exigen rapidez de reacción para lograr un contragolpe exitoso. Estudiar el movimiento del gallito en el laboratorio de mecánica, significa no sólo adiestrarse en los lanzamientos del gallito para lograr tan extrañas trayectorias, sino investigar y modelar su dinámica de acuerdo a la Segunda Ley de Newton. La enseñanza de la dinámica de Newton, en el curso del laboratorio de mecánica, la llevamos a cabo por medio un ciclo de aprendizaje que consta de cuatro etapas: exploración, experimentación, modelación y predicción. Mediante este ciclo, los alumnos estudian diferentes movimientos que modelan analítica o numéricamente para explicar la dinámica de cada uno de ellos. Para evaluar como los estudiantes aplican el ciclo de aprendizaje en el estudio de otros fenómenos de movimiento no vistos en clase, al final del curso se les pide un proyecto original en donde ellos apliquen los conocimientos y metodologías que han llevado a cabo durante el curso. Uno de los proyectos propuestos por un equipo de alumnos fue el vuelo del gallito de bádmin-ton, por lo que en este trabajo presentamos la dinámica del vuelo de este objeto, como fue analizado por los alumnos y de algunos resultados interesantes que aparecen en esta dinámica.

## I. INTRODUCCIÓN

Es sabido que el juego bádminton se realiza con una raqueta y un gallito. Se lanza el gallito al aire y el jugador lo golpea con la raqueta para lanzarlo al jugador oponente y éste a su vez lo devuelve de la misma manera. Lo que ya no se conoce, es la dinámica que hay en el vuelo del gallito.

Ya desde los tiempos de Aristóteles, los griegos estaban preocupado por explicar el vuelo de los objetos en el aire como el de las flechas disparadas por los arcos. Más tarde en los estudios de Tartaglia, se encuentran singulares trayectorias de objetos como balas de cañón que viajan por el aire; para él la trayectoria seguida por la bala de cañón es inicialmente una recta ascendente con la misma inclinación del obús que la disparó, para luego seguir una trayectoria semicircular y finalmente una trayectoria rectilínea descendente que la lleva de regreso al suelo.

Poco después Galileo nos dice que las trayectorias de balas de cañón o de cualquier otro objeto con peso son parábolas, la cuales son simétricas alrededor de su punto máximo y tardan el mismo tiempo en ascender que en descender. Aunque Galileo advierte que este movimiento ocurre de esa manera en el vacío, él al final de su obra dedicada a la mecánica escribe una tabla completa de valores numéricos de la trayectoria parabólica de una bala.

Aunque Descartes critica a Galileo por considerar trayectorias parabólicas de objetos en el aire a corto alcance, sin tomar en cuenta el vuelo verdadero de las balas de cañón a largo alcance, en la actualidad creemos y enseñamos que el movimiento de proyectiles es como lo describió Galileo, es decir, con movimientos con trayectorias parabólicas.

Sin embargo, el movimiento parabólico en el lanzamiento de proyectiles no es una generalidad y esto es fácil de tener en cuenta, si consideramos los movimientos de pelotas en deportes como los juegos de ping-pong, tenis, fútbol, beisbol, etc., donde las pelotas de estos juegos siguen extrañas trayectorias en el aire, una vez que se han puesto en movimiento.

La física ha estudiado también estos movimientos y lejos de ser trayectorias parabólicas, sus trayectorias nos sorprenden siempre que las vemos, en partícula las observadas en la pelota de ping-pong, que se “clava” inmediatamente después de cruzar la red, o en la pelota de beisbol, que igualmente se “clava al piso” un poco antes de que el bateador trate de golpearla, o en la pelota de tenis que se “sumerge en el piso” después de pasar la red, fuera del alcance del tenista opositor o en las enormes curvas que la pelota de fútbol hacen después de que el jugador la pateo en un tiro libre.

Por ello, estos movimientos, legítimamente pueden estudiarse en un curso de mecánica teórica o experimental a nivel universitario, para lograr que los estudiantes conozcan y analicen otros movimientos diferentes al tiro parabólico.

Modelar estos movimientos según la segunda ley de Newton tiene ciertas complicaciones que los métodos numéricos de solución de la ecuación de movimiento de estos objetos son capaces de resolver; pero llevar al experimento este tipo de movimientos no es tan sencillo para un curso ordinario de Mecánica en la Universidad.

Sin embargo, el juego del bádminton que no usa pelota, sino gallito, presenta las trayectorias extrañas que quisiéramos fueran estudiadas por nuestros estudiantes. Es un juego, relativamente fácil de practicar y nuestros propios estudiantes pueden ejecutar lanzamientos del gallito con la raqueta de bádminton que posteriormente ellos procederán a estudiar.

En el vuelo en el aire del gallito en el juego de bádminton se observan las trayectorias descritas anteriormente para las pelotas en otros juegos, pues el gallito, después de ser golpeado por la raqueta, sus trayectorias no parecen parabólicas, sino trayectorias más cercanas a las trayectorias descritas por Tartaglia.

Entonces, la pregunta es: ¿de qué manera enseñar este movimiento a los estudiantes?

En nuestro curso de Laboratorio de Mecánica, que se imparte en el segundo semestre del primer año de la carrera de Física, en la FC-UNAM, con 24 estudiantes, un profesor y un profesor asistente, este estudio se hizo a través de un proyecto de final de semestre, realizado por un grupo de tres estudiantes del curso, que experimentaron, modelaron y analizaron el vuelo del gallito en el juego de bádminton y cuyos resultados presentaron a todo el grupo en la sesión final del curso.

Los elementos teóricos-experimentales aplicados por los estudiantes, así como la ruta crítica seguido por ellos en el estudio de la dinámica del gallito de bádminton en su movimiento en el aire, se reporta en este trabajo, incluyendo los elementos didácticos aportados por los profesores del curso.

## II. ANTECEDENTES

En la clase de Laboratorio de Mecánica, seguimos con los alumnos un ciclo de aprendizaje para la enseñanza teórica-experimental de la dinámica de Newton, en particular los fenómenos de movimiento que se modelan con la segunda ley de Newton.

En este ciclo de aprendizaje que consta de cuatro fases: exploración, experimentación, modelación y predicción, se realizan experimentos y modelos teórico-numéricos para el estudio de la dinámica de diversos movimientos.

El ciclo de aprendizaje se inicia con preguntas a los estudiantes respecto a un fenómeno de movimiento de algún objeto que se les propone estudiar. La fase de exploración comienza con la familiarización de los estudiantes con el movimiento del objeto, con las que se puede experimentar en el laboratorio. Ellos hacen un montaje experimental donde los parámetros y variables que caracterizan el movimiento del objeto puedan variarse de manera controlada, para observar detalladamente el movimiento del objeto bajo diversas circunstancias y preguntarse por las explicaciones de la cinemática de los movimientos que ellos observan y de su dinámica. Una o más respuestas que den los mismos estudiantes de sus preguntas las proponen como hipótesis para probarse experimentalmente.

La fase de experimentación consiste en que los estudiantes fijen los parámetros con los que han explorado el movimiento del objeto y establezcan condiciones reproducibles para determinar la relación entre las variables que definen el movimiento con el tiempo y realicen mediciones de esas variables. En esta fase, los estudiantes utilizan el vídeo para el registro del movimiento y el programa *Tracker* de acceso libre para la captura de datos experimentales. Con el programa *Tracker*, los estudiantes tienen la oportunidad de registrar y examinar con mayor detalle el movimiento del vídeo, fotograma a fotograma en intervalos de tiempo constante, lo cual proporciona a los estudiantes un nivel mayor de observación del movimiento, ya que al quedar fija la base de tiempo, los desplazamientos marcados en *Tracker*, son proporcionales a la velocidad y los estudiantes pueden inferir como varía la posición y la velocidad del movimiento con el tiempo. Con el mismo programa, los estudiantes grafican sus datos y obtienen relaciones empíricas entre las variables que modelan empíricamente al movimiento.

La fase de modelación la realizan los estudiantes con el apoyo del profesor. En esta fase, se modela teóricamente la dinámica del movimiento que se estudia. Mediante el diagrama de cuerpo libre, los estudiantes determinan las fuerzas que se ejercen sobre el objeto durante su movimiento. El profesor, discute con sus estudiantes, la obtención de la ecuación de movimiento del objeto, aplicando la segunda Ley de Newton y se procede a su solución numérica. El profesor establece un método numérico de solución general de una ecuación de movimiento que se programa en una hoja de cálculo, para casos particulares. El profesor la aplica por primera vez para la solución de un movimiento con aceleración constante y esta aplicación, queda como modelo para que los estudiantes apliquen el método numérico a otras ecuaciones de movimiento, como la que nos ocupa ahora. Así, los estudiantes determinan la solución numérica de la ecuación de movimiento que han obtenido, a partir de las condiciones iniciales experimentales y de los parámetros medidos en su experimento. Los estudiantes grafican la solución numérica y la comparan con los datos obtenidos del experimento. Si la comparación es exitosa, los estudiantes obtienen un modelo teórico-numérico que coincide con el movimiento y pasan a la siguiente fase, si no es así, los estudiantes hacen los ajustes convenientes para determinar la validez o no del modelo teórico-numérico.

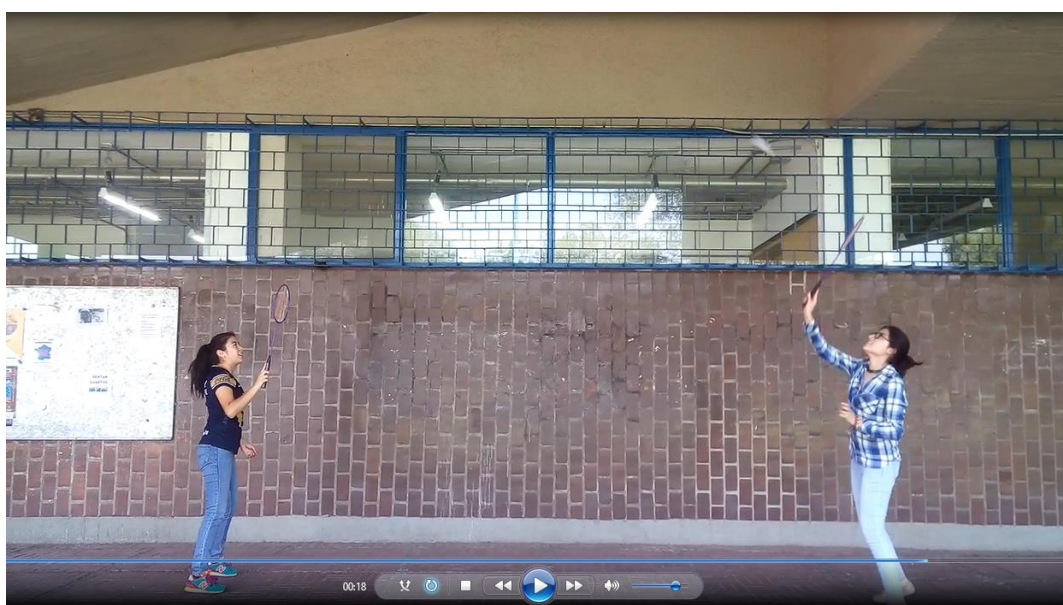
En la fase de predicción, los estudiantes utilizan el modelo teórico-numérico para predecir nuevos comportamientos del movimiento del objeto con los que no se experimentó, en particular, el de casos extremos. Para ello, los estudiantes cambian, en la hoja de cálculo donde obtuvieron la solución numérica, las condiciones iniciales del movimiento o el valor de uno o más de los parámetros que lo caracterizan. Ellos grafican todas las variables dinámicas del movimiento para diferentes valores de las condiciones iniciales o parámetros y las analizan, para deducir en forma general la dinámica del movimiento del objeto bajo estudio. Finalmente, ellos contrastan sus hipótesis con los resultados de su investigación para determinar su validez o falsedad y en la segunda posibilidad explican la discrepancia entre su primera expectativa y sus conclusiones del movimiento.

Bajo este enfoque del ciclo de aprendizaje, los estudiantes hicieron la siguiente investigación del movimiento del gallito en el juego de bádmiton.

### III. DINÁMICA DEL GALLITO EN EL JUEGO DE BÁDMINTON

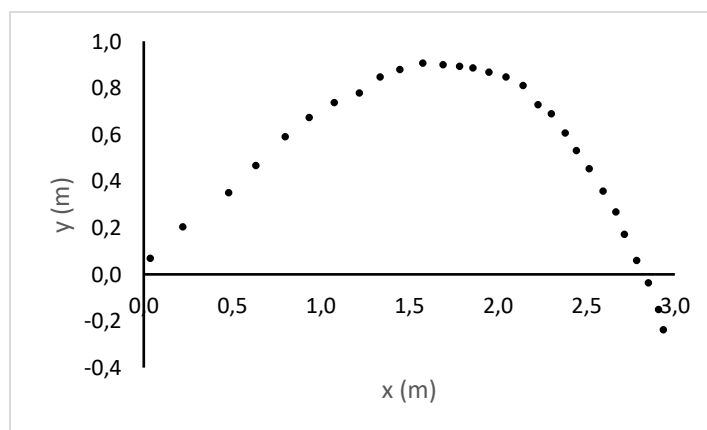
Los estudiantes (un chico y dos chicas) que propusieron el proyecto de estudiar el movimiento del gallito en el juego de bádminton aplicaron el ciclo de aprendizaje para determinar su dinámica, de la siguiente manera:

Ellos empezaron con la fase de exploración, simplemente jugando el juego de bádminton entre ellos, eligiendo un pasillo al aire libre de nuestra Universidad con una pared de fondo con ladrillos que sirvieran como referencia de las mediciones que más adelante harían. Todos ellos probaron sus habilidades en el juego y después de un tiempo de práctica decidieron que las dos chicas que mostraban las mejores habilidades en golpear el gallito se pusieron a experimentar con los golpes de sus raquetas al gallito, para lograr trayectorias de cierta altura que mostraran las características del movimiento del gallito; mientras el chico se dedicó a colocar la cámara en un tripié a una distancia conveniente para tener una grabación completa del movimiento del gallito y luego a tomar el vídeos de los movimientos del gallito, iniciando la fase experimental.

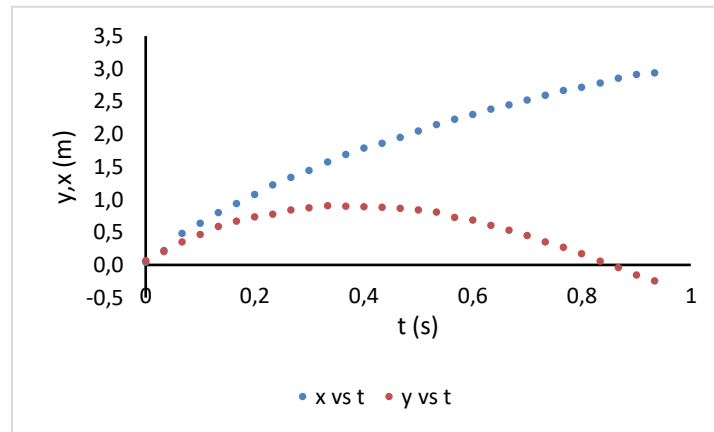


**FIGURA 1.** Se muestra el vuelo del gallito en el aire durante el juego de bádminton entre dos personas.

Los estudiantes eligieron un movimiento del gallito de su vídeo para recolectar datos experimentales en *Tracker*. Sus resultados gráficos, se muestran en las gráficas I y II.



**GRAFICA 1.** Trayectoria del vuelo del gallito en el aire durante el juego de bádminton entre dos personas.



**GRAFICA 2.** Coordenadas x e y en función del tiempo del vuelo del gallito en el aire durante el juego de bádminton entre dos personas.

De la gráfica II, se obtienen las componentes x e y de la velocidad inicial del movimiento del gallito, dividiendo el desplazamiento inicial entre 1/30 s (el tiempo entre fotografías), para las gráficas  $x$  vs  $t$  e  $y$  vs  $t$ .

En la tabla I, se muestran los parámetros y las condiciones iniciales de la posición y la velocidad del movimiento.

**TABLA I.** Condiciones iniciales y parámetros del movimiento del gallito

<i>Parámetros</i>	<i>Valores</i>
m (kg)	0.004
g (m/s <sup>2</sup> )	9.78
x <sub>0</sub> (m)	0.04
y <sub>0</sub> (m)	0.07
v <sub>x0</sub> (m/s)	5.5
v <sub>y0</sub> (m/s)	4.0

### III.1 Velocidad Terminal

El gallito al caer verticalmente hacia el piso desde el reposo alcanza una velocidad constante o terminal, debido a la resistencia del aire a su movimiento, que es proporcional a la velocidad al cuadrado. La segunda ley de Newton, describe esta dinámica, según la ecuación (1):

$$m \frac{d^2y}{dt^2} = -mg + rv^2, \quad (1)$$

con  $r$  la resistencia del aire.

Inicialmente, la velocidad del gallito es cero y la fuerza sobre el gallito es su peso  $mg$  dirigida hacia el piso, pero según aumenta la rapidez del movimiento, el peso del gallito es contrarrestado por la fuerza resistencia del aire, hasta que la aceleración del gallito es cero, esto es:

$$-mg + rv_T^2 = 0, \quad (2)$$

para una velocidad  $v_T$ , denominada terminal, debido a que se mantiene constante, una vez que se alcanza.

Para determinar el valor de  $r$ , se despeja de la expresión (2), de tal forma que:

$$r = \sqrt{\frac{mg}{v_T^2}}. \quad (3)$$

Para determinar el valor de  $r$ , los estudiantes dejan caer el gallito desde el tercer piso de la escuela donde estudian, para que el gallito alcance la velocidad terminal, que miden mediante el vídeo de su movimiento cercano al piso.

El valor obtenido, es:

$$r = 0.0016 \text{ kg/m}.$$

### III.2 Modelación teórico-numérica

Los estudiantes describen la ecuación de movimiento para el vuelo del gallito en el aire en dos dimensiones, como:

$$m \frac{d^2 r}{dt^2} = -mgj - r|v|v, \quad (4)$$

o

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -r \sqrt{v_x^2 + v_y^2} v_x, \quad (4a)$$

y

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = -mg - r \sqrt{v_x^2 + v_y^2} v_y, \quad (4b)$$

Ellos resuelven la ecuación de movimiento de la ecuación (4) por un método numérico de Euler modificado. En la tabla II, se describe el método iterativo de Euler modificado utilizado por los estudiantes para resolver numéricamente la ecuación (1) en dos dimensiones.

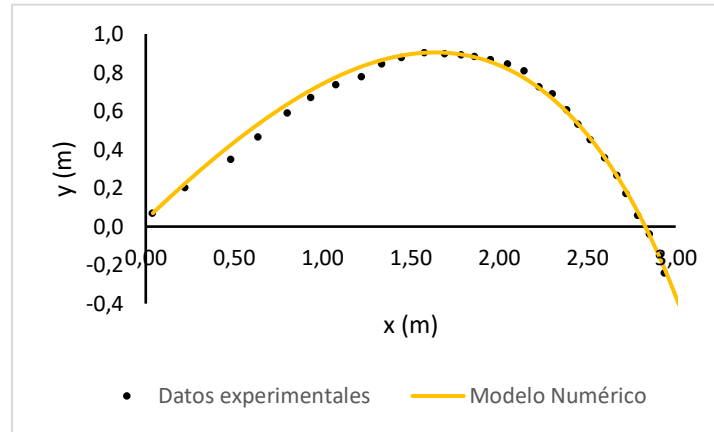
**TABLA II.** Solución numérica de la ecuación de movimiento (4).

<i>Paso</i>	<i>Componente x</i>	<i>Componente y</i>
	$x_0, v_{x0}$	$y_0, v_{y0}$
1	$F_{x0} = r \sqrt{v_{x0}^2 + v_{y0}^2} v_{x0}$	$F_{y0} = -mg + r \sqrt{v_{x0}^2 + v_{y0}^2} v_{y0}$
2	$v'_{x1} = v_{x0} + \left(\frac{F_{x0}}{m}\right)\Delta t$	$v'_{y1} = v_{y0} + \left(\frac{F_{y0}}{m}\right)\Delta t$
3	$v_{x\frac{1}{2}} = \frac{v_{x0} + v'_{x1}}{2}$	$v_{y\frac{1}{2}} = \frac{v_{y0} + v'_{y1}}{2}$
4	$x_1 = x_0 + v_{x\frac{1}{2}}\Delta t$	$y_1 = y_0 + v_{y\frac{1}{2}}\Delta t$
5	$F_{x\frac{1}{2}} = r \sqrt{v_{x\frac{1}{2}}^2 + v_{y\frac{1}{2}}^2} v_{x\frac{1}{2}}$	$F_{y\frac{1}{2}} = -mg + r \sqrt{v_{x\frac{1}{2}}^2 + v_{y\frac{1}{2}}^2} v_{y\frac{1}{2}}$
6	$v_{x1} = v_{x0} + \left(\frac{F_{x0}}{m}\right)\Delta t$	$v_{y1} = v_{y0} + \left(\frac{F_{y0}}{m}\right)\Delta t$
7	$F_{x1} = r \sqrt{v_{x1}^2 + v_{y1}^2} v_{x1}$	$F_{y1} = -mg + r \sqrt{v_{x1}^2 + v_{y1}^2} v_{y1}$

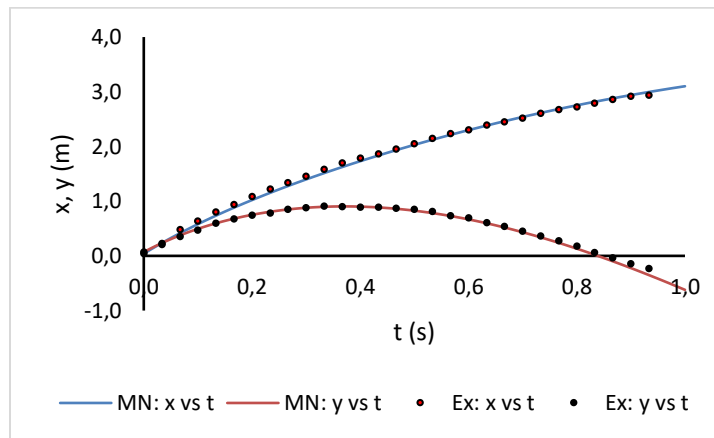
La solución numérica de las componentes de la ecuación de movimiento (4), dada en la tabla II, requiere las condiciones iniciales del movimiento. Establecidas estas condiciones, se calculan las fórmulas de los pasos del 1 al 6, lo que permite aumentar el índice de iteración en una unidad para todas estas fórmulas para calcular el paso 7, que recomienza el proceso de iteración de las fórmulas de la 1 a la 6, pero en un tiempo que se inicia con  $t_1 = t_0 + \Delta t$ . En general, si la iteración se empieza con un tiempo  $t_i$  después de seis pasos se reinicia con un tiempo  $t_{i+1} = t_i + \Delta t$ , con  $i = 0, \dots, n-1$ , para terminar el proceso iterativo en un tiempo  $t_n = t_{n-1} + \Delta t$ .

### III.3 Solución numérica

Las gráficas 3 y 4 muestran la solución numérica para la trayectoria del movimiento del gallito y sus componentes x e y respecto del tiempo, y su comparación con los datos experimentales.



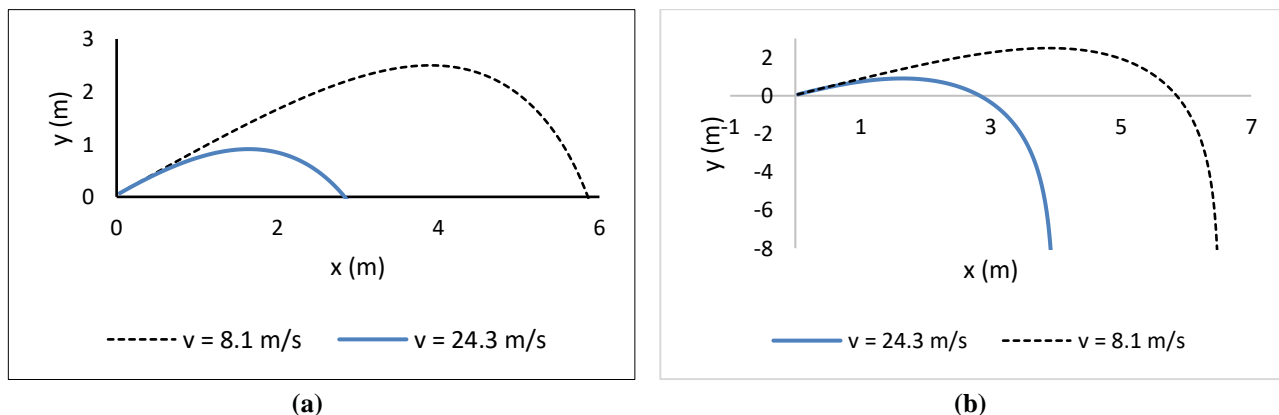
**GRAFICA 3.** Comparación de la solución numérica con los datos experimentales de la trayectoria del vuelo del gallito en el aire durante el juego de bádminton entre dos personas.



**GRAFICA 4.** Comparación de la solución numérica con los datos experimentales de las componentes x e y en función del tiempo del vuelo del gallito en el aire durante el juego de bádminton entre dos personas.

### III.4 Predicciones

Los estudiantes no reportaron predicciones, pero alguna predicción interesante se obtiene aumentando solamente la velocidad inicial del gallito, su trayectoria cambia notablemente. Si la velocidad inicial del gallito se duplica, la trayectoria cambia significativamente de la manera que se muestra en la gráfica 5.



**GRAFICA 5.** Predicción de la trayectoria del gallito cuando su velocidad inicial se triplica (curva naranja) comparado con la trayectoria de los datos experimentales originales, (a) vista normal, (b) vista extendida por debajo del nivel original.

Cuando la velocidad inicial del gallito se triplica, sin cambiar su dirección, la trayectoria que se observa en la predicción es asimétrica respecto de su alcance vertical máximo. Si tratamos de describir esta trayectoria, se puede decir, que inicialmente es rectilínea y un poco antes de llegar a su altura máxima, empieza a describir una curva que podría parecer una parábola, para después irse enderezando y terminar con una trayectoria rectilínea vertical (como se muestra en la gráfica 5 de la derecha). Sin embargo, este último comportamiento (Gráfica 5b), solo ocurre si el piso estuviera unos doce metros del lanzamiento inicial del gallito (no en el juego normal de bádminton).

Comparada esta trayectoria, con la trayectoria del experimento, hay notables diferencias, ya que la trayectoria experimental, por encima del piso, es muy cercana a una parábola (Gráfica 5a), aunque, si se considera su movimiento extendido (Gráfica 5b) su movimiento termina en una línea recta vertical, igual que el movimiento de la predicción, con la diferencia de que este último, empieza su violento cambio a una recta vertical, por encima del nivel de juego.

#### IV. DISCUSIÓN

Los tres estudiantes llevaron su proyecto de investigación del movimiento en el aire del gallito del juego de bádminton, aplicando el ciclo de aprendizaje que practicaron durante la clase de laboratorio de mecánica. Ellos, en la fase de exploración seleccionaron el lugar para llevar a cabo el juego de bádminton entre dos de las participantes del equipo de estudiantes, mientras el tercer participante llevó a cabo el registro de datos experimentales por medio del vídeo del movimiento. A partir de las observaciones que hicieron de la trayectoria del gallito, infirieron que no era parabólica, y en el procesamiento de los vídeos de los movimientos del gallito, con el uso del programa *Tracker*, obtuvieron la trayectoria experimental y las coordenadas  $x$  e  $y$  del movimiento como función del tiempo. Al tratar de ajustar una parábola a la trayectoria, no lograron un ajuste conveniente, verificando su hipótesis de que el lanzamiento de un gallito no se modela con una parábola. Sorprendentemente, al hacer el ajuste cuadrático para las componentes  $x$  e  $y$  del movimiento del gallito, se ajustan parábolas para cada una de ellas, comprobando que no se trata de movimiento parabólico como el modelado por Galileo en el vacío.

Los estudiantes proceden a modelar teóricamente el movimiento del gallito en el aire. Ellos proponen que la fuerza de resistencia del aire como proporcional al cuadrado de la velocidad (de acuerdo con la literatura) y escriben vectorialmente la ecuación de movimiento (4) o sus componentes, en las ecuaciones (4a) y (4b). Para resolver, estas ecuaciones, ellos necesitan determinar la constante  $r$  de resistencia del aire, por lo que planean otro experimento para medir esta constante: el dejar caer el gallito desde una altura de aproximadamente de 8 m y medir su velocidad terminal por medio de vídeo y calcular la constante  $r$  mediante la fórmula (3).

Con el valor conocido de  $r$  y las condiciones iniciales determinadas por los estudiantes, ellos proceden a resolver numéricamente las ecuaciones (4a) y (4b) con el método numérico descrito en la Tabla II y a graficar los resultados y compararlos con los datos experimentales, las cuales se muestran en las gráficas (3) y (4). Los estudiantes concluyen que la solución numérica de las ecuaciones, (4a) y (4b) modela con acierto el movimiento experimental y que la trayectoria no es una parábola, debido a que con el tiempo de vuelo, la resistencia del aire en la dirección horizontal, el gallito pierde la componente de su velocidad en  $x$ , alcanzando un alcance máximo horizontal y continuando su movimiento exclusivamente vertical alcanzando una velocidad terminal constante (Gráfica 5b), obtenida de la fórmula (3).

La fase de predicción no fue reportada por los estudiantes en su proyecto, por lo que, utilizando los resultados de su modelación numérica del movimiento del gallito, se calcula su trayectoria para una velocidad tres veces mayor que las reportadas por los estudiantes en su experimento de bádminton. En las gráficas (5a) y (5b) se muestra la comparación del movimiento experimental, con el movimiento predicho por la solución numérica; se observa que con mayor velocidad del gallito (como la proporcionada por un jugador de bádminton entrenado), su movimiento tiene mayor alcance, pero la curvatura con la que se aproxima a la raqueta del jugador oponente ocurre a un ángulo mayor, más cercano a  $90^\circ$  con la horizontal, lo que limita repentinamente su alcance horizontal y precipita la caída del gallito al piso con un movimiento casi vertical. Ello, explica los extraños movimiento de “clavada” que el gallito tiene después de pasar la red y que deja fuera de su alcance al jugador oponente.



## V. CONCLUSIONES

El ciclo de aprendizaje es una estrategia de enseñanza-aprendizaje que los estudiantes siguen en el curso del laboratorio de mecánica para sus indagaciones y aprendizajes de la dinámica de diversos movimientos de objetos físicos masivos, con la aplicación de la segunda ley de Newton a partir del experimento, de la modelación teórica y la solución numérica de la ecuación de movimiento para descubrir las características científicas de la dinámica de esos movimientos.

El grupo de tres estudiantes que aplicaron el ciclo de aprendizaje en su proyecto de final de curso al movimiento de un gallito en el juego de bádminton, plantearon realizar el estudio de este movimiento, de manera independiente y autónoma, aplicando la estrategia de investigación del ciclo de aprendizaje. Ellos, siguieron inicialmente el proceso inductivo de este ciclo (fase exploratoria y fase experimental) para proponer la hipótesis de que el movimiento del gallito no describe una trayectoria parabólica y probar su veracidad o falsedad con el experimento, obteniendo datos y gráficas experimentales que les permitió inferir la veracidad de la hipótesis, al tratar de ajustar, por mínimos cuadrados, una función cuadrática que no se ajusta a la trayectoria experimental.

Para descubrir la dinámica del movimiento del gallito en el aire, ellos continúan con el proceso deductivo del ciclo de aprendizaje (fase de modelación y fase predictiva) proponiendo la ecuación del movimiento del vuelo del gallito, encontrando experimentalmente los parámetros necesarios para definir por completo esta ecuación y resolviéndola numéricamente. Los estudiantes interpretan físicamente la gráfica de la solución numérica comparándola con los datos experimentales para determinar la coincidencia del modelo teórico-numérico con el experimento y así su proponer su validez general para este tipo de movimientos.

La fase predictiva no fue reportada por los experimentos, por ser una fase compleja, que trata de extender y probar la aplicabilidad del modelo a cualquiera otro de los movimientos que el gallito puede tener, incluyendo valores extremos, prediciendo estos movimientos, a partir de la variación de parámetros o condiciones iniciales, e interpretando y deduciendo los diversos comportamientos dinámicos que el gallito pueda tener en su vuelo en el aire.

Los estudiantes en la aplicabilidad del ciclo de aprendizaje han desarrollado habilidades científicas semejantes a la que los físicos profesionales desarrollan en sus trabajos de investigación. Ellos han explorado un fenómeno de movimiento original, han experimentado con él y lo han modelado con éxito. Han resuelto preguntas, que en la historia de la física han sido importantes y han podido discriminar entre lo dicho por notables investigadores como Galileo o Tartaglia, de una manera independiente y creativa. La investigación del movimiento, no se agota con los estudios realizados por los estudiantes, pero señala un camino de investigación que otros estudiantes, inclusive profesores e investigadores, pueden seguir, para ampliar el conocimiento del movimiento estudiado por nuestros estudiantes.

El ciclo de aprendizaje es en sí, un proceso para el descubrimiento científico, que los estudiantes pueden seguir para realizar sus propios descubrimientos.

## AGRADECIMIENTOS

A los estudiantes Yoledah Meztli Moan Jiménez Galarza, Diana Laura Quijada Ocampo y Carlos Andrés Velázquez Escamilla, por su participación en este trabajo con su proyecto de final de curso LM/S2019-3, FC-UNAM.

## REFERENCIAS

Galilei, G. (1981). *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*. Madrid: Editora Nacional.

Cohen, C., & Clanet, C. (2015). The physics of badminton. *New Journal of Physics*, 17, 063001: 1- 17.

March, R. (1982). *Física para poetas*. México, D.F.: Siglo XXI Editores.

Koyré, A. *Estudios de historia del pensamiento científico*. México, D.F.: Siglo XXI Editores.

Peastrel, M., Lynch, R., & Armenti, A. (1980). Terminal velocity of a shuttlecock in vertical fall. *American Journal of Physics* 48, 511-513.

Phomsoupha, M., & Laffaye, G. (2015). The Science of Badminton: Game Characteristics, Anthropometry, Physiology, Visual Fitness and Biomechanics. *The Science of Badminton*, 45(4), 473-95.

Tartaglia, N. (1998). *La Nueva Ciencia*. Colección MATHEMA, México, D.F.: Servicios editoriales de la Facultad de Ciencias, UNAM.