




# Estrategia didáctica para identificar y modelar conceptos básicos de mecánica basada en los estándares científicos de la próxima generación

Didactic strategy to identify and model basic concepts of Mechanics based on Next Generation Science Standards

José Wiliulfo Hernández Yano <sup>1,2\*</sup>, Mario Humberto Ramírez Díaz <sup>2</sup> y Barbarela Dávila Carmona <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Tlaxcala, Carretera Apizaquito s/n, San Luis Apizaquito. C.P 90401, Apizaco, Tlaxcala, México.

<sup>2</sup> Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Calz. Legaria 694, Col Irrigación, Miguel Hidalgo, 11500, Ciudad de México.

\*E-mail: [josewiliulfo.hernandez.y@uatx.mx](mailto:josewiliulfo.hernandez.y@uatx.mx)

Recibido el 24 de noviembre de 2022 | Aceptado el 18 de septiembre de 2023

## Resumen

El artículo describe a un grupo de estudiantes de primer semestre que ingresan al programa de Ingeniería mecánica en la Universidad Autónoma de Tlaxcala en México. Se identifican algunas estrategias didácticas alineadas con un curso a distancia y al marco de referencia de los estándares científicos de la próxima generación. Además, se incorporan la modelización de conceptos básicos y el pensamiento reflexivo. La estrategia propuesta es conducir a los estudiantes a la modelación básica de los conceptos fundamentales de la mecánica newtoniana, para que reconozcan el sistema de principios y conceptos físicos asociados a las tres leyes del movimiento de Newton. La estrategia comienza mostrando fenómenos del mundo real o experimentos a través de videos cortos, para la construcción de representaciones pictóricas; propias de la ciencia y la tecnología. Paralelamente a la clase, los alumnos trabajan en un proyecto que va ligado a los conceptos anteriores a medida que avanzan en su desarrollo. Los resultados indican que los estudiantes pudieron anclar algunos fenómenos del mundo real con conceptos importantes a través de modelos, aunque todavía tienen problemas semánticos.

**Palabras clave:** Estrategia didáctica; Estándares científicos; Mecánica.

## Abstract

This paper describes a group of first-semester students entering the Mechanical Engineering program at the Universidad Autónoma de Tlaxcala in Mexico. The paper identifies several didactic strategies aligned with a distance course and the Next Generation Scientific Standards reference framework. Furthermore, the paper incorporates modeling of basic concepts and reflective thinking as part of the transversal concept. The proposed strategy is to lead students to the basic modeling of the fundamental concepts of Newtonian mechanics, so that they recognize the system of physical principles and concepts that are associated with Newton's three laws of motion. The strategy begins by showing real-world phenomena or experiments through short videos, for the construction of pictorial representations that are typical of science and technology. In parallel to the class, students work on a project that is linked to the previous concepts as they advance in their development. The results indicate that the students were able to anchor some real-world phenomena with important concepts through models, although they still have some semantic problems.

**Keywords:** Didactic strategy, Scientific standards, Mechanics.

## I. INTRODUCCIÓN

Mucho se ha escrito sobre el aprendizaje de la mecánica de Newton como lo refieren Jauhiainen (2006), Fitria y Suyudi (2021), y Syuhendri (2022). En particular, Hestenes (1992) propuso usar una instrucción centrada en el proceso de modelado y el pensamiento reflexivo, aspectos con los que se coincide plenamente, y la razón es la siguiente en Ingeniería mecánica es común el uso de gráficos o esquemas de objetos o fenómenos, acompañados de la simbología apropiada y un modelo matemático asociado. Desde el punto de vista del aprendizaje en ingeniería, (diferente al que esperan los físicos, que es crear y validar los modelos) su comprensión sería evidenciable cuando se apliquen estos, a casos específicos del mundo real (Ullman, 1992; Krick, 1974; Rugarcía *et al.*, 2001). El problema surge cuando los estudiantes no son capaces de asociar los modelos a situaciones de la vida cotidiana, debido a que no han tenido la experiencia de ser ellos quienes creen estas representaciones visuales simplificadas, a partir de fenómenos reales (Hestenes, 1987; Halloun, 1997; Gainsburg, 2006).

De acuerdo con Halloun (1997), un constructo se refiere a una estructura conceptual que se puede comunicar explícitamente de forma verbal, pictórica o matemática, que refleja un significado común en una comunidad profesional, las ciencias y la ingeniería se basan en ellos y son objeto de estudio de la epistemología, así el desarrollo del estudiante en el mundo científico, le requiere adoptar esta epistemología y por lo tanto, debe ser motivado a evaluar sus propios constructos mientras está en contacto con los fenómenos físicos, esta inducción debe hacerse de manera sistemática, iniciando con los modelos básicos, dentro del contexto apropiado.

Los estudiantes de física que participan en su propio proceso de aprendizaje: desarrollando su propia comprensión de los conceptos, o mediante aprendizaje activo y pensamiento crítico, están más comprometidos y tienen más probabilidades de recordar conceptos, analizar y evaluar información (Gómez y Navarro, 2020; Sánchez y Delgado, 2020), por ello es importante incorporar estrategias de este tipo. El aprendizaje basado en simulación, en juegos o en realidad virtual pueden ser formas eficaces en la enseñanza de la física, dependen del diseño instruccional, y la selección de materiales apropiados para promover el aprendizaje (Saeed y Idrees 2022; Yuan, Hu y Li, 2021; Wang, Yu y Huang, 2021), pero estas estrategias están más enfocadas en el aprendizaje práctico que en el conceptual.

El objetivo de este trabajo es proponer una estrategia didáctica basada en el Marco de referencia de los estándares científicos para la próxima generación, para que estudiantes de nuevo ingreso a la licenciatura en Ingeniería mecánica de la Universidad Autónoma de Tlaxcala, que toman un curso introductorio de mecánica a distancia, se ejerciten en esta actividad. Se espera que más tarde puedan asociar los modelos con la realidad, esa parte de la investigación aún no se ha llevado a cabo.

En México, el Centro Nacional de Evaluación es una asociación civil que diseña instrumentos de evaluación que se aplican para el ingreso al nivel superior, entre otros. Ellos reportan que, en 2021, a nivel nacional, el 39 % de los 64061 sustentantes que contestaron el módulo de física, del examen diagnóstico para aspirantes a ingresar a un programa de ingeniería y tecnología, lograron obtener satisfactorio. El estado de Tlaxcala se encuentra en la zona centro sur, sin duda una de las zonas más importantes del país. Para este estado en particular, 737 aspirantes presentaron este examen y de ellos el 27.4 %, logró obtener un resultado satisfactorio, aun cuando el 72.1 % tenía promedio de bachillerato mayor a 8 de un máximo de 10; es decir, aproximadamente el 70 % de los estudiantes de nuevo ingreso no logra un resultado satisfactorio en el área de física. Estos son los estudiantes que se matriculan en la Universidad Autónoma de Tlaxcala, UATx una institución pública estatal, que oferta 4 ingenierías, entre ellas Ingeniería mecánica, el plan de estudios es de 9 semestres, en primer semestre se imparten 6 unidades de aprendizaje, Fundamentos de Mecánica pertenece a este nivel y en este curso se ha implementado la estrategia descrita en este trabajo. En entrevistas realizadas por el Programa Educativo de Ingeniería mecánica de la UATx a estos estudiantes, se determinó que un alto porcentaje de los estudiantes que ingresan al programa lo hacen pensando que recibirán una formación técnica como reparar automóviles o maquinar piezas mecánicas, no una educación en físico matemáticas aplicada. Además, el cambio repentino al aprendizaje a distancia e híbrido, debido a la pandemia de covid-19, creó la necesidad de proponer experiencias científicas virtuales o en el hogar. Al tomar en cuenta estos factores se propuso esta estrategia de trabajo.

Los Estándares científicos para la próxima generación (Next generation science standards, NGSS) fueron publicados por el National Research Council (NRC), con base en cuatro ideas clave (Krajcik y Merritt, 2012, p. 1): (1) número limitado de ideas básicas de ciencia, (2) acoplamiento de las ideas centrales y prácticas científicas y de ingeniería, (3) conceptos transversales, y (4) el desarrollo de ideas centrales, prácticas científicas y conceptos transversales a lo largo del tiempo. *“La visión del Marco de referencia de los NGSS es usar prácticas científicas y de ingeniería como un medio para que los estudiantes muestren evidencia de que pueden aplicar el conocimiento”* (Pruitt, 2014).

En este trabajo se siguieron las estrategias para el aprendizaje a distancia sugeridas por Wolbrink y Sarna (2020) para alinearse con los NGSS, que son:

- 1) Introducir fenómenos a través de trabajo previo independiente;
- 2) Asegurar que todos los estudiantes puedan experimentar y explorar los fenómenos lo más directamente posible;

- 3) Proporcionar preguntas de discusión en forma escrita para apoyar el desarrollo estudiantil;
- 4) Integrar elementos de prácticas de ciencias e ingeniería, ideas básicas disciplinares y conceptos transversales para dar sentido a los fenómenos o al diseño de soluciones a problemas;
- 5) Relevancia y autenticidad;
- 6) Aprovechar las conexiones domiciliarias adicionales;
- 7) Brindar a los estudiantes tiempo independiente para formular preguntas e ideas para impulsar el siguiente paso en el aprendizaje;
- 8) Obtener ideas de los estudiantes a través del discurso y la escritura en ambos entornos sincrónicos y asincrónicos; redacción y envío de fotografías o videos; completar un diario o cuaderno de investigación;
- 9) Conectar el aprendizaje con actividades específicas de lecciones anteriores;
- 10) Fomentar la construcción de una comunidad y la comunicación frecuente con los estudiantes, solicitar a los estudiantes que discutan temas de ciencia con los miembros de su familia;
- 11) Ayudar a los estudiantes a aprender unos de otros;
- 12) Poner el valor en el aprendizaje, al dar sentido a los fenómenos o al diseño de soluciones y no a la herramienta en sí.

Conceptos como espacio, tiempo, partícula, masa y fuerza, implícitamente definidos por las leyes de Newton, son importantes porque se emplean para modelar el mundo físico. Así, bajo la premisa de que el aprendizaje de los conceptos básicos de mecánica, de los estudiantes de nuevo ingreso a la licenciatura de Ingeniería mecánica de la Universidad Autónoma de Tlaxcala, mejoraría si se aplicaba una estrategia didáctica basada en el marco de referencia de los estándares científicos de la próxima generación, como lo recomienda el Jet Propulsion Laboratory o Campbell y McKenna (2016), se inició esta investigación cuyo propósito fue desarrollar una estrategia didáctica para identificar, representar y anclar los conceptos básicos de la mecánica de Newton, basada en el marco de referencia de los NGSS. Y segundo, aplicarla a un grupo de 12 estudiantes de nuevo ingreso a la licenciatura de Ingeniería mecánica de la Universidad Autónoma de Tlaxcala en un curso a distancia, en el período de otoño 2021 (bajo las condiciones que impuso la pandemia), con duración de 6 semanas incluyendo evaluación.

## II MATERIALES Y MÉTODOS

Las ideas e identidades científicas se basan en experiencias personales y deben aprovecharse a medida que se aprenden (Bell, Shouse y Peterman, 2014), por ello, el marco de referencia de los NGSS demanda iniciar el aprendizaje con un fenómeno o un problema que pueda ser visto por los estudiantes en su contexto real (identificando tecnología o principios físicos involucrados), que ayude a anclar el conocimiento, y alrededor del que se propongan actividades encaminadas a formar conceptos disciplinarios, con prácticas auténticas de ciencias o ingeniería. Esto significa que, si el objetivo del aprendizaje consiste en asociar un fenómeno físico real con un concepto de la mecánica newtoniana, se debería partir de observaciones de fenómenos reales, con todo y los posibles “distractores” que estos puedan tener. Al tratarse de un curso a distancia se privilegió el acompañamiento y la discusión del fenómeno.

### A. Estrategia didáctica

De acuerdo con Prince y Felder (2006), la enseñanza y aprendizaje deductivos (principios, derivaciones, ejemplos y tareas), típicos de la enseñanza de ciencias e ingeniería, promueven la retención de corta duración, por lo que sugieren una enseñanza inductiva que inicie con una pregunta, un problema o una observación, luego la introducción de principios y métodos basados en el contexto del problema, a través del aprendizaje basado en problemas, basado en casos o en proyectos, de forma que se promueva una enseñanza efectiva, el entendimiento conceptual y la retención a largo plazo. Por otra parte, la página de Exploratorium aclara que los estándares científicos de la próxima generación piden a los maestros que reformulen la enseñanza tradicional de las ciencias, que a menudo sigue el patrón de introducir conceptos y luego confirmarlos con experiencias en el aula. En lugar de simplemente presentar y probar conceptos, NGSS requiere que se inicie el aprendizaje a través de fenómenos y luego se apoye a los estudiantes mientras trabajan para explicar esos fenómenos, construyendo su propia comprensión de los conceptos a lo largo del tiempo al participar en prácticas científicas auténticas, en acuerdo con Prince y Felder (2006).

En esta estrategia didáctica se atiende tanto a la instrucción centrada en el modelado y la reflexión, propuesta por Hestenes (1992), como a la riqueza de la tridimensionalidad del aprendizaje que dicta el marco de referencia de los NGSS. Usando como conceptos disciplinares masa, velocidad, aceleración, marco de referencia, fuerza, y las tres leyes de Newton, se trabajó específicamente en el logro de dos estándares relacionados directamente con NGSS: el HS-PS2-1 y el HS-PS2-3. El primero establece que los estudiantes que demuestran su comprensión pueden: analizar datos para

respaldar la afirmación de que la segunda ley del movimiento de Newton describe la relación matemática entre la fuerza neta sobre un objeto macroscópico, su masa y su aceleración. El segundo es aplicar ideas científicas y de ingeniería para diseñar, evaluar y refinar un dispositivo que minimice la fuerza sobre un objeto macroscópico durante una colisión (Sarna 2013). El concepto transversal, aquí enfatizado, es el modelo físico aún como una representación esquemática.

El enfoque en el modelado se ha adaptado a diversas condiciones como la reportada por Euler y Gregorcic (2017) de manera presencial y con la ayuda de software especial, aquí se tienen tres factores a considerar. Primero, los estudiantes no han trabajado antes con los NGSS como se esperaría para quienes deben alcanzar estos estándares; segundo, no se parte de experimentos de laboratorio preparados ex profeso o de modelos representativos típicos; y, para la mayoría de los estudiantes, es la primera vez que toman clases a distancia síncronas. Para las 8 prácticas de ciencia e ingeniería que menciona el MR (NRC, 2012), se usó la siguiente secuencia, adaptada tanto al curso a distancia, en torno al modelado y con los conceptos básicos mencionados anteriormente, para cada sesión:

1. Observar el video de un fenómeno real, por ejemplo, un objeto en caída libre se lleva entre 5 y 20 minutos, los estudiantes deben estar atentos a lo que pasa, pero no reciben ninguna otra indicación.

2. Mientras observan el video los estudiantes deben formular al menos tres preguntas, en este caso los estudiantes escriben sus preguntas al momento, antes de que el video termine, se observó que estas normalmente se hacían en torno a los distractores y no al fenómeno que se quería estudiar.

3. Describir y redactar un párrafo de la situación observada, mientras el docente contesta las preguntas formuladas por el estudiante, sin importar qué pregunte, con la intención de que el estudiante gane confianza al formularlas. En sus libretas describían lo que les pareció más relevante del video observado, esta actividad consumía entre 5 y 10 minutos.

4. Una vez observado el video, formuladas y contestadas sus preguntas y con la descripción en su libreta, se mostraba a los estudiantes una serie de preguntas, por ejemplo, después de observar un tren en movimiento ¿Cuánto tarda cada carro en pasar por un mismo punto? ¿A qué velocidad se mueve el tren? ¿Hay alguna variación en la velocidad? ¿Cómo puede representarse de manera simplificada? Diferentes estudiantes van contestando las preguntas planteadas por el docente en la clase, cuya finalidad es introducir ideas y dirigir al estudiante hacia el concepto que desea que identifiquen (con la evidencia proporcionada), a menudo es necesario volver a correr el video o detenerlo si es necesario. El docente guía la discusión para evadir los distractores y, una vez que se llega a una respuesta adecuada a la pregunta formulada, se continúa. Esta actividad lleva entre 10 y 15 minutos.

5. Una vez que la observación ha sido más cuidadosa, se les solicita a los estudiantes que usen la pizarra digital para representar con un diagrama simplificado el fenómeno identificado, en esta fase la instrucción se centra en el modelo creado por el estudiante, que a menudo debe complementarse también con símbolos matemáticos como vectores fuerza o velocidad. Esta parte se les dificultó al suponer que existe una forma correcta o única de hacerlo, pero poco a poco fueron ganando confianza al hacer sus representaciones, que pasaron de querer copiar la forma y volumen de los objetos a sustituirlos por simplificaciones de ellos (ver figura 1). Esta etapa consumió alrededor de 15 minutos, en cada clase.

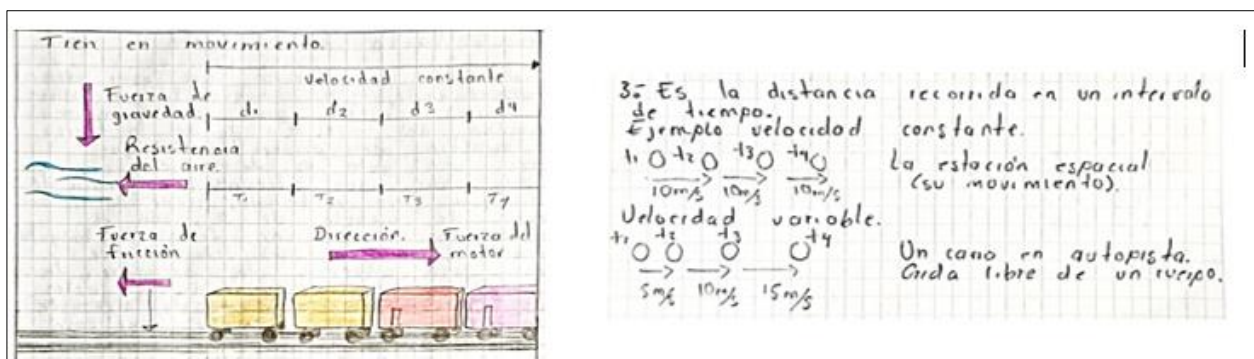


FIGURA 1. Evolución de la representación o modelo. Representación al inicio del curso (Izq.) y al final (Der).

6. Como lo sugirió Bachelard (2000), cuando un estudiante puede realizar una representación simplificada de un fenómeno físico que observó, está en condiciones de asociarla al concepto físico identificado con su modelo. Y puede describirlo, redactando nuevamente la situación, pero ahora usando el concepto físico y argumentando sobre la evi-

dencia que le da sustento. Esta parte es reforzada por el docente, esto es, se induce el pensamiento reflexivo. El diagrama y su descripción se envían para su revisión y retroalimentación, en total la actividad dura entre 5 y 10 minutos. Normalmente se ven dos o tres videos por cada sesión de dos horas.

El MR (NRC, 2012) solicita, además, que se entrelace la instrucción de la ciencia y la ingeniería con experimentos, o un diseño que solucione un problema y que ayude a fijar o anclar la idea disciplinar. Al inicio del curso los estudiantes recibieron una guía para realizar un proyecto (de manera paralela a la instrucción en clase), que debían desarrollar de preferencia con la ayuda de un miembro de su familia, para concluirlo tuvieron un mes, presentando avances semanales, este instrumento se muestra más adelante. El problema que se eligió es la conocida actividad (Joshua, 2015) de dejar caer un huevo crudo desde un edificio, hasta el piso, sin que se dañe al momento del impacto, desde el enfoque de ingeniería deben diseñar, crear y probar un dispositivo que resuelva el problema, documentando todos los pasos. Los estudiantes pueden usar materiales para amortiguar al huevo durante el impacto o desacelerar la caída del huevo con un mecanismo tipo paracaídas, o una combinación de ambos. La razón de usar esta actividad como anclaje es que involucra un diseño o representación del fenómeno, mediciones, cálculos y experimentación. Deben demostrar que reconocen la física de la solución empleada, aun cuando todavía no puedan hacer cálculos formales de ingeniería.

## **B. Recursos didácticos**

El criterio para seleccionar los videos fue que correspondieran a situaciones reales cotidianas o experimentales, con duración menor a 20 minutos, algunos de ellos tomados a alta velocidad o en la estación espacial. Para apoyar la instrucción, también se usó el efecto estroboscópico de un objeto en caída libre y su secuencia de fotogramas. No se usaron videos o materiales con diapositivas o de clases que contengan representaciones convencionales (como diagramas, con representaciones vectoriales o conceptuales), porque esa es la salida que se espera de los estudiantes: la construcción de esos modelos simplificados. En total se usaron 32 videos (Hernández, 2022).

## **C. Implementación**

Las 30 horas de este curso a distancia (condición creada por la pandemia) fueron sincronicas con sesiones de 2 horas, tres veces por semana, los recursos se gestionaron desde la plataforma del Sistema Integral de Gestión de Aprendizaje de la Universidad Autónoma de Tlaxcala. Las actividades sincronicas se realizaron mediante video llamada, en un conversatorio, pudiendo presentar alternativamente el docente y los estudiantes. El chat fue una herramienta efectiva de participación de todos los estudiantes, ya que a través de este se formulaban las preguntas al observar los distintos materiales. Además de la intervención por audio, también se usaron la pizarra electrónica para que los estudiantes hicieran la representación y el modelado, y recursos de trabajo colaborativo. Las tareas, actividades y exámenes fueron enviadas por los estudiantes mediante correo electrónico al igual que la retroalimentación de estas, los exámenes se enviaron inmediatamente al concluirlos.

## **D. Participantes**

En el período de otoño 2021 se atendieron 12 estudiantes, 11 hombres y una mujer. Son egresados de distintas escuelas de nivel medio superior tanto públicas como privadas. El total de los estudiantes son solteros y cuatro de ellos además de estudiar trabajaban en talleres mecánicos. El rango de edades de los estudiantes va de los 17 a los 25 años, 5 estudiantes habían dejado de estudiar un año, por lo que no tenían experiencia previa con un sistema a distancia. El rango de promedios de bachillerato iba del 7.5 hasta el 9.5, su asistencia fue del 100 % ocasionalmente con retardos.

## **E. Procedimiento**

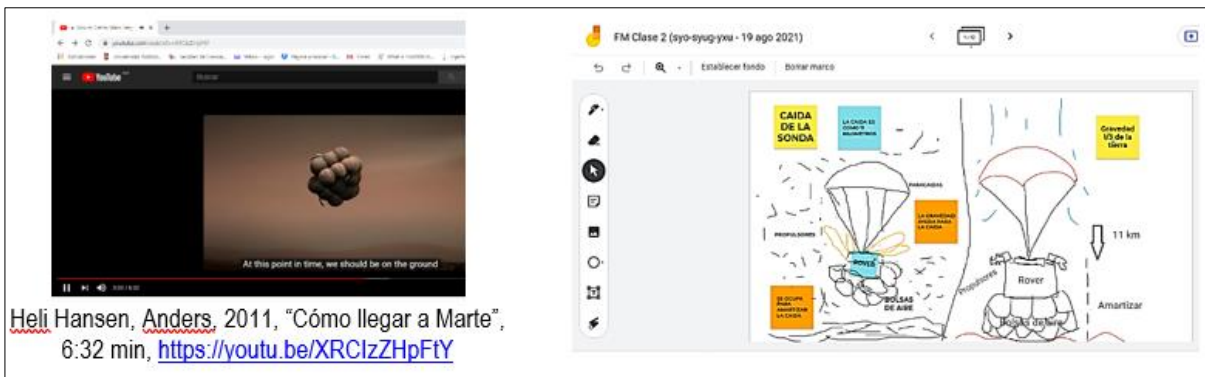
En la primera sesión los estudiantes se presentaron completando una diapositiva con sus datos: nombre, lugar de radicación, estado civil, escuela de la que egresaron, experiencia laboral y expectativas del curso. Después, se les dio a conocer el proyecto a realizar, aclarando el propósito, actividades, y fechas de revisión de avances, explicándoles cada actividad (ver tabla I). Esta actividad se retroalimentó vía correo de forma individual, y se discutía al final de cada clase, los días de revisión.

TABLA I. Guía para la realización del proyecto.

Peso %	Aprendizaje 3D	Actividad	Criterio	Fecha límite de revisión
F	PCI	Discutir y describir en qué consiste el problema	Definición del problema	J 19 agosto 2021
5 %	PCI	Hacer un experimento para determinar la altura máxima a la que un huevo crudo puede caer sin dañarse	Determina la altura de la caída sin daño Pasos y evidencia del experimento	J 19 agosto 2021
F	PCI	Investigar cómo han sido abordadas situaciones similares	Discusión de los hallazgos	V 20 agosto 2021
5 %	PCI CBD	Soluciones posibles para resolver el problema	Asociación de las soluciones a modelos y principios físicos	L 24 agosto 2021
5 %	PCI	Especifique con que recursos cuenta	Lista de los materiales para fabricar distintos artefactos	L 24 agosto 2021
5 %	PCI CBD	Calcule la velocidad de impacto del huevo crudo cuando se deja caer de distintas alturas	Uso de las ecuaciones de caída libre Análisis de resultados	J 26 agosto 2021
30 %	PCI CBD	Seleccione la mejor solución para su proyecto	Identificar el principio físico que interviene Cálculos necesarios para el diseño	V 27 agosto 2021
20 %	PCI CT	Dibuje y describa un diagrama de su solución explicando en qué consiste, sustente con cálculos o explicaciones físicas su diseño	Esquema del diseño Se indica cómo funciona Se usan literales para representar conceptos físicos Se usan vectores cuando se requiere Asociación de modelos físicos y cálculos realizados	L 31 agosto 2021
5 %	PCI	Haga una lista de los materiales que requiere para su diseño	Identifica qué se requiere y en qué cantidad	L 31 agosto 2021
5 %	PCI	Construya un primer prototipo del artefacto, documente su trabajo	Se documenta paso a paso cómo se construyó el artefacto	V 3 septiembre 2021
5 %	PCI CBD	Pruebe su artefacto	Se realizan las pruebas de forma segura Se evidencian los resultados Se argumenta los problemas hallados en base a la evidencia Se asocia el problema a algún principio físico Los registros de las observaciones y hallazgos son correctos	L 6 septiembre 2021
5 %	PCI	Mejore su diseño, describiendo que funcionó, qué no, qué podría funcionar mejor	Se explica la física detrás del diseño, como las fuerzas que intervienen	V 10 septiembre 2021
10 %	PCI	Construcción y pruebas del diseño final, el huevo crudo debe resultar ileso de una altura de al menos 2 m	Se presenta evidencia de que el objeto no salió dañado El diseño está en consonancia con los principios físicos asociados	L 13 septiembre 2021
100 %	PCI	Reporte completo del proyecto, incluye descripción, representación del problema, investigación, experimentación, diseño, cálculos, pruebas, revisión, conceptos físicos asociados, evidencias del resultado del experimento, etc.	La ortografía y gramática son correctas	V 17 septiembre 2021

Nota. En esta tabla F significa evaluación formativa, PCI.- Prácticas de Ciencia e Ingeniería, CBD.- Concepto básico disciplinar, CT.- Concepto transversal

Para fijar su interés en el objetivo a alcanzar, en la segunda sesión se observaron, describieron e identificaron artefactos usados para proteger objetos en caída libre, usando dos videos cuyo propósito era hacer una conexión del proyecto con situaciones de ingeniería reales —el caso del lanzamiento de una sonda hasta su amortizaje (Anders, 2011) y una cápsula espacial cayendo al mar (NASA, 2019)— de esa manera se exploró el contexto del proyecto con la realidad, la actividad cumplió su cometido, los estudiantes de inmediato la asociaron al proyecto, ver figura 2.



**FIGURA 2.** Asociación del problema a situación real. A la izquierda se muestra una captura del video y a la derecha la representación de los estudiantes hecha en la pizarra digital.

Para documentar una experiencia personal, antes del estudio de los conceptos básicos de mecánica, se les asignó un experimento casero: dejar caer un objeto, videograbararlo mientras cae y luego determinar el tiempo a cada cierta distancia recorrida. Después de revisar y evidenciar problemas con los resultados del experimento casero (ya que no se esperaba que los estudiantes obtuvieran resultados precisos o coherentes del experimento hecho en casa, sino que tuvieran presentes las dificultades de la medición en la investigación experimental), era necesario hacer una medición con una cierta precisión. Para ello, se usó un video que muestra un objeto en caída libre (Physis 2021), que se tomó a una velocidad de 960 fotogramas por segundo, el mismo se acompaña de una escala en cm y un cronómetro. Se les hizo llegar asimismo un PDF con fotogramas de la caída del objeto a cada cm de avance. El objetivo era que construyeran una tabla con los datos del desplazamiento y el tiempo, mientras el objeto caía, tratando de encontrar una relación entre el desplazamiento y el tiempo. Se pretendía que encontraran por sí mismos la relación cuadrática y el valor de  $g$ , que con este video es de  $9.8$ . Se les solicitó la representación del movimiento del objeto, la tabulación de sus resultados, su interpretación, y una gráfica desplazamiento-tiempo. La tercera sesión se dedicó por completo al problema de caída libre, estas actividades están directamente relacionadas con el estándar HS-PS2-1 de los NGSS. En la cuarta sesión, se les solicitó que graficaran sus resultados. También se usaron imágenes estroboscópicas de objetos en caída libre para reforzar su aprendizaje, de manera que pudieran observar que un objeto en caída libre va aumentando su velocidad a medida que cae. Estos aspectos se discutieron en clase usando sus datos, diagramas y gráficos.

En las siguientes sesiones se estudiaron los conceptos de velocidad constante, aceleración, masa, marco de referencia, cantidad de movimiento, fuerza y primera ley de Newton. Al llegar a la segunda ley de Newton, además de la secuencia didáctica implementada, se regresó al problema del objeto que se deja en caída libre y (después de deducir la fórmula de caída libre a partir de la segunda ley de Newton) se les pidió que usarán la formulación para resolver el problema de calcular el tiempo a las mismas distancias que se usaron en el experimento, comparando con sus resultados del experimento, explicando las diferencias entre una y otra, y discutiendo estos resultados. En las sesiones siguientes, se abordó la tercera ley de Newton, el movimiento parabólico y circular, la fricción, el choque elástico, el concepto de vector, y la suma de fuerzas. En seguida se describirá parte del material utilizado y la aplicación que se le dio.

Una vez que los estudiantes encontraron la relación entre el desplazamiento y el tiempo de un objeto que cae, se les mostró un video de la caída simultánea de una bola de boliche y una pluma en la cámara de vacío más grande del planeta, aquí los estudiantes observaron y explicaron si la masa de un objeto tiene alguna influencia en el tiempo de llegada al piso, haciendo un esquema para representar sus resultados. El recurso se puede consultar en BBC, Human Universe (2015). El objetivo era que los estudiantes reconocieran que los objetos caen con la misma aceleración sin importar su masa, bajo un campo gravitatorio y se les plantearon las siguientes preguntas ¿Cuál objeto llega más rápido al piso? ¿Qué diferencia a los dos objetos? ¿Cuál es el efecto del impacto de cada objeto sobre el piso?

Un tipo de movimiento que es importante reconocer es el de velocidad constante o movimiento rectilíneo uniforme, para ello se usó un video que muestra un tren moviéndose lentamente a velocidad constante, de manera que se puede apreciar que recorre distancias iguales en tiempos iguales (Goud, 2015). Para identificar las características del movimiento, se preguntó ¿Cuánto tarda cada carro en pasar por un mismo punto? ¿A qué velocidad se mueve el tren? ¿Hay alguna variación en la velocidad? ¿Cómo puede representarse de manera simplificada?

Una vez que los estudiantes reconocen que existe una constante debida al campo gravitatorio terrestre y que la masa no afecta la aceleración en el mismo, se muestra un video en el que objetos de diferente masa que se dejan caer de manera simultánea al aire libre, en realidad, no llegan al piso al mismo tiempo. Aquí identifican que el aire impone una resistencia que depende del área transversal del objeto (ESFTV, 2011), para reconocer que la velocidad de un objeto en caída libre también depende del medio que lo rodea y su geometría, las preguntas asociadas fueron ¿Llegan

los objetos que son soltados simultáneamente al mismo tiempo? ¿Por qué? ¿Cómo se puede cuantificar este efecto? ¿Qué fuerza se asocia a este fenómeno y cómo se representa?

Luego, se presenta el video de un objeto levitando debido a un campo magnético en la tierra en una cámara de vacío (The Action Lab, 2017), se pide a los estudiantes que representen al objeto en su libreta y expliquen lo que está pasando, se espera identifiquen que en presencia de un campo gravitatorio y ausencia de un fluido, si un objeto no cae es porque está sujeto a algún tipo de campo de fuerza, se les pregunta ¿Qué tipo de fuerzas están asociadas a este caso? ¿Existe algún fluido en la cámara? ¿El objeto levita o flota?

Como los estudiantes ya han identificado la aceleración debida a la gravedad, y que pueden existir otras fuerzas y condiciones en la caída de un objeto, se les presenta el video (VideoFromSpace, 2012) donde un astronauta en la estación espacial suelta un objeto. Se espera que identifiquen la ausencia del campo gravitatorio. Y ello dará pie a preguntar ¿Cómo medir la masa de los astronautas en el espacio? A continuación, verán un video donde un astronauta explica cómo se pesan los astronautas en la estación espacial, se espera que con esta actividad se pueda discutir el concepto de masa y que ellos puedan identificarla como una resistencia que se opone al movimiento. El recurso se muestra en The Action Lab (2019) ¿Se puede usar una báscula convencional en el espacio? ¿Qué es la masa? ¿Formas de estimar la masa de un cuerpo y por qué?

Se presenta un video de un avión en la condición conocida como gravedad cero, en el que se puede observar a personas “flotando”. La pregunta que se formulará esta vez es ¿Si existe un campo gravitatorio, es decir una fuerza? ¿Cómo lo saben? ¿Qué observan los pasajeros entre ellos? ¿Qué vería un observador externo, por qué? ¿Cuál visión describe mejor la “realidad”? Se espera que los estudiantes identifiquen que, si el sistema de referencia no es inercial, no se puede saber si actúa o no una fuerza sobre él. El recurso didáctico se muestra en Gkourounis (2013).

Los estudiantes observaron un video de la estación espacial donde un astronauta suelta con mucho cuidado un objeto relativamente pesado, este no se mueve, más adelante, debido a una corriente de aire en la estación el objeto empieza a desplazarse en línea recta, desde el punto de vista del astronauta. Se espera que, a partir de la identificación previa de la ausencia de un campo gravitatorio significativo en la estación espacial y la existencia de una corriente leve de aire, los estudiantes puedan establecer relaciones con la primera ley de Newton, al comprobar que en ausencia de fuerzas un cuerpo permanece en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme, desde el punto de vista del observador inercial. ¿Cuánto pesa el objeto que se suelta? ¿qué pasa con él, por qué? El recurso se encuentra disponible en NASA Johnson (2021).

Se observa otro video de la estación espacial, en el cual un astronauta usa un elástico para impulsar objetos con masas diferentes (VideoFromSpace, 2018). Se puede observar que con la misma tensión del elástico (fuerza), los objetos son impulsados con diferentes aceleraciones proporcionales a sus masas. El estudiante comprueba que la aceleración de un objeto depende de la fuerza neta que actúa sobre el objeto y la masa del objeto, y lo relaciona con la segunda ley de Newton. ¿Qué masas tienen los objetos que son lanzados? ¿Cambia la fuerza que se aplica a cada objeto? ¿Cuál es el comportamiento de cada objeto, por qué?

A continuación, se regresó a los resultados que se obtuvieron al analizar el video de caída libre a cámara lenta, pero ahora se dedujo primero la relación a partir de la segunda ley de Newton y se hicieron los cálculos correspondientes, usando el valor estándar de  $g=9.806 \text{ m/s}^2$ . Se calcula el tiempo a cada centímetro, luego se compararán con los resultados obtenidos anteriormente. El estudiante debe hacer la correlación de los mismos, se espera que pueda concluir que los resultados corresponden satisfactoriamente a lo que predice la segunda ley de Newton, evidenciándolo con sus resultados. Y también que entienda que un modelo matemático es más simple que un experimento, pero que siempre debe haber coincidencia entre uno y otro, para que pueda ser validado en un cierto rango de precisión, bajo diferentes circunstancias.

Se observa un video en el que un astronauta sostiene y luego empuja una pelota, posteriormente empuja a un compañero suyo en la estación espacial, dado que no hay una fuerza de fricción es claro el efecto, al ver retroceder al astronauta que empuja, se espera que el estudiante pueda representar lo que observa, lo pueda explicar y además que lo asocie con la tercera ley de Newton, de manera que compruebe que a cada acción corresponde una reacción de la misma magnitud y de sentido contrario y lo relacione con la tercera ley de Newton, ¿Qué pasa cuando el astronauta empuja la pelota? ¿Qué le ocurre al astronauta cuando empuja a su compañero y por qué? El recurso se puede observar en Video From Space (2018).

Durante la clase, todas las actividades se asociaron al proyecto inicial; y, al final, se regresó a este. Se les preguntó a los estudiantes qué harían para que los huevos no se rompieran, ellos ya habían empezado antes esta actividad, y ahora lo explicarían usando los conceptos físicos estudiados. Como el proyecto se realizó de manera paralela a la instrucción e iba avanzando con ella, concluyó al mismo tiempo, con la discusión de las soluciones dadas por cada uno de los estudiantes al problema, las fallas que tuvieron y cómo las resolvieron.

Se llama “prácticas científicas auténticas” a aquellas que se utilizan para hacer ciencia. Incluyen hacer preguntas, hacer observaciones, formular hipótesis, diseñar experimentos, recopilar datos, analizar datos, sacar conclusiones y comunicar resultados. Las primeras tres fases se llevaron a cabo a través de la visualización de videos y la formulación

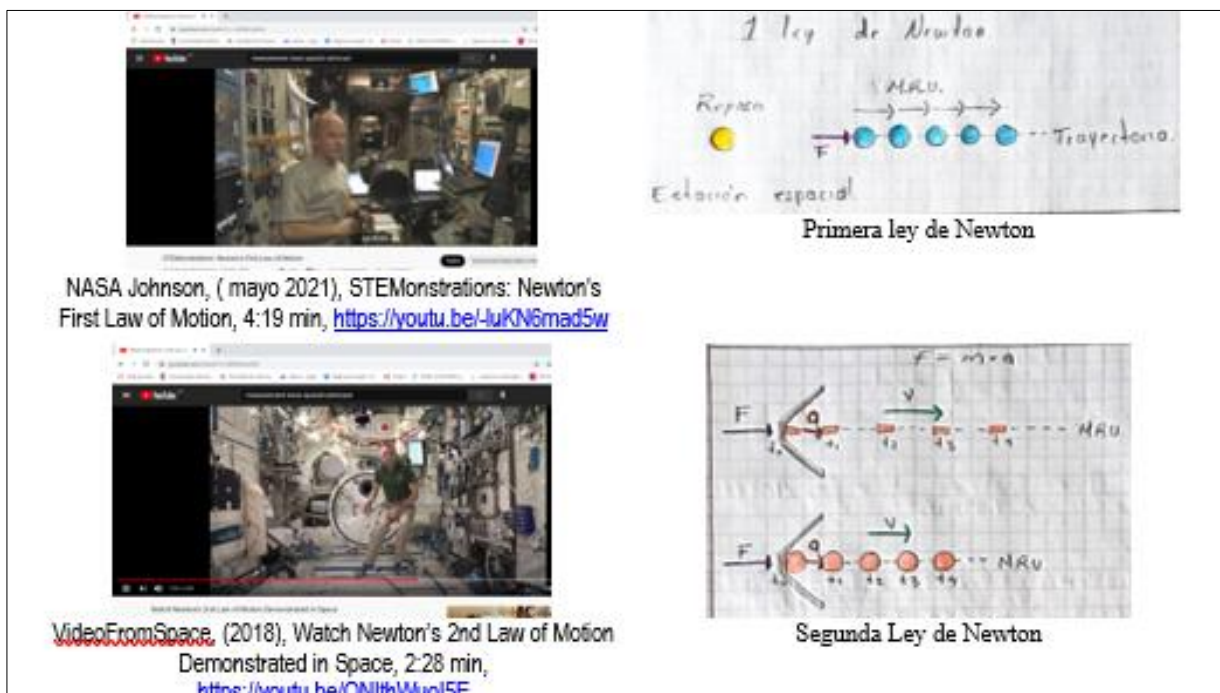


de preguntas y respuestas que hicieron los estudiantes, donde propiamente formulaban hipótesis. Los otros tres pasos estuvieron vinculados tanto al experimento casero, el material de apoyo para caída libre, y el desarrollo de su artefacto. El análisis de datos y conclusiones lo hicieron cuando hallaron el valor de  $g$ , y cuando probaron y mejoraron su artefacto, describiendo el principio bajo el cual funcionaba. Finalmente, sus resultados fueron documentados en un reporte y compartidos en una presentación. Los estudiantes fueron acompañados por los docentes en cada una de estas fases, se dirigió su atención a detalles específicos de un fenómeno (que quizá inicialmente pasaron desapercibidos para el estudiante) haciéndolos pensar en eventos similares; revisar sus tablas de datos y gráficos, preguntándoles sobre el contenido y la explicación de los mismos; atender a su análisis, corroborando si sus deducciones eran correctas; también se revisaron sus artefactos, sus experimentos y las mejoras aplicadas a estos.

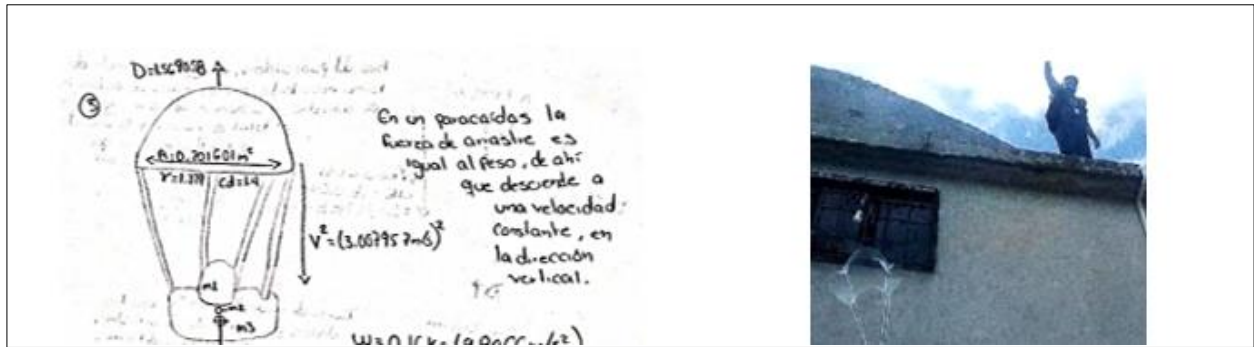
### III RESULTADOS

Como productos se tienen las descripciones del concepto físico, acompañadas de la representación simplificada que hicieron del mismo, a partir de la observación de un fenómeno real, con el uso recurrente de videos y la estrategia usada. En la figura 3, es posible ver como los estudiantes, después de haber trabajado en la representación, pueden dejar de lado los distractores y concentrarse en el concepto, esto es esencialmente lo que se quería lograr: llegar a esta expresión abstracta de la realidad.

Todos los estándares dados por NGSS tienen una expectativa de desempeño y un límite, de modo que se pueda llevar a cabo una evaluación patrón. El estándar HS-PS2-3 de los NGSS aclara que *“la evaluación se limita a evaluaciones cualitativas o manipulaciones algebraicas”* (Sarna, 2013), en este caso por tratarse de un curso introductorio, no se espera que los estudiantes usen modelos matemáticos complejos o hagan cálculos precisos, sino más bien que identifiquen los fenómenos físicos asociados y que calculen algunas variables. Este estándar se evaluó con los resultados del proyecto de la caída del huevo al que se le dio seguimiento paralelo a la instrucción, con una rúbrica que se les dio a conocer desde la primera sesión. Se usaron sus reportes finales y videos de su artefacto para su evaluación. En la figura 4 se puede ver como los estudiantes integran el modelo, cálculos y construcción.



**FIGURA 3.** Modelos representativos, a partir de fenómenos reales. Se muestran capturas de un par de videos usados para discutir conceptos de la mecánica de Newton y las representaciones que hacen los estudiantes: sus modelos de lo que observan.



**FIGURA 4.** Resultado del proyecto (estándar HS-PS2-1). Se muestra un ejemplo del esquema explicativo, realizado por un estudiante, de la física del dispositivo usado para proteger al huevo durante la caída y la prueba de este.

Para evaluar si los estudiantes alcanzan este estándar se usó una rúbrica (aprobada por la academia de Físico-Matemáticas Básicas del programa educativo) con 5 aspectos a evaluar: 1) Identificación de principios físicos asociados a una situación real específica, 2) Diagrama de su dispositivo identificando los componentes y su función (típico de los diseños en ingeniería), 3) Evidencias de la construcción del dispositivo, paso a paso, 4) Pruebas realizadas identificando posibles fallas y 5) Mejoras hechas al dispositivo y éxito del mismo. Se utilizaron 4 niveles de desempeño: Sobresaliente, suficiente, insuficiente, sin evidencia (Hernández, 2022). Se consideró que el estudiante alcanzó el estándar HS-PS2-3, si alcanza suficiente en al menos cuatro criterios de desempeño. De acuerdo con el criterio establecido el 75 % de los estudiantes alcanzó el estándar HS-PS2-3, siendo capaces de identificar los principios físicos involucrados en el diseño de su dispositivo, y el 16.66 % lo hizo de manera sobresaliente. El 91.66 % pudo completar un diagrama de funcionamiento de su dispositivo, antes de construirlo, identificando materiales. El 100 % llevó a cabo la construcción de su dispositivo. El 91.66 % identificó algunas fallas en su dispositivo después de la primera prueba. El 83.33 % hizo mejoras a su dispositivo, y el 91.66 % alcanzó la meta de no dañar al huevo al momento del impacto en un piso de concreto, incluso alcanzando alturas mayores de la propuesta inicialmente o disminuyendo el peso del dispositivo, en su segunda prueba.

Como en el estándar HS-PS2-1 se aclara que los datos pueden incluir tablas o gráficos de posición o velocidad en función del tiempo, y que se limita al movimiento unidimensional de objetos macroscópicos (Sarna, 2013), se seleccionó el problema de objetos en caída libre, se hizo en tres etapas: dejando un experimento casero, revisando información de un video a alta velocidad de un objeto en caída libre, en clase para obtener los datos de desplazamiento y tiempo; y, más tarde, usando una relación matemática deducida a partir de la segunda ley de Newton, este estándar se evaluó a partir de los reportes entregados por los estudiantes. Para la elaboración de los reportes a los estudiantes se les proporcionaron rúbricas de las actividades.

Para evaluar si los estudiantes alcanzan este estándar, se usó una rúbrica aprobada por la Academia de Físico-Matemáticas Básicas del programa educativo, con 2 aspectos a evaluar: 1) Análisis de datos, pueden ser tablas, gráficas o esquemas, 2) Argumentación, esta parte es importante porque ahí declaran si realmente entienden lo que están haciendo. Se utilizaron 4 niveles de desempeño: Sobresaliente, suficiente, insuficiente, y sin evidencia. Se consideró que el estudiante alcanzaba el estándar HS-PS2-1, si alcanza suficiente en al menos dos criterios de desempeño. Después de evaluar, el 75 % fue capaz de construir las tablas o las gráficas a partir de los datos experimentales o basados en los cálculos, pero sólo 58.33 % fueron capaces de declarar por escrito la correlación entre los mismos (Hernández, 2022).

#### IV CONCLUSIONES

Se ha partido de la observación de eventos físicos reales (con todos los distractores que ello pueda generar, debido a las suposiciones que se hacen a menudo como: sin fricción, infinitamente rígido, etc.), muchas veces “a cámara lenta”, dirigiendo la reflexión de los estudiantes hacia un concepto específico, para repasar los conceptos básicos de la mecánica de Newton, que están inmersos en los estándares HS-PS2-1 y HS-PS2-3 de los NGSS. El objetivo de la estrategia planteada fue que los estudiantes hicieran representaciones simplificadas de fenómenos físicos, que se logró de manera parcial, ya que para el aprendizaje de la física se requieren competencias matemáticas y de lenguaje desarrolladas, de manera que estas herramientas permitan primero entender y luego establecer relaciones entre diferentes conceptos (Hestenes 1992, Brookes 2006, Victoria, 2011).

Algunos factores que se identificaron en las sesiones, y que son ajenos a la estrategia, pero que influyeron en sus resultados son los siguientes: una pobre formación en álgebra y geometría, que se hizo evidente al solicitarles cálculos y representaciones básicas, manejo inexistente de un sistema de unidades, problemas con la representación vectorial y los sistemas de coordenadas, también al interactuar con ellos su lenguaje fue insuficiente para entender los principios fundamentales.

Se decidió a propósito usar distractores (porque la realidad es compleja y por ello se pueden plantear diversas hipótesis de un fenómeno, algunas de las cuales se deben descartar al momento) y contestar “todas las preguntas” aunque fueran sobre los distractores, por dos razones: primero en ingeniería se parte de la realidad con toda su complejidad y es necesario un gran esfuerzo de abstracción para “ver y asociar” los modelos simplificados que se muestran en los libros. Y segundo, se debe incentivar y no inhibir la formulación de preguntas por parte de los estudiantes, ignorar sus dudas conduciría a que después ya no deseen formularlas. Por supuesto, la discusión y retroalimentación se centró sólo en los conceptos relevantes.

El ambiente de aprendizaje fue el apropiado para que los estudiantes se expresaran de forma verbal, pictórica y escrita, permitiendo una retroalimentación inmediata, además de una participación continua y relajada.

Del estudio se hace evidente que para los estudiantes fue más fácil planear, experimentar y construir (estándar HS-PS2-3) que redactar, ya que en clase lograban representar y asociar los conceptos físicos a los fenómenos observados después de su discusión. No obstante, no registraban por escrito estas observaciones, lo que dejó a poco menos del 50 % de los estudiantes sin alcanzar el estándar HS-PS2-1.

También se aplicaron cuestionarios de preguntas abiertas, en los que se pudo observar que los estudiantes sí recurrieron a los ejemplos vistos en clase, y los asociaron a los conceptos correctos. Es decir, sí hubo el anclaje esperado, sin embargo, las definiciones no lograron consolidarse del todo, algunos estudiantes, aún muestran errores de concepto y la representación o modelado es algo que aún debe mejorarse.

## REFERENCIAS

- Anders, H. (2011, May 12). Cómo llegar a Marte. [Video]. YouTube. <https://youtu.be/XRCIzZHfY>
- Bachelard, G. (2000). *La formación del espíritu científico* (J. Babini, Trans.). Siglo XXI. (Original work published 1934)
- BBC. (2015). Brian Cox visits the world's biggest vacuum. Human Universe – BBC. [Video]. YouTube. <https://youtu.be/E43-CfukEgs>
- Bell, P., Shouse, A., & Peterman, T. (2014). Next generation science standards: What's different, and do they matter?: Stem Teaching Tools. Retrieved February 27, 2017, from <http://stemteachingtools.org/brief/14>
- Brookes, D., (2006), The Role of Language in Learning Physics, Thesis, The State University Of New Jersey
- Campbell, T., & McKenna, T. (2016). Important Developments in STEM Education in the United States: Next Generation Science Standards and Classroom Representations of Localized Scientific Activity. *K-12 STEM Education*, 2(4), 91-97.
- Canadian Space Agency. (2019, June 21). How do astronauts weigh themselves in space? [Video]. YouTube. [https://youtu.be/oU3pp\\_4n84U](https://youtu.be/oU3pp_4n84U)
- ESFTV. (2011). Physics of Life - Falling Bodies. [Video]. YouTube. <https://youtu.be/MfMs3odd9WE>
- Euler, U., & Gregorcic, A. (2017). Towards a modeling theory of physics instruction: An empirical study. *American Journal of Physics*, 85(5), 379-387.
- Exploratorium. (n.d.). Next Generation Science Standards (NGSS) Planning Tools. Retrieved from <https://www.exploratorium.edu/snacks/ngss>
- Fitria, A., & Suyudi, S. (2021). Teaching Integrated Newton's Laws of Motion for High School Students. *AIP Conference Proceedings*, 2330(1), 050013. <https://doi.org/10.1063/5.0043193>
- Gainsburg, J., (2006). The Mathematical Modeling of Structural Engineers, *Mathematical Thinking and Learning*, 8:1, 3-36.

- Gkourounis, T. (2013). Zero Gravity Flight – Weightlessness. [Video]. YouTube. <https://youtu.be/HQbAwE83phk>
- Gómez, R., & Navarro, J. (2020). Enseñanza de la física: un análisis desde el aprendizaje activo. *Revista de Investigación Académica*, 19, 1-10.
- Goud, R. (2015, June 22). Train Motion - Ramesh Goud. [Video]. YouTube. <https://youtu.be/XW1pRRLPm3U>
- Halloun, I., (1997), Schematic Concepts for, Schematic Models of the Real World, The Newtonian Concept of Force, *Science Education*. [https://www.halloun.net/wp-content/uploads/2016/10/Scematic-concepts\\_SCIED97.pdf](https://www.halloun.net/wp-content/uploads/2016/10/Scematic-concepts_SCIED97.pdf)
- Hernández, J. W., (2022), Estrategia didáctica basada en los Estándares de Ciencias de la Próxima Generación para el aprendizaje de mecánica en estudiantes de ingeniería, Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional, México.
- Hestenes D. (1987), Toward a Modeling Theory of Physics Instruction, *American Journal of Physics*, 55(5):440-454
- Hestenes, D. (1992). Modeling Games in the Newtonian World, *American Journal of Physics*, 60(8):732-748.
- Jauhainen, J., Koponen, I., & Lavonen, J. (2006). Teachers' Beliefs about the Role of Interaction in Teaching Newtonian Mechanics and its Influence on Students' Conceptual Understanding of Newton's Third Law. *Science Education International*, 17(3), 149-160.
- Jet Propulsion Laboratory. (n.d.). Engineering in the Classroom. Retrieved from <https://www.jpl.nasa.gov/edu/teach/resources/engineering-in-the-classroom.php>
- Joshua, Ellis, (2015). Rethinking the egg drop with NGSS science and engineering practices. *MSTA Journal*, 61-66.
- Krajcik, J. & Merritt, J. (2012). Engaging Students in Scientific Practices: What does Constructing and Revising Models look like in the Science Classroom? Understanding a Framework for K-12 Science Education, *Science Scope*, 35(7), 6-8.
- Krick, E. (1974), *Introducción a la ingeniería y al diseño en la ingeniería*, segunda edición, Limusa
- NASA Johnson. (2021, May). STEMonstrations: Newton's First Law of Motion. [Video]. YouTube. <https://youtu.be/luKN6mad5w>
- NASA. (2019). SpaceX Crew Dragon Returns from Space Station on Demo-1 Mission. [Video]. YouTube. <https://youtu.be/QVEBO6Zuppk>
- National Research Council of the National Academies, 2012. *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Cross-cutting Concepts, and Core Ideas*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13165>.
- Phusis, J. (2021, January 23). Free-fall motion with scale and timer (Slow Motion). [Video]. YouTube. <https://youtu.be/FCMgAmDLOis>
- Prince, M.J. & Felder, R.M. (2006), Inductive Teaching and Learning Methods” *J. Engr. Education*, 95(2), 123-138
- Pruitt, S. L. (2014). The Next Generation Science Standards: The features and challenges. *Journal of Science Teacher Education*, 25, 145–16.
- Rugarcía, A., Felder, R., Woods, D. & Stice, J. (2001), *El futuro de la educación en ingeniería*, Universidad Iberoamericana, BUAP, UPAEP, UATx
- Saeed, M., & Idrees, M. (2022). A comparative study of the effectiveness of simulation-based learning and traditional lecture method on physics learning outcomes. *Journal of Education and Learning*, 11(1), 40-51.
- Sánchez, E., & Delgado, L. (2020). Enseñanza de la física con enfoque en el pensamiento crítico. *Revista Científica de Educación*, 4(1), 22-35.

Sarna, J. (2013). Next Generation Science Standards, for States, by States. Retrieved from <https://www.nextgen-science.org/search-standards>

Syuhendri 2022, Teaching for conceptual change on Newton's First Law, *J. Phys.: Conf. Ser.* 2165 012036.

The Action Lab. (2017). Will a Levitating Gyroscope Spin Forever in a Vacuum Chamber? [Video]. YouTube. <https://youtu.be/mn7ledCgva0>

Ullman, D. (1992), *The Mechanical Design Process*, US, McGraw-Hill

Victoria, J. R. (2011), *Física Básica*, Universidad Ricardo Palma, Perú, Guzlop.

VideoFromSpace. (2012). Space Station Boost Proves Newton's Laws - All 3 of Them! [Video]. YouTube. [https://youtu.be/d1iO-yDp\\_nA](https://youtu.be/d1iO-yDp_nA)

VideoFromSpace. (2018). Newton's Third Law of Motion Demonstrated in Space. [Video]. YouTube. <https://youtu.be/ZkVU-bj9bDk>

VideoFromSpace. (2018). Watch Newton's 2nd Law of Motion Demonstrated in Space. [Video]. YouTube. <https://youtu.be/QNithWuol5E>

Wang, H., Yu, M., & Huang, Y. (2021). The effects of integrating virtual reality into physics instruction on students' achievement and motivation: A meta-analysis. *Educational Technology Research and Development*, 69(5), 2571-2596.

Wolbrink, V. & Sarna, J. (2020). *Keep Teaching Science! Successful Strategies to Adapt K-12 Science Experiences for Distance Learning*, West Ed.

Yuan, Y., Hu, X., & Li, J. (2021). Exploring the effect of game-based learning on physics learning outcomes: A meta-analysis. *Interactive Learning Environments*, 29(6), 808-821.