



**POSIBLE EVOLUCIÓN DE LOS MODELOS EXPLICATIVOS DE FRICCIÓN EN
ESTUDIANTES DE INGENIERÍA, A TRAVÉS DE UNA UNIDAD DIDÁCTICA
BAJO EL ENFOQUE STEM**

SANDRA YANETH MOTTA GARCÍA

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MANIZALES
FACULTAD DE ESTUDIOS SOCIALES Y EMPRESARIALES
MAESTRÍA EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS
MANIZALES**

2023

**POSIBLE EVOLUCIÓN DE LOS MODELOS EXPLICATIVOS DE FRICCIÓN EN
ESTUDIANTES DE INGENIERÍA, A TRAVÉS DE UNA UNIDAD DIDÁCTICA
BAJO EL ENFOQUE STEM.**

Autora

SANDRA YANETH MOTTA GARCÍA

Proyecto de grado para optar al título de Magister en Enseñanza de las Ciencias

Tutor

Dr. WILMAN RICARDO HENAO GIRALDO

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MANIZALES
FACULTAD DE ESTUDIOS SOCIALES Y EMPRESARIALES
MAESTRÍA EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS
MANIZALES**

2023

DEDICATORIA

Con todo mi amor a mi esposo Luis Francisco por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

- *Toda mi gratitud a Wilman Ricardo Henao por creer en el proyecto y su persistencia para que concluyera esta investigación.*
- *A mis amigos y compañeros de trabajo Patricia Orduz, Herney Rodríguez, Raúl Panqueva y Mauricio Dávila por cada sugerencia. Sin su colaboración, este proyecto no habría sido posible.*
- *A los profesores de la Maestría en Enseñanza de las Ciencias de la UAM por su dedicación.*
- *A los estudiantes del curso de física mecánica grupo 80 del período 2022-2 por participar en la investigación.*
- *A mi jefe Jaime Isaza por su apoyo.*
- *A mi familia por estar siempre presente.*

RESUMEN

Esta investigación tiene como objetivo identificar los modelos explicativos iniciales de fricción que tienen los estudiantes de ingeniería y describir su posible evolución mediante un proceso de intervención didáctica. La identificación de los modelos explicativos iniciales y su reconocimiento como representaciones que permiten razonar sobre el mundo orienta el diseño de acciones de enseñanza con el propósito de lograr aprendizajes profundos. La unidad didáctica diseñada utiliza los modelos explicativos iniciales como punto de partida para el proceso de reelaboración de dichos modelos y se estructura bajo un enfoque epistemológico a la educación STEM, que incorpora las especificidades en cuanto a la naturaleza y las prácticas de la ciencia y la ingeniería. Los modelos explicativos de fricción se desglosan en tres niveles de representación: macroscópico, mesoscópico y microscópico.

La investigación se llevó a cabo bajo el paradigma de la investigación cualitativa con un alcance descriptivo que buscaba comparar los modelos explicativos de la población de muestra antes y después de la intervención didáctica. Se utilizaron dos instrumentos de lápiz y papel para la recopilación de datos (inicial y final). De los resultados se concluye que los modelos explicativos evolucionan a unos de mayor complejidad e integración de los niveles de representación.

PALABRAS CLAVES: Modelos explicativos, fricción, STEM

ABSTRACT

This research aims to identify the initial explanatory models of friction held by engineering students and describe their potential evolution through a didactic intervention process. The identification of these initial explanatory models and their recognition as representations that enable reasoning about the world guides the design of teaching actions with the purpose of achieving deep learning. The instructional unit designed uses the initial explanatory models as a starting point for the process of reworking these models and is structured under an epistemological approach to STEM education, which incorporates the specificities regarding the nature and practices of science and engineering. The explanatory models of friction are broken down into three levels of representation: macroscopic, mesoscopic, and microscopic.

The research was conducted under the paradigm of qualitative research with a descriptive scope, aiming to compare the explanatory models of the sample population before and after the didactic intervention. Two pencil-and-paper instruments were used for data collection (initial and final). The results lead to the conclusion that the explanatory models evolve towards greater complexity and integration of the levels of representation.

Keywords: Explanatory models, friction, STEM

CONTENIDO

1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.1	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	14
2	JUSTIFICACIÓN	20
3	OBJETIVOS	22
3.1	OBJETIVO GENERAL.....	22
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
4	MARCO TEÓRICO.....	23
4.1	MODELO	23
4.1.1	Concepción Semántica De Los Modelos Científicos.....	23
4.2	MODELO CONCEPTUAL.....	27
4.2.1	Modelos Conceptuales De La Fuerza De Fricción	29
4.3	MODELOS EXPLICATIVOS DE FRICCIÓN	31
5	METODOLOGÍA	37
5.1	ENFOQUE Y ALCANCE	37
5.2	POBLACIÓN Y CONTEXTO	37
5.3	UNIDAD DE TRABAJO	38
5.4	CONSIDERACIONES ÉTICAS	39
5.5	UNIDAD DE ANÁLISIS	39
5.6	TÉCNICAS Y FUENTES DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	41
5.7	UNIDAD DIDÁCTICA.....	43
5.7.1	Perspectiva Epistemológica En La Educación STEM	44

5.8	DISEÑO METODOLÓGICO	48
5.9	PLAN DE ANÁLISIS	49
6	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	51
6.1	IDENTIFICACIÓN DE LOS MODELOS EXPLICATIVOS INICIALES (EN ADELANTE MEi)	53
6.1.1	Escala De Representación Macroscópica	54
6.1.2	Escala De Representación Mesoscópica	57
6.1.3	Escala De Representación Microscópica	62
6.2	IDENTIFICACIÓN DE LOS MODELOS EXPLICATIVOS FINALES (EN ADELANTE MEf)	65
6.2.1	Escala De Representación Macroscópica	65
6.2.2	Escala De Representación Mesoscópica	68
6.3	EVOLUCIÓN DE LOS MODELOS EXPLICATIVOS	70
7	CONCLUSIONES	75
8	RECOMENDACIONES	77
9	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
10	ANEXOS	85

LISTA TABLAS

Tabla 1 Desarrollo histórico de los modelos conceptuales sobre la fricción.....	29
Tabla 2 Modelos conceptuales sobre la fricción	33
Tabla 3 Modelos para explicar la fricción	35
Tabla 4 Representación de las fuerzas de fricción	36
Tabla 5 Categorías de análisis	40
Tabla 6 Codificación de los indicadores.....	51
Tabla 7 Ejemplo de la matriz.....	53
Tabla 8 Modelos explicativos iniciales	53
Tabla 9 Código de colores	54
Tabla 10 Modelos explicativos finales	65
Tabla 11 Comparación de los modelos explicativos inicial y final.....	71

LISTA ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Ciclo de modelización	46
Ilustración 2 Ciclo de diseño	47
Ilustración 3 Esquema del diseño metodológico	48
Ilustración 4 Efecto D-D.....	59
Ilustración 5 Modelo de fricción de Coulomb 1785	62
Ilustración 6 Comparación de bocetos.....	63
Ilustración 7 Esquema de la evolución: escala macroscópica	72
Ilustración 8 Esquema de la evolución: escala mesoscópica.....	73
Ilustración 9 Esquema de la evolución: escala microscópica	74
Ilustración 10 Fotografía escalares de acceso a una estación de Transmilenio	86
Ilustración 11 Empujar o jalar una caja con libros	86
Ilustración 12 Sistema de tres celulares.....	88
Ilustración 13 Motociclista accidentado	89
Ilustración 14 Dimensiones de la caja	92
Ilustración 15 Calle empinada de Manizales	93
Ilustración 16 Calle de Sanfrancisco	94
Ilustración 17 Cinta Gecko	99

Ilustración 18 Imagen con un microscopio óptico.....	101
--	-----

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 INSTRUMENTO INICIAL.....	85
ANEXO 2 UNIDAD DIDÁCTICA	91

INTRODUCCIÓN

Los estudiantes que inician su proceso de formación en programas de ingeniería y que con gran probabilidad se verán enfrentados a grandes desafíos y cambios drásticos en casi todas las dimensiones de la vida social, requieren una formación científica tecnológica humanista, que los habilite como sujetos de pleno derecho con una visión crítica sobre la actividad científica, de manera que den valor a los logros impresionantes de la ciencia como una forma -sumamente potente de comprender el mundo e intervenir en él, y a la vez, logren reconocer que al ser una actividad humana tiene límites y deficiencias (Ortiz-Revilla, Greca y Adúriz-Bravo, 2019).

En respuesta a estas necesidades vitales de formación, educadores, pedagogos, organismos internacionales y responsables políticos coinciden en la pertinencia de incorporar enfoques que posibiliten la enseñanza de las ciencias en contexto (Furman, 2018), donde se vincula al estudiante con los problemas auténticos a los cuales ellos se ven enfrentados. La educación en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas STEM (el acrónimo de la expresión en inglés “Science, Technology, Engineering and Mathematics”), es una propuesta que está ganando relevancia en la comunidad académica (Couso y Simarro, 2020) y parece ofrecer una alternativa acorde a las necesidades de formación de los futuros ingenieros, al estar en sintonía con una educación científica más ciudadana y democrática (Ortiz-Revilla et al., 2019).

Si bien STEM tiende a asociarse con interdisciplinariedad, se debe reconocer que hay obstáculos múltiples para lograrla en la práctica. Un primer paso se da cuando se mantiene las disciplinas con una visión epistémica de cada una (Couso y Simarro, 2020), para abordar un problema que evidencie cómo su solución sería incompleta cuando no participan varias disciplinas.

El presente proyecto acoge una presencia desequilibrada de las disciplinas, donde el acrónimo debería ser S-TEM para indicar que lo central será vincular al estudiante en la construcción de conocimiento físico y donde las otras disciplinas no estarán en igualdad de condiciones.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Cada estudiante como sujeto en un contexto, portador de una trayectoria escolar particular, con intereses variados y unas formas de razonamiento dadas por sus vivencias personales e interacciones con el medio cultural, construye formas de “ver”, de *conceptualizar* los fenómenos (Gómez, 2008). Las comprensiones que cada estudiante realiza sobre el mundo constituyen sus *modelos explicativos*, que no necesariamente coincide con los modelos conceptuales compartidos por una comunidad y que responden a la organización lógica del campo disciplinar (Moreira, Greca y Rodríguez, 2002).

Mientras el docente pretende enseñar un conjunto de definiciones, leyes y expresiones matemáticas que constituyen el modelo conceptual, por otro lado, los estudiantes intentan conectar el modelo conceptual con sus modelos explicativos. Así, cada vez que el estudiante relaciona un fenómeno con un modelo explicativo, éste es modificado un poco y a la vez se modifica la manera cómo interpreta el fenómeno (Orrego, López y Tamayo, 2013).

El reconocer que los estudiantes llegan al aula con modelos explicativos (que responden a una construcción interna del sujeto) y aceptar la dificultad para modificarlos a través de procesos de intervención didáctica, invita a explorar alternativas que promuevan *la evolución de los modelos explicativos*. Ya no es importante determinar si dichos modelos son correctos o no, sino que ahora el interés está en lograr extraer estas ideas productivas que los estudiantes tienen para dar sentido a los fenómenos naturales (Passmore, Svoboda y Giere, 2014). Bajo esta perspectiva, los modelos explicativos ya no serían obstáculos de aprendizaje sino el punto de partida para la reelaboración de modelos explicativos que se aproximen a los modelos conceptuales (Gómez, 2008).

Las investigaciones realizadas al finalizar el siglo pasado tenían su foco puesto en la identificación de concepciones erróneas y las dificultades de los estudiantes en diferentes temas. Por esta razón, sorprende encontrar estudios recientes como el de Kizilcik et. al (2021) quienes clasifican los conceptos erróneos en cuatro grupos: la definición y existencia de la fuerza de fricción seca, la dirección de la fuerza de fricción, el tipo y la

magnitud de la fuerza, y los efectos de la fricción. Por el contrario, son escasos los trabajos en líneas de investigación más actuales de la didáctica de las ciencias (Kurnaz y Eksi, 2015), en particular sobre los modelos explicativos los cuales podrían dar información valiosa sobre el uso de las concepciones alternativas y modos de razonamiento que un estudiante pone en juego en determinadas situaciones.

En consecuencia, este trabajo investigativo buscó explorar los modelos explicativos sobre la fuerza de fricción con los que los estudiantes universitarios de programas de ingeniería llegan a la clase de física mecánica.

Las fuerzas de fricción constituyen una temática relevante para ser abordada por estudiantes de programas de ingeniería. En primer lugar, su impacto socioeconómico: como las fuerzas de fricción transforman la energía cinética de los materiales en contacto deslizante en energía interna, esto implica calentamiento y desgaste. Se estima que “casi la mitad de la energía producida en el mundo se consume en vencer el rozamiento en las máquinas y el desgaste correspondiente.” (Martin, 2006). En segundo lugar, el tema de la fricción es central, potente y unificador. En efecto, se relaciona con dos grandes ideas de la ciencia: los objetos pueden afectar a otros objetos a distancia y el cambio de movimiento de un objeto requiere que una fuerza neta actúe sobre él (Harlen, 2010). Por último, el valor de su estudio científico por ser un tema de objeto de investigación e interés por sus perspectivas futuras (por ejemplo, diseño de materiales resistentes al desgaste) e inmerso en fuertes controversias interpretativas (Besson, 2013).

La enseñanza de la física en la formación universitaria suele prestar poca atención a la fricción y rara vez se intenta explicar su origen microscópico. En general, prima el estudio de la fricción desde el ámbito macroscópico, donde se le describe como una fuerza de contacto entre dos superficies en movimiento relativo y con gran frecuencia, se asocia el fenómeno con la rugosidad de las superficies. En contraste con lo encontrado en los artículos de investigación en física, donde la discusión sobre nuevas teorías interpretativas del rozamiento evidencian la provisionalidad de las teorías científicas, los libros de texto recurren a la rugosidad de las superficies para explicar el fenómeno sin enfatizar en los límites de validez de esta teoría explicativa, promoviendo en el estudiante generalizaciones excesivas y asociaciones indecuadas (Develi y Namdar, 2019).

La forma sesgada como los autores de los textos universitarios abordan la fuerza de fricción, al asociar el fenómeno a la rugosidad de las superficies, dificulta interpretar el fenómeno como fuerzas de interacción entre superficies en contacto y cuyos efectos dependen de las condiciones dinámicas particulares del sistema físico en estudio (Caldas y Saltiel, 2001).

La construcción de un modelo tan complejo como el de las fuerzas de fricción plantea grandes retos. Corpuz (2006) en su trabajo doctoral sobre la dinámica de construcción de los modelos mentales de fricción a nivel atómico, realiza un estudio exhaustivo de la literatura en referencia a modelos científicos sobre la fricción microscópica y lo complementa con entrevistas a expertos sobre el tema. Este trabajo le permite concluir que no hay un consenso en el modelo conceptual que proponen los científicos sobre la fricción microscópica y por ello propone un conjunto de ideas que conforman el modelo conceptual considerado apropiado para estudiantes que toman cursos introductorios de física en el nivel universitario.

En un trabajo posterior, Corpuz y Rebello (2011) determinan los cambios en los modelos mentales sobre la fricción microscópica y concluyen que es posible diseñar actividades de andamiaje orientadas a facilitar la construcción de modelos de la fuerza de fricción microscópica más actuales.

Kurnaz y Eksi (2015) por su parte, coinciden con Corpuz y Rebello (2011) al reconocer que los estudiantes asocian la fricción con interacciones mecánicas a nivel macroscópico y tienen dificultades para darle sentido a nivel microscópico. En general los estudiantes no consideran las interacciones a nivel microscópico para explicar la fricción sólida. Los autores recomiendan abordar el estudio de la fricción a nivel macroscópico, mesoscópico y microscópico, para facilitar el desarrollo de modelos más cercanos a los modelos científicos.

Se ha de resaltar que las investigaciones previamente mencionadas se centran en los modelos mentales de los estudiantes sobre la fuerza de fricción microscópica y no en sus modelos explicativos.

Por otro lado, López y Cavadela (2005) realizaron un estudio exploratorio con estudiantes de la facultad de ingeniería de la universidad de Antioquia, que permitió

establecer las concepciones alternativas de los estudiantes sobre el concepto de fricción. A diferencia de los tres trabajos citados anteriormente, ellos indagan sobre la fricción a escala macroscópica y no microscópica. Pero el aspecto de mayor divergencia con la investigación propuesta está en que su marco teórico reside en la teoría del aprendizaje significativo, el cual no es coherente con el constructo de los modelos explicativos.

El último antecedente de investigación que aporta a la construcción del problema, en la medida que dan cuenta del estado actual de la investigación en el campo es el de Besson, Borghi, Ambrosis y Mascheretti (2007), quienes proponen una secuencia de diferentes montajes experimentales que pretende abordar de manera más amplia la fenomenología de la fricción. Algunos montajes buscan evidenciar cómo la fuerza de fricción puede jugar un papel motriz y no solo como una fuerza resistiva asociada con disipación de energía. Por otra parte, consideran que las representaciones gráficas pueden ayudar a los estudiantes a construir los modelos mentales de los mecanismos que producen la fricción.

Del rastreo de antecedentes se puede establecer que, en resumen, se cuenta con estudios sobre los modelos mentales de los estudiantes sobre la fuerza de fricción a escala microscópica, pero no en la escala mesoscópica ni macroscópica. Adicionalmente, hay avances en el establecer las concepciones alternativas de los estudiantes sobre la fricción a escala macroscópica y por último se han propuesto secuencias didácticas que incluyen montajes experimentales para ayudar a los estudiantes a aproximarse a los mecanismos de producción de la fuerza de fricción. Por consiguiente, se evidencia que hay un vacío en cuanto a identificar las construcciones personales de cómo los estudiantes comprenden el fenómeno de la fricción, en otras palabras, sobre sus modelos explicativos.

En física varios fenómenos involucran relaciones macro-micro, es decir, donde parámetros del fenómeno desde la mirada macroscópica están relacionados con procesos microscópicos. Este es el caso de las fuerzas de fricción porque implica muchas interacciones concatenadas en la escala microscópica que a nivel macroscópico se estudian como fuerzas de contacto disipativas (Besson, 2001). Esta relación se considera el eslabón perdido en el razonamiento de los estudiantes que dificulta la comprensión de los fenómenos de la fricción. En consecuencia, se considera importante incluir un análisis

cualitativo de lo que ocurre a nivel mesoscópico para profundizar en la naturaleza del fenómeno de las fuerzas de fricción.

De todo lo expuesto hasta el momento, parece que iniciar con una descripción macroscópica y luego hacer el tránsito por las descripciones a escala mesoscópica hasta aproximarse al nivel microscópico (para mostrar sus diferencias y utilidad de pasar de una escala a otra), puede ser la ruta más promisoría para lograr que los modelos explicativos de los estudiantes evolucionen hacia niveles de complejidad mayor. De modo que, ahora la cuestión es diseñar una intervención didáctica que posibilite una visión más general de la amplia fenomenología de la fricción.

Ahora bien, las disciplinas STEM son logros culturales de la humanidad que permean todos los ámbitos de nuestra vida como ciudadanos, por lo que se esperaría que un grupo representativo y diverso de la ciudadanía hiciese parte de estos programas de formación universitaria. Sin embargo, la realidad refleja el poco interés de los jóvenes por seleccionar carreras relacionadas con STEM, como las ofrecidas por la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. De este grupo pequeño y poco diverso de jóvenes que ingresan a estos programas se observa un porcentaje importante (cerca al 40 %) y sostenido en el tiempo que no logra aprobar el curso de física mecánica. Así que, la retención y éxito de los estudiantes de pregrado STEM sigue siendo un desafío que urge afrontar.

Si bien, en los contextos del mundo real los problemas STEM se abordan de manera integradora, se debe reconocer que lograr planes de estudios en el ámbito universitario con enfoques de interdisciplinar, multidisciplinar o transdisciplinar enfrenta obstáculos múltiples, por lo tanto, quizás sea más realista propender por una integración parcial que dé prioridad a la mirada científica para lograr aprendizajes profundos y a la vez se complemente y amplíe con la mirada de la ingeniería. Se trata de lograr una convergencia de perspectivas, cada una con sus particularidades en cuanto a su naturaleza, sistema de valores, criterios de validez y reglas metodológicas, que hacen que se aproximen al mundo de maneras diferentes pero complementarias (Simarro y Couso, 2021).

Un valor importante de los proyectos escolares de educación STEM podría estar en su potencial para postular contextos, es decir, situaciones que para el estudiante sean

reconocibles y que, a través del proceso iterativo de la modelización se lo involucre en una comparación continua de su modelo explicativo con el fenómeno representado. De esta manera es posible generar modelos explicativos sucesivos que van desde versiones intuitivas hacia modelos explicativos que permitan relacionar varios fenómenos desde una misma perspectiva. En otras palabras, lograr una práctica modelizadora en el aula, que contribuya a la evolución de los modelos explicativos del estudiante.

Considerando el problema previamente descrito se formula la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo influye la implementación de una unidad didáctica bajo el enfoque STEM en la evolución de los modelos explicativos sobre la fuerza de fricción en estudiantes de ingeniería?

2 JUSTIFICACIÓN

Esta investigación pretende aportar elementos que ayuden a describir la *evolución* de los modelos explicativos utilizados por los estudiantes para explicar los fenómenos de la fricción entre superficies, a medida que participan en una unidad didáctica bajo el enfoque STEM. Contar con esta información posiblemente sea de gran importancia para estructurar un currículo universitario de física más apropiado para formar ingenieros preparados para afrontar los retos del siglo XXI.

Para los estudiantes de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito (en adelante Escuela) una enseñanza centrada en el logro de habilidades de pensamiento para entender cómo se desarrolla y utiliza una tecnología, no será suficiente para que ellos hagan un uso racional y responsable de la misma. Para ello será de gran importancia que en el aula de clase se den espacios para el debate en relación con cómo afectan estas tecnologías a otras tecnologías, cómo afectan al medio ambiente y la sociedad. Tan importante será el abordar las ventajas como cuestionarse por sus desventajas, los riesgos y/o amenazas que casi siempre no son tan evidentes.

La Escuela para afrontar su desafío de retención y éxito de los pocos estudiantes de pregrado que inician su formación en programas de ingeniería, necesita poner en marcha investigaciones cuyo foco sea mejorar las prácticas de aula, para alejarse de una enseñanza mediada por el sentido común, y se avance hacia la planeación intencionada y consciente de la acción docente.

La propuesta de investigación tiene relevancia en el campo de la didáctica de la física porque si bien, existe un número considerable de investigaciones sobre los modelos explicativos de los estudiantes sobre las fuerzas -y su relación con el movimiento- los que se enfocan en las fuerzas de fricción son pocos, y de acuerdo con el rastreo de antecedentes, se puede afirmar que sería la primera aproximación a caracterizar los modelos explicativos sobre la fuerza de fricción desglosada en los tres niveles de representación, nivel macroscópico, nivel mesoscópico y nivel microscópico.

Por último, se considera que diseñar una unidad didáctica con perspectiva epistemológica, en la cual se incorpora el análisis cualitativo de lo que ocurre a nivel

mesoscópico (escala utilizada por lo físicos, pero casi inexistente en el campo de la didáctica de la física), para avanzar hacia las teorías más recientes de la nanotribología es novedoso.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar cómo influye la implementación de una unidad didáctica bajo el enfoque STEM en la evolución de los modelos explicativos sobre la fuerza de fricción en estudiantes de ingeniería.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los modelos explicativos iniciales que tienen los estudiantes de física mecánica en torno a las fuerzas de fricción.
- Describir la evolución de los modelos explicativos sobre la fricción de los estudiantes, una implementada la unidad didáctica bajo el enfoque STEM.

4 MARCO TEÓRICO

Este capítulo describe los referentes conceptuales que orientan el trabajo de investigación. Si se pretende investigar sobre los modelos y su rol en los procesos de construcción de conocimiento en el aula de ciencias naturales, hay un prerequisite inevitable de naturaleza teórica: se necesita determinar qué puntos de vista sobre los modelos (disponibles) pueden ser valiosos para la didáctica de las ciencias.

Cuando se reconoce que los procesos de construir, probar, comparar y revisar modelos están vinculados a prácticas científicas, su papel en la ciencia y en la educación científica cobra relevancia. “Además, la capacidad de utilizar modelos de forma eficaz, para fines específicos en contextos específicos, junto con una sólida comprensión de dicho uso, comienza a considerarse uno de los objetivos clave de la educación científica” (Adúriz-Bravo, 2019, p. 21)

4.1 MODELO

La idea de modelo es usada en las ciencias con una enorme variedad de sentidos, es una idea compleja y polisémica con una muy rica historia. La gama de definiciones se puede reducir a dos extremos: lo que es representado (pintado, fotografiado, maqueteado, etc) y su representación (la pintura, la fotografía, la maqueta, etc) (Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2019). Así que, el modelo es al mismo tiempo aquello que va a ser representado y la representación que de ello obtenemos.

4.1.1 Concepción Semántica De Los Modelos Científicos

Las primeras teorizaciones sobre modelo recurrían a una definición enunciativa (conjunto de enunciados) y derivativa. Es decir, la idea de modelo se considera subsidiaria respecto a la teoría, primero se tiene la teoría y derivada de ella surgen los modelos como una satisfacción de la teoría. En síntesis, los modelos son vistos como “*proyecciones*” de la

teoría sobre el mundo, por lo cual no hacen parte de la teoría (Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2019).

Hacia 1980 se estabiliza una concepción semántica robusta de los modelos científicos. Esta concepción pone en primer plano la idea semántica de las teorías y modelos, es decir, cómo representan, dan sentido, explican y realizan semiosis, por el contrario, la formulación lingüística pasa a ser secundaria. En efecto, las teorías no son sólo los enunciados teóricos vinculados por relaciones lógicas, sino que contiene también los hechos interpretados por las propias teorías (Adúriz-Bravo, 2019).

Mientras la concepción heredada favorece un enfoque sintáctico de las teorías, al dar total importancia a las relaciones lógicas o sintácticas que se podían establecer entre diferentes tipos de enunciados, por su parte, el semanticismo está interesado en cómo las teorías dan sentido al mundo (sin abandonar las relaciones lógicas de las proposiciones) y cómo cobran sentido para quien las aplica.

En concreto, se pretende recuperar la naturaleza ejemplar y analógica que habían trabajado los historicistas, los nuevos filósofos de la ciencia y después los socio-históricos, pero al mismo tiempo se intenta volver al ideal analítico (en el sentido de intentar dar una explicación más formal de la naturaleza y estructura de los modelos), de esta manera se captura mejor algunos aspectos de la función representativa de los modelos de la ciencia (Izquierdo Aymerich y Adúriz-Bravo, 2021). Por otra parte, incorpora los resultados de la investigación empírica que dan cuenta de los usos pragmáticos diversos que los científicos en sus prácticas le otorgan a la palabra modelo.

Las teorías científicas están compuestas por dos elementos: las hipótesis y los modelos. Las hipótesis son enunciados conjeturales que van a enlazar los modelos con el mundo real. Pero lo fundamental de una teoría no son las hipótesis sino los modelos. “Por lo tanto, se debe prestar más atención a la identificación y reconstrucción de esos modelos mismos que a los enunciados que intentan describir” (Tamayo y Sanmartí, 2007, p. 220).

Los modelos pueden ser teóricos (sistema newtoniano de partículas) o materiales (proyectiles, péndulos, cuerdas de violín).

Entre los principales representantes de la familia semanticista se encuentran autores como Ronald Gire, Bas Van Fraassen y Frederick Suppe. Si bien existen diferencias importantes en sus propuestas, todos se basan en la idea de modelo como representación - sustituto- del sistema bajo estudio. La representación como sustituto implica que el sistema bajo representación es reemplazado por una entidad no lingüística, abstracta, un estado de cosas de carácter metafórico y analógico.

El enfoque de Gire se caracteriza por ser más flexible y menos formalista que los abordados por Van Fraassen y Suppe. En este enfoque, un modelo teórico se define como una entidad abstracta acompañada por las reglas teóricas requeridas para razonar sobre el mundo. Si el modelo dice algo del mundo, significa que el modelo permite establecer una relación sustantiva y profunda, con lo que el mundo es. Esto supone que no hay una relación directa entre el mundo y los fenómenos, sino mediada por las creaciones humanas que son las representaciones abstractas que del mundo se hacen y no son reducibles ni a enunciados ni a la realidad. Ahora bien, dichas ideas se pueden expresar con muy distintos lenguajes, sin dar supremacía a alguna de ellas. Así, algunas representaciones son lingüísticas, otras son pictóricas y otras son analíticas.

Gire, separa a los “*modelos*” del mundo, para luego una vez los ha separado, adecuarlos y decir que uno y otro son “*similares*”. “Es la existencia de las similitudes especificadas lo que hace posible el uso del modelo para representar el sistema real de esta manera.” (Giere, 2004, p. 748). Nótese que su interés está en determinar cómo es que los científicos usan los modelos para conocer el mundo.

Para Gire un modelo no se eligen únicamente por su relación de “verdad” con el mundo. Hay otros motivos de corte pragmático y psicológico que pueden justificar porque se adopta un modelo y no otro. Tal vez, un modelo explica bien un pequeño aspecto del mundo que es de gran importancia para el científico, incluso si entra en conflicto con otros

aspectos de dicha realidad. En otras palabras, se reconoce las dimensiones sociales y culturales en el desarrollo científico (López y Mota, 2019b).

Para explicar su concepción de modelo recurre a la analogía del *modelo teórico* como *mapa*. Un mapa es una forma pensada e imaginada de “ver” un determinado terreno. Si bien el mapa permite capturar algunos aspectos del lugar real (que han sido seleccionados en función de lo que se pretende hacer sobre el terreno), claramente el mapa no es el terreno. Por otra parte, de un mismo terreno se pueden producir diferentes mapas, pues depende del propósito que persigue (Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2021).

El trabajo de Gire es influenciado por las ciencias cognitivas direccionando sus ideas a lo que hoy se conoce como la concepción “cognitiva” de la ciencia, “según la cual los científicos son considerados “agentes cognitivos” que piensan con representaciones (los modelos científicos), establecen juicios y toman decisiones como lo hacen todas las personas.” (Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2021).

Morgan y Morrison (1999) por su parte, describen como el modelo de un péndulo puede ser simple y abstracto cuando se usa para dar sentido al movimiento armónico simple, pero se puede refinar con una serie de correcciones que aumentan la complejidad del modelo y su poder de predicción. Cada modelo se usa para razonar sobre el péndulo de una manera diferente, por consiguiente, es en el contexto de su uso lo que le otorga poder a un modelo.

En efecto, las correcciones y simplificaciones que están presentes en el proceso de modelado se realizan con independencia a la teoría y a los datos, pero a la vez se relaciona con los dos. En consecuencia, se podría afirmar que los modelos son agentes autónomos con vida propia y actúan como entidades mediadoras de ontología híbrida: entre teoría y mundo (Morgan y Morrison, 1999). Concebir los modelos como instrumentos mediadores, facilitó el reconocimiento de las otras funciones como son: la función de intervención, experimentación, diseño, construcción, argumentación, entre otras.

La propuesta de Morgan y Morrison (1999) de alejarse de una mirada representacionista de los modelos y conferirles un mayor protagonismo en el proceso de producción de conocimiento es retomada por Knuuttila (2005) para otorgarle un estatus de artefactos epistémicos a los modelos.

En conclusión, desde la perspectiva representacional, los modelos – comprendido como entidades abstractas- al representar partes del mundo proporcionan conocimiento de dichas partes. En cambio, desde la perspectiva artefactual, los modelos -entendidos como entidades más concretas- pueden utilizarse en muchas prácticas científicas, donde la representación es solo una de ellas. De ahí que el enfoque representacional sea considerado limitado en cuanto a su valor epistémico (Knuuttila, 2011).

Lo valioso de la perspectiva representacional está en que “es a la vez sencilla, amplia y extremadamente potente: cualquier representación subrogante, en cualquier medio simbólico, que permite pensar, hablar y actuar con rigor y profundidad sobre el sistema que se está estudiando, califica de modelo teórico:” (Adúriz-Bravo y Izquierdo-Aymerich, 2019, p. 46).

4.2 MODELO CONCEPTUAL

El modelo conceptual es una representación externa, construida por una comunidad científica (también participan profesores e ingenieros) al simplificar el objeto o fenómeno en estudio. Se caracterizan por ser precisos, completos y consistentes con el conocimiento científico aceptado (Moreira et al., 2002). Está constituido por las leyes, teorías, expresiones y maneja conceptos propios del campo.

Todo modelo conceptual tiene su origen en un modelo interno del científico (modelo mental) quien examina la consistencia interna y el ajuste al fenómeno. Como resultado de dicho examen se obtiene una o más externalizaciones que servirán para comunicar sus ideas y discutir con otros científicos sobre el fenómeno y quizás llegar a establecer un modelo conceptual (Moreira et al., 2002).

Para López-Mota (2019b), plantear que el origen de las representaciones científicas son las representaciones existentes, implica que es posible transitar del pensamiento de sentido común al pensamiento científico. El detonante de la transición ocurre cuando al enfrentar un problema toma conciencia de las limitaciones de sus comprensiones y por ello reconstruyen sus modelos.

Cuando los profesores realizan procesos de ajuste y adaptación del modelo conceptual (para ser llevados al aula de clase) el modelo se transforma en un modelo científico escolar (en adelante MCE) (Adúriz-Bravo y Izquierdo-Aymerich, 2003). Dicha adaptación responde principalmente a las finalidades educativas y al nivel de escolaridad de los estudiantes. Conviene subrayar, que se trata de la construcción de un modelo nuevo, dado que incorpora lenguajes, analogías y experimentos diferentes a los utilizados por los científicos (Sanmartí, 2000).

La diferencia entre los modelos científicos y el MCE es contextual. El MCE tienen un alcance propio del contexto escolar, donde los estudiantes no tienen los mismos propósitos, las mismas finalidades y los mismos valores que los científicos. La ciencia escolar debe mostrarse valiosa para el estudiante al ser conectada con valores como los de la salud, la protección del medioambiente y la educación para la paz (Adúriz-Bravo & Izquierdo-Aymerich, 2003). Pero en cuanto a su función y estructura son iguales, ambas buscan construir conocimiento para interactuar e intervenir en el mundo natural, “su diferencia es sólo una cuestión de coherencia, correspondencia y robustez de los modelos planteados, tanto por científicos como por escolares en etapas de formación.”(López - Mota, 2019a, p. 9).

En conclusión, el MCE se transforma en una guía extremadamente potente para explicar racionalmente los fenómenos del mundo.

4.2.1 Modelos Conceptuales De La Fuerza De Fricción

En esta sección se condensa la literatura científica relativa al fenómeno de la fricción, con la intención de identificar y seleccionar el modelo científico que explica y predice los fenómenos relacionados con esta fuerza.

Los campos de investigación y de ingeniería que estudian el contacto, rozamiento, desgaste y la lubricación se conocen hoy como tribología. La etimología del término responde a la voz riega para “frotar” (tribos). La tribología se conoce desde tiempos prehistóricos, los homínidos ya la usaban para tallar sus utensilios de piedra y gracias al buen dominio de la fricción los neandertales hacían fuego. Una pintura de una tumba egipcia muestra ya hacían uso de los líquidos para disminuir el rozamiento y el desgaste, y de esta manera lograron mover enormes estatuas de piedra.

De acuerdo con Besson (2013), la historia sobre las investigaciones y desarrollo de teorías que expliquen la fricción de deslizamiento entre sólidos se divide en cuatro fases:

Tabla 1 Desarrollo histórico de los modelos conceptuales sobre la fricción

Modelo Conceptual	Representantes	Postulado
Fase I	Leonardo da Vinci, Guillaume Amontons y Charles Coulomb	Establecimiento de las leyes clásicas de la fricción
Fase II		Tomlinson
Fase III	Bowden y Tabor	Teoría de la lubricación, modelo explicativo para la fricción en términos de la conservación y la disipación de la energía
Fase IV		Síntesis de los trabajos sobre la fricción, la lubricación y el desgaste, dando origen a la tribología moderna.
		Nanotribología, la posibilidad de realizar mediciones a escala micro y nanométricas

Nota: Elaboración propia

Fase I: establecimiento de las leyes clásicas de la fricción. En esta etapa son importantes los trabajos de Leonardo da Vinci, Guillaume Amontons y Charles Coulomb (como se citó en Besson, 2013).

Una inspección a los cuadernos de notas de Leonardo da Vinci (como se citó en Besson, 2013) evidencia que realizó experimentos similares a los que hoy se realizan en prácticas de laboratorio, como son: bloque sobre plano inclinado, un bloque sobre una mesa plana unido a otro más pesado utilizando cuerdas y poleas. Registró como conclusión de sus trabajos de experimentación que la fuerza de fricción es independiente del área de contacto y es proporcional a la carga. Pero estas observaciones y conclusiones no tuvieron influencia en los desarrollos posteriores porque estos manuscritos se hicieron públicos casi tres siglos después de su creación.

El físico francés Guillaume Amontons (como se citó en Besson, 2013), llega a las mismas conclusiones que Leonardo da Vinci, en cuanto a que la resistencia causada por la fricción aumenta o disminuye en proporción a mayor o menor fuerza por la cual los cuerpos son presionados uno contra el otro, y no según mayor o menor extensión de las superficies de contacto. La independencia de la fuerza de fricción con el área de contacto causó gran asombro pues va en contra de lo que la intuición esperaba. Para explicar sus resultados experimentales, consideró a las asperezas superficiales entrelazadas (rígidas para superar o deformables para doblar) como la causa de la fricción.

Posteriormente, se observó que cuando se presionaba una esfera de plomo sobre otra del mismo material, pese a que eran muy lisas presentaban grandes fuerzas de fricción. Este resultado no se podía explicar con la teoría de la rugosidad. Así que, se propuso que cuando las superficies de los cuerpos se acercan lo suficiente, las fuerzas de atracción como ligaduras adhesivas que ocurren en los puntos reales de contacto dan origen a las fuerzas de fricción.

La primera etapa termina con la síntesis que enuncia tres leyes. En primer lugar, la fuerza de fricción que se opone al deslizamiento en una interfaz es proporcional a la fuerza

normal. Segundo, la magnitud de la fuerza de fricción no depende el área aparente de contacto. Por último, la fuerza de fricción es independiente de la velocidad.

Fase II: Teorías de la lubricación. Se caracteriza por las investigaciones sobre fluidos lubricantes. Tomlinson (como se citó en Besson, 2013) propone un modelo explicativo para a fricción en términos de la conservación y la disipación de la energía.

Fase III: Teorías del desgaste. Bowden y Tabor (como se citó en Besson, 2013) realizan una síntesis de los trabajos sobre la fricción, la lubricación y el desgaste, dando origen a la tribología moderna. En esta etapa se realizan las primeras mediciones de fricción a escala atómica sin desgaste, utilizando el aparato de fuerzas superficiales. Los resultados de las mediciones muestran que la fricción es proporcional al pareo real (no aparente) de contacto.

Fase IV: Nanotribología. La posibilidad de realizar mediciones a escala micro y nanométricas.

La anterior revisión del trasegar histórico del concepto de fricción muestra cómo ha sido teorizado y explicado de diferentes maneras a lo largo del tiempo. Se evidencia los cambios profundos en las conceptualizaciones humanas para tratar de explicar la fricción.

4.3 MODELOS EXPLICATIVOS DE FRICCIÓN

Los modelos explicativos hacen referencia a la representación interna que realiza el estudiante sobre las formas de entender un fenómeno en específico. El proceso de construcción de dichas representaciones es el resultados de la interacción del individuo con su entorno, de manera que, los modelos están permeados por la experiencia, la edad y la cultura (López et al., 2016).

“Los modelos se entienden como una trama de ideas organizada y jerarquizada, son abstractos y contruidos para comprender e intervenir en los fenómenos del mundo. Éstos contienen entidades y las relaciones entre éstas, las cuales pueden expresarse en forma de

leyes, conceptos, hipótesis, y también analogías y también metáforas” (Gómez et al., 2008, p. 326)

Cundo un estudiante se enfrenta a dar explicaciones sobre un fenómeno, este elabora una representación real o conjeturada, consistente en un conjunto de entes que se les asigna ciertas propiedades, junto con enunciados de reglas de comportamiento para establecer inferencias en las relaciones causales entre los entes (Gutierrez, 2014). De esta manera podrá explicar el fenómeno y predecir cómo cambiará en el tiempo. Los términos teóricos e imágenes creados por el estudiante para expresar su modelo explicativo, refleja su manera científica de ver el mundo (Orrego et al., 2013).

Analizar los modelos explicativos de los estudiantes, implica identificar las entidades, las propiedades, las relaciones causales e inferencias que realiza el estudiante cuando elabora una representación que le permite explicar un fenómeno y realizar predicciones.

De acuerdo con Pereda-García y López-Mota (2016), de los trabajos de ideas previas reportados en la literatura especializada es posible inferir el modelo explicativo inicial del estudiante. Por ello, para realizar una aproximación a los modelos explicativos de los estudiantes sobre la fuerza de fricción a escala macroscópica se utiliza los resultados del trabajo de investigación de López y Covadela (2005). Si bien este trabajo se enmarca en en la teoría del aprendizaje significativo, se considera que es posible realizar un ajuste de las categorías de análisis que permita identificar las entidades, las propiedades, las relaciones causales e inferencias que realiza el estudiante cuando explica un fenómeno relacionado con la fuerza de fricción.

Tabla 2 Modelos conceptuales sobre la fricción

Categorías	Subcategorías
1. La fuerza de fricción independiente de determinados factores.	1.1: La fuerza de fricción es independiente de la fuerza normal que actúa sobre el cuerpo. 1.2: La fuerza de fricción es independiente del área de contacto. 1.3: La fuerza de fricción es independiente de la masa del cuerpo.
2. Acerca del efecto que tiene la fuerza de fricción sobre un cuerpo en movimiento.	2.1: El efecto de la fuerza de fricción sobre un cuerpo en movimiento se manifiesta en disminución de velocidad hasta llevarlo al reposo. 2.2: El efecto de la fuerza de fricción sobre un cuerpo en movimiento es hacer que el cuerpo se pegue (adhiera) más a la superficie. 2.3: El efecto de la fuerza de fricción sobre un cuerpo en movimiento es que tiende a estabilizarlo.
3. Magnitud de la fuerza de fricción para un bloque en superficies horizontales e inclinadas, y en estados de reposo y movimiento.	3.1: La fuerza de fricción entre el bloque y la superficie plana horizontal tiene mayor magnitud cuando el bloque está en reposo sobre la superficie (sin fuerzas aplicadas en dirección horizontal). 3.2: La fuerza de fricción entre el bloque y la superficie plana horizontal tiene mayor magnitud cuando el bloque se desliza sobre la superficie. 3.3: La fuerza de fricción entre el bloque y la superficie inclinada tiene mayor magnitud cuando el bloque está en reposo sobre la superficie. 3.4: La fuerza de fricción entre el bloque y la superficie inclinada tiene mayor magnitud cuando el bloque se desliza sobre

	la superficie.
4. La fuerza que hay que aplicarle a un objeto en reposo para que inicie el movimiento es mayor que la fuerza que hay que aplicarle una vez está en movimiento; esto se debe a diferentes factores.	4.1: En movimiento sólo hay que contrarrestar la fuerza de fricción. 4.2: Porque el peso y la fuerza de fricción que lo contrarresta disminuyen si el objeto está en movimiento. 4.3: La fuerza de fricción de la superficie sobre el objeto es mayor cuando está en reposo. 4.4: Porque el cuerpo ya venció la fuerza de arranque y lleva un impulso. 4.5: Porque existe una fuerza de fricción estática que se debe superar para iniciar el movimiento

Nota: (López y Covadela, 2005)

Es importante enfatizar que las categorías previamente expuestas no incluyen los mecanismos que podrían servir de base para una explicación causal de la fricción, favoreciendo quizás una mirada limitada del fenómeno.

De otro modo, Corpuz (2006) investigó la dinámica de construcción de los *modelos mentales* sobre la ficción microscópica en estudiantes universitarios, evidenciando que con gran frecuencia se recurre a las interacciones mecánicas (enclavamiento o frotamiento de átomos) para explicar la fricción a nivel microscópico, posiblemente porque sus modelos están fuertemente dominados por sus experiencias macroscópicas.

A continuación, se expresan los modelos de los estudiantes para explicarla fricción a nivel atómico.

Tabla 3 Modelos para explicar la fricción

Entrelazado	Frotamiento/deslizamiento	Romper enlaces
La fricción es la fuerza necesaria para tirar de un átomo cuando este está entrelazado con los átomos de otro material	La fricción se debe al deslizamiento de un átomo sobre otro	La fricción es la fuerza necesaria para romper los enlaces entre los átomos de las superficies que entran en contacto

Nota: Corpuz (2006)

Recapitulando, los trabajos previos ofrecen elementos útiles para realizar una aproximación a los modelos explicativos sobre las fuerzas de fricción en la escala macroscópica y en la escala microscópica.

De acuerdo con Besson (2004), la conexión entre la descripción global (escala macroscópica) con el análisis de las interacciones locales (escala microscópica) se puede establecer con los modelos a escala intermedia (escala mesoscópica) utilizados con gran frecuencia en la investigación realizadas por los físicos, pero casi inexistente en el campo de la didáctica para el caso particular de las fuerzas de fricción.

Si bien el trabajo de Caldas y Saltiel (2001) que indaga sobre los modos de razonar de los alumnos en el estudio del fenómeno de fricción, no platean de manera explícita que se trata de un estudio en la escala mesoscópica, se considera que cómo da relevancia a los diagramas fragmentados que permite especificar el objeto sobre el que actúa la fuerza (más no el punto de aplicación), es posible utilizar lo propuesto por las autoras para establecer la categorías y subcategorías en este nivel o escala de representación.

Tabla 4 Representación de las fuerzas de fricción

CATEGORÍAS	SUBCATEGORÍAS
Representación e identificación de fuerzas	Fuerzas solitarias. En el diagrama de fuerzas solo se dibuja una fuerza (tangente o normal a la superficie de contacto)
	Fuerzas en pares. Dibuja el par de fuerzas (tangentes o normales a las superficies de contacto) indicando una relación entre ellas según la tercera Ley de Newton (par acción-reacción)

Nota: Caldas y Saltiel (2001)

5 METODOLOGÍA

Este capítulo presenta los aspectos metodológicos que guían la investigación. Se especifica el tipo y enfoque elegido, el contexto investigativo, las categorías de análisis y la técnica que permite la recolección de los datos. Por último, se describe el procedimiento utilizado para codificar y analizar la información.

5.1 ENFOQUE Y ALCANCE

La investigación estudia las representaciones de los estudiantes universitarios sobre las fuerzas de fricción. Para alcanzar los objetivos propuestos, se realiza un estudio que toma como premisa la posibilidad de inferir a partir de las verbalizaciones y gráficos que realiza el estudiante sus modelos explicativos. En otras palabras, se realiza una recolección de información de naturaleza textual la cual se organiza y otorga sentido mediante el análisis de los detalles, matices y elementos. Por lo cual, el enfoque investigativo apropiado es el cualitativo que “apela a la observación próxima y detallada del sujeto en su propio contexto, para lograr aproximarse lo más posible a la significación de los fenómenos” (Herrera, 2018, p. 124).

Interesa llegar hasta la descripción de los modelos explicativos iniciales y la posible evolución alcanzada con una unidad didáctica bajo el enfoque STEM (sin indagar por las causas ni llegar a generalizaciones), porque se considera que identificar estas ideas productivas es el punto de partida para la reelaboración de modelos explicativos que se aproximen a los modelos conceptuales. En efecto, este estudio puede transformarse y dar origen a una investigación comprensiva sobre los modelos explicativos y su evolución.

5.2 POBLACIÓN Y CONTEXTO

La investigación se realizó en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, que ofrece programas en los niveles de pregrado y posgrado. La institución cuenta con acreditación institucional de alta calidad en reconocimiento a los altos estándares académicos y administrativos. Su única sede se ubica en la ciudad de Bogotá D.C.

La oferta a nivel de pregrado de la Escuela incluye programas de ingeniería (civil, eléctrica, sistemas, ambiental, industrial electrónica, mecánica, biomédica, y estadística), economía, administración de empresas y matemáticas. Los programas organizan su plan de estudios a través de núcleos de formación. Los cursos de física pertenecen al área de ciencias básicas que hace parte del núcleo de formación común.

Todos los cursos de física mecánica en la Escuela tienen la particularidad de estar dividida en sesiones teóricas (3 sesiones, cada uno con una duración de 1,5 horas) y una sesión de laboratorio (1,5 horas). Mientras los cursos de laboratorio tienen un límite de veinte estudiantes por grupo, los grupos teóricos se inscriben entre 24 y 30 estudiantes. Por lo tanto, los estudiantes que pertenecen a un grupo particular de teoría trabajan la parte de laboratorio con estudiantes de otros grupos teóricos y bajo la orientación de otro docente. La sesión de laboratorio se caracteriza por estar finamente detallada en la guía de laboratorio, en la que se entregan instrucciones a los estudiantes sobre las mediciones y los respectivos instrumentos a utilizar, las tablas de datos a completar, las gráficas a elaborar y hasta los resultados a los que se espera deben llegar. En definitiva, se promueve el desarrollo de habilidades de escritura de informes de laboratorio.

Por lo anteriormente expuesto, el trabajo de intervención didáctica y la aplicación del instrumento de lápiz y papel para la recolección de información se realiza con un grupo de teoría.

5.3 UNIDAD DE TRABAJO

La unidad de trabajo objeto de este estudio se conformó por 7 de los 25 estudiantes del curso de física mecánica (semestre 2022-2), que asistieron a todas las sesiones de la unidad didáctica y manifestaron su deseo de participar en la investigación.

En la Escuela cada semestre está dividido en tres cortes. Como la unidad didáctica tiene lugar en el segundo y tercer corte, a ese momento ya se contaba con un primer reporte del desempeño académico. Para contar con un grupo heterogéneo que generará casos ricos

en información, se seleccionaron dos estudiantes que en su registro de notas de primer corte se ubicaron en desempeños altos, otros tres en desempeños bajos y dos estudiantes ubicados en desempeños académicos medios.

5.4 CONSIDERACIONES ÉTICAS

Se informó a los estudiantes al inicio del semestre sobre la investigación y que esta consistía en realizar un estudio de las respuestas dadas en los instrumentos de recolección de información. Para poder utilizar los textos y diagramas realizados, ellos firmaron un consentimiento (ver instrumento de lápiz y papel anexo 1) previa aclaración que todo lo allí registrado se trataría con total confidencialidad y anonimato.

5.5 UNIDAD DE ANÁLISIS

El proceso de establecer categorías y subcategorías permite desglosar el objeto de estudio que se quiere abordar en la investigación. Cabrera (2005) sugiere que, para el caso de un investigador con poca experiencia investigativa, se realice una categorización apriorística (se obtiene de la búsqueda de antecedentes) y no una emergente (surge de la propia indagación).

La categorización, es guiado por un proceso deductivo, que tiene como punto de partida los lineamientos teóricos preliminares sobre los modelos explicativos. Para el nivel de representación macroscópica se realiza una adaptación de modelos conceptuales propuestos por López y Covadela (2005). Por otra parte, el trabajo de Caldas y Saltiel (2001) guía la adecuación de las categorías de estudio en el nivel de representación mesoscópica. Para el nivel de representación microscópica se da uso de los modelos explicativos propuestos por Corpuz (2006).

Como resultado de la adecuación de las categorías y subcategorías previamente detalladas se propone para esta investigación las siguientes categorías de estudio:

Tabla 5 Categorías de análisis

Categoría	Subcategoría	Indicadores
Modelos Explicativos de fricción	Modelo Intuitivo	<u>Nivel de representación macroscópico:</u>
	M1	- El estudiante reconoce el área de contacto como una magnitud física que afecta a la fuerza de fricción - El estudiante asocia siempre a la fricción con un efecto de frenado. - El estudiante no reconoce el carácter restrictivo de la fuerza de fricción estática que la diferencia de la fuerza de fricción cinética
		<u>Nivel de representación mesoscópico:</u>
		El estudiante en el diagrama de fuerzas solo dibuja una fuerza (tangente o normal a la superficie de contacto).
		<u>Nivel de representación microscópico:</u>
		El estudiante asocia las fuerzas mecánicas entre los átomos con el origen de la fricción en la escala microscópica
	Modelo Científico	<u>Nivel de representación macroscópico:</u>
	M3	- El estudiante reconoce que la fuerza con que se presionan las superficies afecta a la fuerza de fricción - El estudiante acepta que la fuerza de fricción puede actuar como fuerza motora - El estudiante reconoce la propiedad de las fuerzas de fricción de adaptarse a condiciones dinámicas de diferentes situaciones
		<u>Nivel de representación mesoscópico:</u>

	El estudiante dibuja el par de fuerzas
	<u>Nivel de representación microscópico:</u>
	El estudiante asocia la fricción microscópica con las fuerzas moleculares
Modelo sintético	Posibilidad de presencia del modelo intuitivo M1 y el modelo científico M3
M2	

Nota: Elaboración propia

5.6 TÉCNICAS Y FUENTES DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

En busca de identificar los modelos explicativos iniciales y finales de los estudiantes se diseñó un instrumento de lápiz y papel que incluye cinco situaciones (ver anexo 2). El instrumento fue evaluado por cuatro expertos del campo de la física, quienes realizaron comentarios y sugerencias para mejorarlo. Posteriormente, se validó a través de una prueba piloto con estudiantes del curso de física mecánica del primer semestre del 2022.

El instrumento se aplicó en la tercera y catorceava semana del segundo semestre del 2022, con el propósito de determinar las posibles evoluciones en los modelos explicativos sobre la fricción.

La construcción de las situaciones y sus preguntas abiertas pretende verificar si, cambiando la situación, las entidades, las propiedades y relaciones causales que realiza el estudiante son las mismas y, si no lo son, buscar elementos que ayuden a aclarar o completar el modelo explicativo que cada estudiante construye frente al fenómeno de las fuerzas de fricción.

En la situación A, se muestra una fotografía de las escaleras metálicas de una estación del Transmilenio en la ciudad de Bogotá, que evidencia el mayor desgaste en la zona de ascenso. Para esta situación se propone dos preguntas. La pregunta A1 pretende

identificar si el estudiante establece una relación entre la fuerza de fricción y la fuerza normal. Por su parte la pregunta A2 ayudaría a identificar otros factores que influyen sobre las fuerzas de fricción.

La situación B describe una tarea cotidiana que se realiza para deslizar un objeto pesado (caja llena de libros). La pregunta B1 ayuda a verificar si para el estudiante la fuerza normal afecta a las fuerzas de fricción. En tal caso, esto lo llevaría a percibir la diferencia en las acciones de empujar y jalar la caja.

Por su parte B2 explora la existencia de otros factores que afecten las fuerzas de fricción y los efectos que tiene estas fuerzas en el movimiento de la caja. Continuando, B3 indaga sobre la diferencia en las magnitudes de la fuerza de fricción que experimenta un cuerpo en reposo mientras una fuerza externa actúa en la dirección de movimiento (inminente) y la fuerza de fricción cuando el cuerpo ya está en movimiento.

Las preguntas B4 a B7 piden realizar una secuencia de dibujos que permita al estudiante ir transitando del nivel de representación macroscópica al microscópico pasando por la escala mesoscópica. Por último, B8 y B9 explorar los mecanismos que podrían servir de base para una explicación causal de la fricción en la escala microscópica.

La situación C corresponde a un video que muestra tres celulares uno encima del otro colocados sobre una mesa. Se ejerce una fuerza externa F sobre el celular del medio, de tal forma que los tres celulares se mueven juntos (con la misma aceleración con respecto a la mesa). En esta sección se solicita explícitamente que se realicen diagramas de fuerza a cada uno de los celulares y se indique la dirección de movimiento, para indagar las comprensiones de los estudiantes sobre las interacciones entre las superficies en contacto. Esta situación ubica al estudiante en la escala de representación mesoscópica.

Por último, la situación D expone una nota publicada en el portal Cultura vial. La nota denuncia el aumento de la accidentalidad de los motociclistas en la vía Bogotá-Girardot. Al estudiante se le cuestiona sobre las evidencias que ayudarían a comprobar que

el tipo de pintura utilizada para cambiar la demarcación en la vía explica el aumento de accidentalidad para los motociclistas en este tramo.

5.7 UNIDAD DIDÁCTICA

En esta sección, se pretende establecer el marco para la discusión de lo que se quiere significar cuando se utiliza la expresión: “proyecto escolar STEM”.

Es preciso mostrar el acrónimo STEM desde la perspectiva anglosajona. Ciencia (Science) se refiere solo a las ciencias naturales: astronomía, física, química, biología. Excluye por tanto las ciencias formales como la matemática, la lógica, la ciencia de datos y la computación. Igualmente excluye las ciencias sociales como la historia, la geografía, la lingüística, la economía, etc. La tecnología (Technology) implica en mayor medida a las tecnologías digitales. Por su parte la ingeniería (Engineering) alude al diseño y no tanto a los programas de ingeniería de la universidad. Por último, matemáticas (Mathematics) incluye a la matemática instrumental para la vida y la matemática disciplinar.

El interés en la educación STEM tiene su origen en la década de 1940, con la creación de la National Science Foundation por los Estados Unidos en reacción al lanzamiento soviético del primer satélite en órbita terrestre, el Sputnik. El miedo a que otras economías crecieran más dio impulso a la formación en las áreas STEM para mantener al país económicamente competitivo. Este origen, con un sesgo claramente neoliberal centrado en la capacitación de la fuerza laboral para competir en el mercado global, es para algunos críticos la mayor debilidad de ese enfoque al dejar de lado la organización social consensuada como base de desarrollo del tejido social (Peretti, Furci, y Trinidad, 2019).

Por el contrario, investigadores del campo de la didáctica de las ciencias naturales, reconocen que la educación STEM si bien en un enfoque foráneo y presenta una fundamentación teórica débil (Ortiz, 2020), es una propuesta innovadora que puede integrarse a otros marcos de la didáctica de las ciencias ya estabilizados, previa recontextualización de la propuesta original a cada realidad y sobre todo a las finalidades educativas propias.

5.7.1 Perspectiva Epistemológica En La Educación STEM

STEM implica disciplinas estrechamente relacionadas, pero con particularidades en cuanto a su naturaleza y sistema de valores. Desde el punto de vista epistémico se pierde mucho al “diluir” las disciplinas, porque se oculta que tienen objetivos, criterios de validez, esferas de actividad y formas de conocimiento, diversos y ricos (Couso y Simarro, 2020). Estas diferencias, hacen que se aproximen al mundo de formas diferentes.

Según el grado de disolución entre las disciplinas, se puede llegar a relaciones perniciosas entre las disciplinas. Por ejemplo, en muchos proyectos la matemática se limita a los cálculos, así cada vez que hacemos cálculos se consideraría que ya se integró la M de matemáticas. Pero es un absurdo reducir las matemáticas a los simples cálculos al servicio de las ciencias y la ingeniería.

Simarro y Couso (2021) proponen una nueva conceptualización de las prácticas de ingeniería que da cuenta de las diferencias epistémicas entre la ciencia y la ingeniería, a fin de comprender la relación entre ambas disciplinas, su interdependencia en clara oposición a una mirada de las prácticas de ciencia e ingeniería paralelas y complementarias. Para las autoras un plan de estudios de educación STEM debe incluir las ideas centrales y las prácticas prototípicas de cada campo.

El uso de una lente epistemológica destaca que los objetos de conocimiento de la ingeniería son artefactos que se pueden poner en práctica, mientras que la ciencia se enfoca en construir modelos que ayuden a interpretar el mundo natural. Ahora bien, si la naturaleza de la ciencia y la ingeniería son diferentes, sus prácticas también lo serán. Conviene subrayar, que el término práctica no hace referencia a las prácticas de laboratorio, ni de trabajo práctico, sino como aquella actividad que es cognitiva, discursiva y social para elaborar explicaciones y argumentar con evidencias (Osborne, 2014).

Por consiguiente, un proyecto STEM centrado mayoritariamente en la actividad científica de modelización de las fuerzas de fricción ambiente un contexto oportuno para la

reconstrucción de los modelos explicativos. Por otra parte, si el proceso de diseño es ahora el protagonista, los estudiantes participan en las formas de pensar, hablar, ser y valorar propias de la ingeniería.

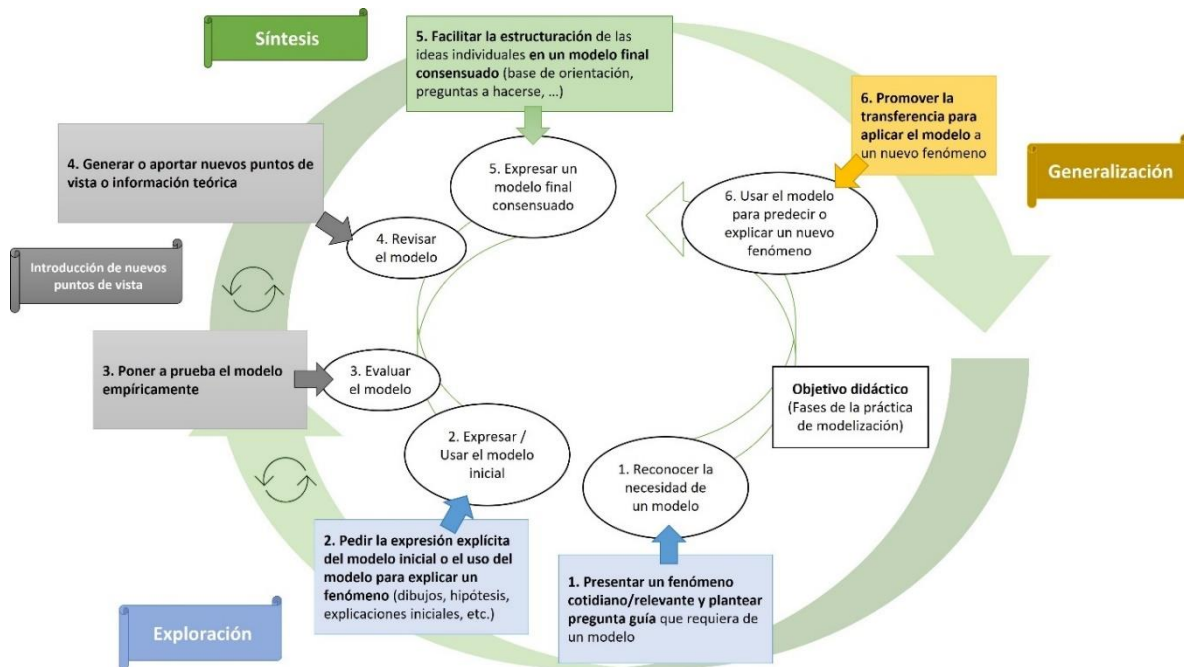
En conclusión y siguiendo las recomendaciones de Couso y Simarro (2020) la unidad didáctica gira en torno a un proyecto STEM en el contexto de la nanociencia y la nanotecnología, que se considera de interés para los futuros ingenieros. El proyecto consiste en evaluar (estudio de prefactibilidad) un super-adhesivo de propiedades sorprendentes sin pegamentos tóxicos, conocido como cinta Gecko Nanoplast. Lo sorprendente de este material (sintético, microestructurado y bioinspirado) es que no obedece las leyes fenomenológicas clásicas de la fricción.

La secuencia didáctica se enfoca en abordar tres ideas claves de complejidad ascendente del modelo de las fuerzas de fricción. (1) En el primer nivel de representación que es el macroscópico la fuerza de fricción depende de la fuerza normal y la naturaleza de las superficies en contacto. (2) A nivel mesoscópico, reconocer que la fuerza de fricción puede ser responsable del movimiento de los objetos. (3) El origen de la fricción está en las fuerzas moleculares.

El proyecto STEM se estructura en tres fases. En la dos primeras bajo la enfoque de la ciencia, se llevan a cabo siguiendo el ciclo de modelización (Garrido, 2016). Y en la tercera fase se propone un ciclo de diseño que dará una mirada desde la ingeniería.

La figura 1 representa las etapas de un ciclo de modelización (Garrido, 2016) propuesto para promover la práctica científica de modelización con la que pretende que cada estudiante en su intento por interpretar fenómenos relacionados con la fricción reelabore su modelo explicativo.

Ilustración 1 Ciclo de modelización



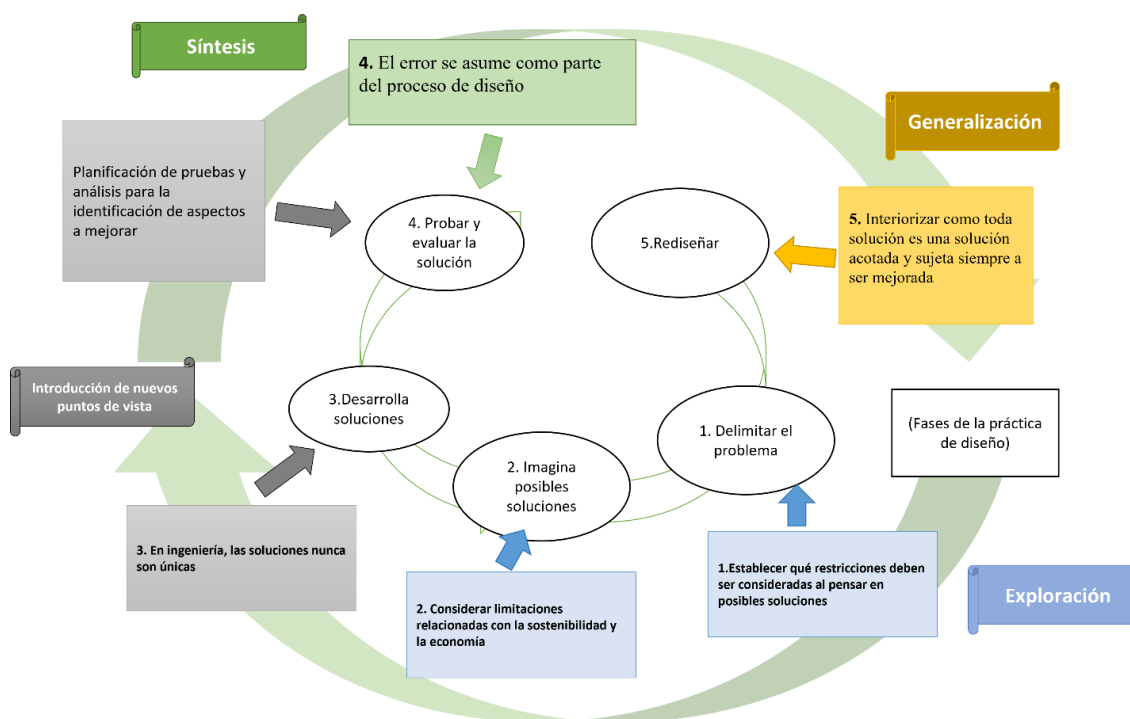
Nota: Adaptación de la autora basada en (Garrido, 2016)

La figura 2 muestra el ciclo de diseño de ingeniería con el que se busca involucrar a los estudiantes en el proceso propio de la ingeniería más que en sus productos, para reconocer a la ingeniería como algo cognitivo y social, con sus propias herramientas y reglas (Couso y Simarro, 2020).

El ciclo inicia con la definición del problema. Se anima a los estudiantes a formular preguntas que les permita tener claridad sobre las restricciones que deben cumplirse a la hora de realizar el estudio de prefactibilidad del nuevo material, incluyendo limitaciones relacionadas con la sostenibilidad y la economía. A continuación, cada grupo elabora un listado de posibles pruebas de las que sea posible obtener evidencias para realizar la evaluación de la cinta Gecko y define que criterios seguirán para el proceso de selección. Llegados a este punto estarán listos para realizar las pruebas propuestas, cuyos resultados deberán ser interpretados para encontrar puntos de mejora que los ayude a encontrar la solución óptima. Todo proceso de diseño es iterativo, de allí que siempre se plantea la

posibilidad de mejorar las soluciones propuestas, en oposición a querer llegar a un resultado correcto siguiendo un único camino.

Ilustración 2 Ciclo de diseño



Nota: Adaptación de la autora basada en (Garrido, 2016)

La unidad didáctica se plantea bajo la perspectiva del trabajo de Sanmartí (2000) quien propone una secuencia de actividades organizadas en cuatro etapas.

Actividad de exploración y apropiación de los objetivos. Se inicia con actividades desde situaciones reales, concretas y cercanas a las vivencias de los estudiantes que permiten explorar modelos explicativos iniciales. También incluye compartir con los alumnos hacia dónde queremos ir a través de la unidad didáctica propuesta.

Actividades para promover la evolución de los modelos iniciales. Ahora las actividades propuestas son un poco más abstractas y con un mayor nivel de complejidad. El propósito de estas actividades es enriquecer el modelo explicativo inicial, “ya sea a partir de la realización de nuevas experiencias, del establecimiento de nuevas analogías y nuevas

relaciones, del conocimiento de nuevas informaciones y de un uso más preciso del lenguaje” (Sanmartí, 2000, p. 256).

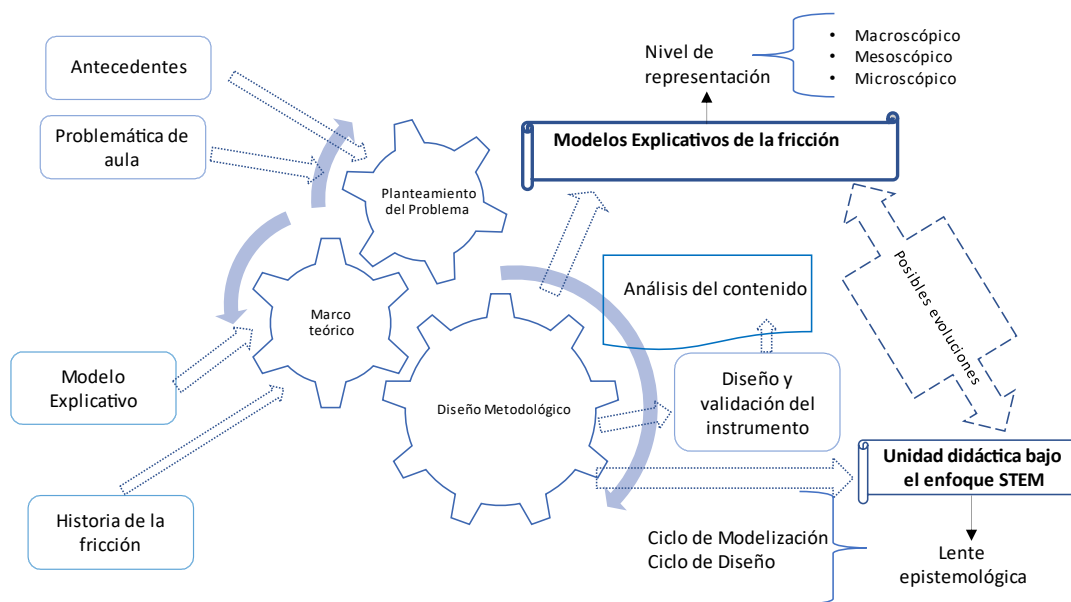
Actividades de síntesis, estructuración y jerarquización. Del conjunto total de actividades realizadas se tendrán ideas que son más importante que otras, por ello es importante que de manera personal se expliciten los aprendizajes logrados. En particular, cobra relevancia caracterizar el modelo explicativo reelaborado y poder comunicarlo. Se tiene la expectativa que estas actividades contribuyan a la apropiación del nuevo modelo explicativo el cuál se espera se active cuando sea requerido.

Actividades de aplicación. Proponer nuevas situaciones (más complejas que las propuestas previamente) que requieran de la movilización de los conocimientos de los estudiantes para tomar decisiones y argumentar.

5.8 DISEÑO METODOLÓGICO

La figura 3 presenta el esquema del diseño metodológico:

Ilustración 3 Esquema del diseño metodológico



Nota: Elaboración propia

5.9 PLAN DE ANÁLISIS

Se recopila la información obtenida del instrumento de lápiz y papel y se transcribe y codifica en matrices.

La técnica de análisis de la información es el análisis de contenido cualitativo puesto que se requiere realizar un análisis válido de la interpretación de los textos y así develar el sentido que emerge del mismo, a través del uso de definición de categorías. “La idea es desarrollar la perspectiva interpretativa de los textos, profundizando más allá de del contenido manifiesto, también al contexto y contenido latente desde donde se expresa el mensaje” (Herrera, 2018, p. 126)

La técnica de análisis se realiza en tres etapas de manera iterativa, es decir, la extracción de significados se da por las nuevas interpretaciones y reflexiones que subyacen de cada lectura de los datos.

Fase preliminar. Implica transcribir de todas las respuestas dadas por cada estudiante en el instrumento de lápiz y papel.

Fase descriptiva. Consiste en aislar unidades de texto a través de la codificación y etiquetado, luego agruparlas en categorías. Se recurre a la construcción de matrices para el proceso de organización de la información recopilada.

Fase interpretativa. Corresponde a la interpretación del análisis de contenido según las categorías apriorísticas. Esta esta se orienta hacia la identificación y caracterización de los modelos explicativos empleados por los estudiantes para abordar situaciones que implican las fuerzas de fricción antes y después de la intervención didáctica. Con la contrastación de los resultados se espera describir las posibles evoluciones en los modelos explicativos.

Se empleó la triangulación con el marco teórico y los antecedentes para validar las inferencias realizadas sobre los modelos explicativos. Para la identificación de las posibles

evoluciones de los modelos explicativos se llevará a cabo la triangulación de la información recopilada en el momento inicial y final de la investigación.

6 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La unidad didáctica se aplicó al total de estudiantes del curso de física mecánica del segundo semestre del 2022. Para el análisis de resultados se procesaron las respuestas de los estudiantes seleccionados para conformar la unidad de trabajo.

El instrumento inicial se aplicó finalizando la tercera semana del semestre, antes de iniciar el tema de leyes de Newton. Se aplicó nuevamente el mismo instrumento una semana después de terminar la unidad didáctica (semana 14).

La codificación: Los nombres de los estudiantes se sustituyen por un seudónimo (notas musicales). Las notas bajas (DO, RE y MI) se asocian a los estudiantes con desempeño académico bajo; las notas medias (FA y SOL) con los dos estudiantes seleccionados con desempeños medios y del mismo modo las notas altas (LA y SI) corresponde a los estudiantes con un desempeño académico alto.

Cada pregunta del instrumento de recolección de información se codificó con una letra mayúscula para identificar la situación a la cual pertenece y un número. Por ejemplo, la pregunta **B3**, corresponde a la tercera pregunta para la situación B.

Las diferentes explicaciones y dibujos realizados por los estudiantes se codificaron como muestra la siguiente tabla:

Tabla 6 Codificación de los indicadores

Indicador	Código
El estudiante reconoce el área de contacto como una magnitud física que afecta a la fuerza de fricción	FDA
El estudiante considera que la fuerza con que se presionan las superficies afecta a la fuerza de fricción	FDN
El estudiante asocia siempre a la fricción con un efecto de frenado.	EF
El estudiante acepta que la fuerza de fricción puede actuar como fuerza motora	PF

El estudiante en el diagrama de fuerzas solo dibuja una fuerza (tangente o normal a la superficie de contacto).	FS
El estudiante dibuja el par de fuerzas	PF
El estudiante no reconoce el carácter restrictivo de la fuerza de fricción estática que la diferencia de la fuerza de fricción cinética	FNAD
El estudiante reconoce el carácter restrictivo de la fuerza de fricción estática que la diferencia de la fuerza de fricción cinética	FAD
El estudiante asocia las fuerzas mecánicas entre los átomos con el origen de la fricción en la escala microscópica	RFM
El estudiante asocia la fricción microscópica con las fuerzas moleculares	IM

Nota: elaboración propia

Se recopiló la información obtenida del instrumento de lápiz y papel y se transcribió en matrices. A continuación, se realizó el proceso de aislar unidades de texto a través de la codificación y etiquetado. La tabla muestra un ejemplo de la matriz elaborada para cada estudiante.

Tabla 7 Ejemplo de la matriz

Pregunta	Respuesta	Código
A2	<i>Jalar, debido a que sería más fácil desplazarla ya que nos apoyaríamos de una herramienta o en su defecto, <u>tendría menos área de contacto con el suelo, teniendo así menos fricción.</u></i>	FDA

Nota: elaboración propia

6.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS MODELOS EXPLICATIVOS INICIALES (EN ADELANTE MEi)

El análisis de contenido de cada matriz permitió encontrar tendencias en torno a los MEi de cada estudiante analizando todas las respuestas registradas en el instrumento de lápiz y papel.

Tabla 8 Modelos explicativos iniciales

Estudiante	Indicadores					MEi
DO	FDA ,FDN	EF	FNAD	FS	RFM	M1
RE	FDA	EF	FNAD	FS	RFM	M1
MI	FDA	EF	FNAD	FS	RFM	M1
FA	FDA	EF	FAD, FNAD	FS	RFM	M1
SOL	FDA ,FDN	EF	FNAD	FS	RFM	M1
LA	FDA	EF	FAD, FNAD	FS	RFM	M1
SI	FDA ,FDN	EF	FAD, FNAD	FS	RFM	M2

Codificación	
FDA	Fricción depende del área
EF	Efecto de frenado
FNAD	No adaptación a las condiciones dinámicas del sistema
FS	Fuerzas solitarias
RFM	Rugosidad, Fuerzas mecánica entre los átomos
FDN	Fuerza de fricción depende de la normal
EM	Puede tener un efecto motor
FAD	Adaptación a las condiciones dinámicas del sistema
PF	Pares de fuerzas
IM	Interacciones Moleculares

Nota: elaboración propia

Para facilitar la interpretación de la tabla se utilizó el color amarillo para identificar los indicadores asociados con el M1 (Modelo intuitivo), el color azul para los indicadores asociados con el modelo científico M3 y verde para el modelo sintético M2.

Tabla 9 Código de colores

	Nivel de representación macroscópico
	Nivel de representación mesoscópico
	Nivel de representación microscópico
	Todos los niveles de representación
	Nivel de representación macroscópico
	Nivel de representación mesoscópico
	Nivel de representación microscópico

Nota: elaboración propia

De la clasificación se puede evidenciar que sólo el estudiante SI (desempeño académico alto) se ubica en un MEi sintético, los demás se clasifican en un MEi intuitivo.

6.1.1 Escala De Representación Macroscópica

Identificar qué factores considera el estudiante afecta a la fuerza de fricción ofrece un primer acercamiento a identificar las entidades y propiedades (ontología) constituyentes del modelo explicativo. La tabla 7 muestra que, para el modelo explicativo de la fricción, el

área de contacto (FDA) es la entidad concreta que ejercen acciones causales sobre las fuerzas de fricción.

LA, B2: Podría levantar un poco la caja para que haya menor área de contacto y por ende menor fricción, lo cual permitiría mover mejor y más fácil la caja

Una primera diferencia con los resultados de Lopez y Covadela (2005) quienes reportan que para algunos estudiantes existe relación entre la fuerza de fricción y la masa (FDM), en la unidad de análisis no se detecta esta asociación.

Las respuestas dadas a la pregunta A1, permiten presumir que para los estudiantes la fuerza de fricción es independiente de la fuerza normal (FDN). Si bien consideran que subir por las escaleras requiere mayor fuerza que para descender por las mismas, no se observa que relacionen esta fuerza con la fuerza normal.

SOL, A1: el desgaste del lado ascendente puede deberse a que para subir hay que ejercer una mayor fuerza que para bajar y por ende se aplicaría mayor fuerza en los pasos que aplica.

Lo anterior se puede ratificar al analizar las respuestas dadas a la pregunta B1, porque frente a si prefieren empujar o jalar una caja con libros, su selección se da sin considerar los cambios en la fuerza normal.

SOL, B1: Yo preferiría jalar la caja, la razón es que a mi parecer se facilita aplicar una mayor fuerza a la hora de jalar, al menos en este caso que la caja no está tan grande.

Los estudios previos sobre la fricción sólida han demostrado que la idea de asociar la fricción con un efecto de frenado (EF) se encuentra profundamente arraigada en la mente de los estudiantes y parece ser confirmada por la experiencia cotidiana (Besson y Viennot, 2004). Los resultados de la tabla 8 confirman la misma conclusión, los estudiantes conciben la fricción como una fuerza que dificulta el movimiento y por eso esta fuerza es opuesta a la dirección de movimiento.

RE, B2: Podría mover la caja con una zorra o con una base con ruedas, así será más fácil el desplazamiento de esta.

Por el contrario, ningún estudiante considera la posibilidad que la fuerza de fricción cumpla un efecto motor (EM). De hecho, “parece que la fricción estática no se percibe de ninguna manera como una fuerza que puede depender de las condiciones dinámicas de cada situación física...” (Caldas y Saltiel, 2000, p. 21).

Si bien, cinco estudiantes responden correctamente frente a la relación entre las magnitudes de las fuerzas que se aplican a un objeto en reposo y a un objeto en movimiento, lo interesante son las justificaciones. Es mayor porque el cuerpo presenta inercia la cual hay que vencer o porque cuando el cuerpo está en movimiento ya tienen un impulso que facilita su movimiento.

RE, B3: Mayor, por inercia

MI, B3: Las fuerzas iniciales mayor ya que cuando la caja tiene impulso es más fácil moverla

Los argumentos dados para justificar la respuesta correcta dan cuenta de la dificultad para establecer la diferencia entre las magnitudes de las fuerzas de fricción cinética (cuya magnitud es proporcional a la normal) y la fuerza de fricción estática (como una fuerza de restricción) con un valor máximo.

Cuando hay deslizamiento y por lo tanto una velocidad relativa de deslizamiento, la fricción está relacionada con la dirección de esta velocidad relativa y su magnitud es conocida. De manera diferente, cuando no hay deslizamiento entre las superficies, la magnitud de esta fuerza es desconocida y puede tomar cualquier valor entre cero y el valor máximo. “De hecho, la aproximación estática de fricción de Coulomb establece un límite superior a una cantidad que los estudiantes tienen que trabajar extraordinariamente duro para convencerse de que existe.” (Pickett, 2015, p. 2).

Así mismo, se nota que para el movimiento de rodadura contemplan la presencia de la fricción, pero casi nunca se especifica el tipo de fuerza de fricción.

FA, D1: Midiendo su resistencia, su fricción. Por ejemplo, empujando un objeto en pavimento sin pintura y después empujar el mismo objeto en pavimento con pintura y midiendo el tiempo que se demora.

De acuerdo con la respuesta dada por FA, se trata de la fricción cinética, porque equipara el movimiento de rodadura de las llantas de la motocicleta con el movimiento de deslizamiento de un objeto. Al parecer no es fácil para los estudiantes advertir que, si bien el neumático está en contacto con la superficie de la carretera, no resbala y está en reposo con respecto a la superficie.

6.1.2 Escala De Representación Mesoscópica

La situación C (del instrumento de modelos explicativos) corresponde a un video corto que muestra tres celulares (uno encima del otro). A los estudiantes se les solicita realizar el diagrama de fuerzas para cada celular. Conviene subrayar, que en este tipo de diagramas se espera que el estudiante dibuje solo las fuerzas que actúan sobre el objeto (celular) y que se originan fuera del objeto. Por lo tanto, para realizar estos dibujos es importante definir los límites del objeto a fin de establecer qué fuerzas son externas.

Para la realización de los diagramas de fuerza el estudiante requiere primero realizar un proceso de idealización que le permite reconocer cada celular como un punto material (no es relevante su estructura interna, forma o tamaño). A continuación, transforma la información obtenida del video en una representación pictórica.

A continuación, se presenta el análisis de los diagramas de cuerpo libre para m1.

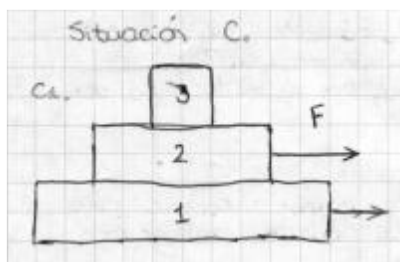


Diagrama realizado por FA

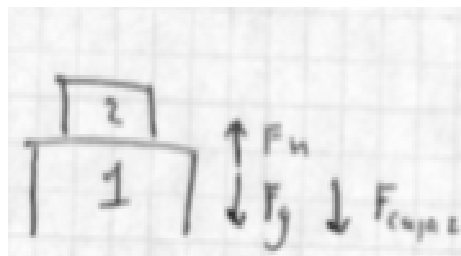


Diagrama realizado por RE

Se observan diagramas canónicos (no define los límites del objeto en estudio) en el que se representan con flechas las fuerzas.

Es claro que FA solo identifica una fuerza actuando sobre m_1 y la dibuja de forma muy similar a la fuerza externa que actúa sobre m_2 . Tal vez, FA considera que la fuerza externa de alguna manera se “transmite” a m_1 .

Esta idea de transmisión se refleja en la respuesta a la pregunta B1 dada por DO

Empujar ya que la fuerza aplicada impacta directamente sobre la caja, haciendo que sea más fácil (y cómodo) moverla. Ya que la fuerza se aplica toda directamente sobre la caja. Cuando se jala la caja, se genera tensión y esta tensión ayuda a aplicar fuerza sobre la caja para que esta se mueva

Para Do, la diferencia en la actividad de empujar y jalar la caja está dada porque en el primer caso la fuerza se ejerce directamente sobre la caja, mientras que en el caso de jalar la fuerza se aplica a la cuerda y esta debe ser “transmitida” hacia la caja. Al parecer en el proceso de transmisión, la fuerza disminuye su magnitud y ya no se ejercería “toda” la fuerza sobre la caja.

Llama la atención que el estudiante RE no dibuja fuerzas horizontales, por lo tanto, el cambio en el estado de movimiento se explicaría sin la acción de una fuerza. Según Besson (2010), el estudiante recurre a la idea de “arrastre” entre los bloques para explicar su movimiento.

Por lo visto, el no separar m_1 de sus alrededores (mesa y m_2) dificulta establecer la diferencia entre la ley de acción y reacción (tercera ley de Newton), que se refiere a dos objetos diferentes, y la ley que asocia las fuerzas que actúan sobre un objeto y la aceleración que experimenta dicho objeto (segunda ley de Newton) (Viennot, 2003). De ahí que, no se dibujen los pares acción-reacción de cada interacción en la interfaz de contacto.

Continuando, ahora es el turno para analizar el diagrama de fuerzas para m_2 .

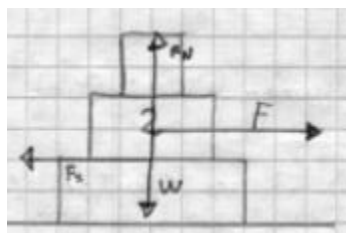
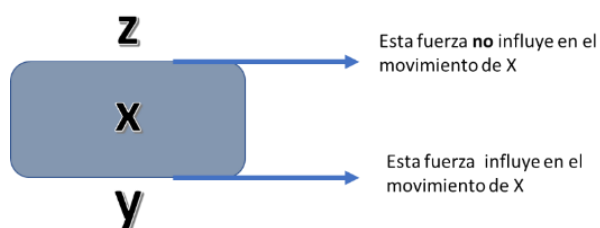


Diagrama realizado por SI

En este caso el estudiante no considera la fuerza de fricción en la interfaz superior, sólo dibujan una fuerza de fricción en la interfaz inferior. Este diagrama da cuenta del efecto que Caldas y Saltiel (2001) denominan “efecto D-D”. El efecto consiste en reconocer la fricción en la interfase inferior (“debaixo” que significa el de abajo en portugués) de un cuerpo X y otro cuerpo Y, mientras que la fricción entre la interfaz superior (“de cima” que significa el de arriba en portugués) del cuerpo X y otro cuerpo Z no influye en el movimiento de X.

Ilustración 4 Efecto D-D



Fuente: Caldas y Saltiel (2001)

Por último, se examinan los diagramas de fuerza para m_3 propuesto por MI y FA

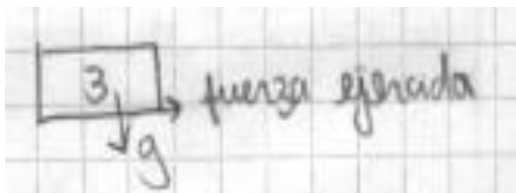


Diagrama realizado por MI

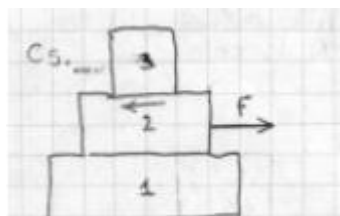


Diagrama realizado por FA

El dibujo de MI ubica la fuerza externa actuando sobre m_3 , así que nuevamente aparece la idea de transmisión de las fuerzas.

Para Besson (2010), una transmisión de la fuerza puede interpretarse como una confusión entre la fuerza externa como “desencadenante” del movimiento de los celulares y lo que actúa efectivamente sobre el celular superior (m_3) para producir el movimiento, que sería la fuerza de fricción estática. Seguramente hacer un mayor énfasis en que la fuerza externa F es la condición para que en las superficies de contacto cambien las condiciones dinámicas (las fuerzas locales a nivel molecular son diferentes) y por ello surge la fuerza de fricción estática para adaptarse a las nuevas condiciones dinámicas, puede contribuir a dar claridad a este aspecto.

FA dibuja una flecha en dirección opuesta al movimiento “observado”. Quizás, el estudiante al reconocer una situación de movimiento recurre a las leyes de la fricción cinética y dibuja una fuerza opuesta a este movimiento “observado”. Por lo visto, no nota que la velocidad relativa de deslizamiento en este caso es nula (movimiento de m_3 con respecto a m_2), de manera que se trata de una fuerza de fricción estática y no cinética.

Recapitulando, los diagramas de fuerzas para los tres celulares muestran que no se contempla la posibilidad de considerar la fuerza de fricción estática como la causa del movimiento. La fuerza de fricción siempre es dibujada opuesta a la fuerza externa F . El resultado sugiere que la dirección de la fuerza de fricción está determinada por el movimiento “observado” en lugar de analizar la velocidad relativa.

De manera similar Caldas y Saltiel (1995) en su estudio sobre los modos de razonamiento sobre la fuerza de fricción cinética también encontraron que los estudiantes no recurren a la velocidad relativa para definir la dirección de la fuerza de fricción. Para las autoras si bien los libros de texto definen la fuerza de fricción en relación con el movimiento relativo (lo que implica especificar el marco de referencia en el que se define el movimiento), los ejemplos y ejercicios propuestos son en su mayoría situaciones donde el movimiento relativo y el movimiento del objeto en el marco considerado son idénticos (esto ocurre cuando el movimiento es visto desde un referente fijo). En consecuencia, el estudiante cuenta con pocas herramientas para establecer la diferencia entre movimiento y movimiento relativo. De ahí que, se le dificulte reconocer en qué situaciones está presente la fuerza de fricción estática y en cuales la fuerza de fricción cinética.

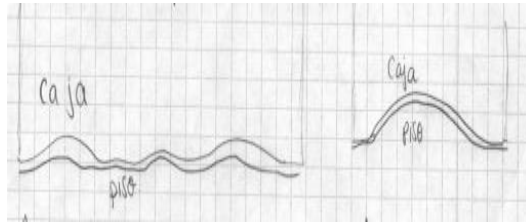
Del mismo modo, Develi y Namdar (2019) quienes analizan las definiciones de fuerzas de fricción en 26 libros de texto, concluyen que asociar la fuerza de fricción con movimiento podría no ser la forma adecuada de describir esta fuerza. Asociar la fuerza de fricción como un fenómeno resistente, aunque en algunos casos es necesaria para dar origen al movimiento, implica que las fuerzas de fricción presentan dos situaciones incompatibles, por un lado, es de oposición y al mismo tiempo impulsora. Por este motivo sugieren definir la fuerza de fricción en relación con el concepto de deslizamiento en lugar de movimiento. En definitiva, la fricción es una fuerza que evita el deslizamiento relativo entre objetos en contacto.

Con esta diferencia en la definición de fuerza de fricción, tal vez para el estudiante sea menos conflictivo considerar que el caso de m_3 , la dirección de la fuerza de fricción es la misma que la dirección del movimiento en relación con un sistema de referencia ubicado en la mesa. De hecho, si no se excede la fuerza de fricción máxima entre m_3 y m_2 , no se produce deslizamiento, pero aún se puede lograr movimiento.

6.1.3 Escala De Representación Microscópica

Es necesario destacar, que el estudiante expresa explicaciones microscópicas sólo si se le pedía que lo hiciera (preguntas B7, B8 y B9 del instrumento). Dicho de otro modo, para describir y predecir fenómenos macroscópicos no recurre a utilizar explicaciones microscópicas (Corpuz, 2006).

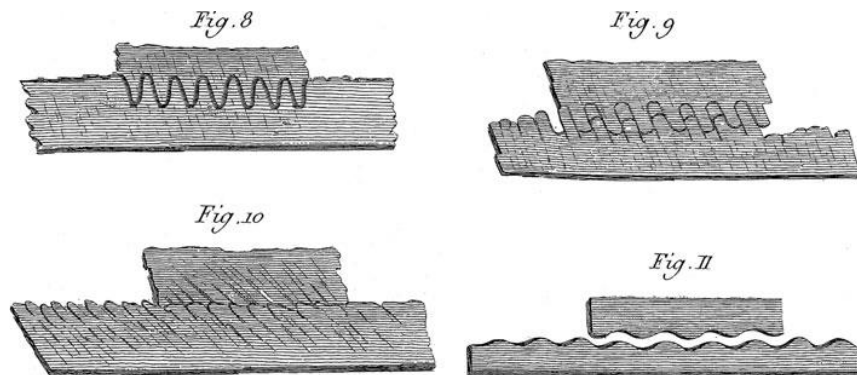
MI, B9: A un nivel microscópico se podría ver los diferentes relieves de las superficies chocan generando fricción.



Dibujo realizado por MI

El dibujo muestra que el estudiante recurre a un modelo mesoscópico para explicar lo que ocurre en la escala microscópica. Las primeras investigaciones sobre la fricción también consideraron que la fricción surgía del entrelazamiento entre las asperezas superficiales que encajan según la carga soportada y cuando se aplica una fuerza tangencial se deforman (Besson, 2013).

Ilustración 5 Modelo de fricción de Coulomb 1785



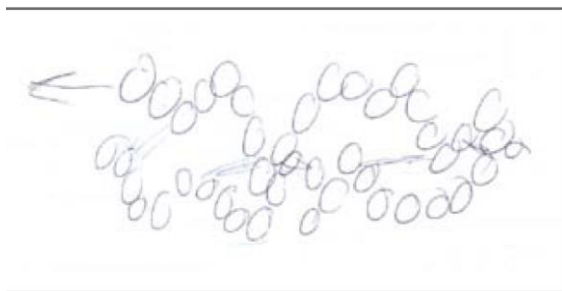
Nota: tomado de (Besson, 2013)

En efecto, si comparamos el dibujo de MI con la *fig. II* del modelo propuesto por Coulomb en 1785, es sorprendente el parecido entre las dos imágenes.

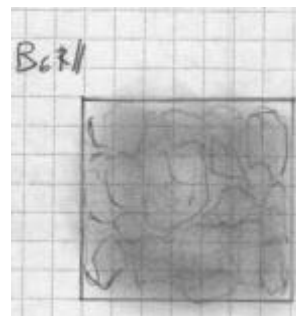
Considerar el entrelazamiento como el mecanismo que da origen a la fricción permite explicar que para varios pares de materiales el coeficiente de fricción cinético es menor a 1,0. No obstante, el modelo no permite explicar dos resultados experimentales. Primero, para superficies metálicas muy pulidas la fricción alcanza magnitudes muy grandes. Segundo, no se puede explicar que la fricción cinética produce incremento en la energía interna de las superficies.

A diferencia de lo reportado por Corpuz y Rebello (2011) quienes realizan un estudio con estudiantes inscritos en el curso de física moderna, al preguntar a los estudiantes sobre: ¿qué pasaría si sigues haciendo zoom?, ningún estudiante de manera explícita o en los bocetos realizados (ver figura 5) incluye a los átomos, aunque si consideran que un mayor acercamiento implicaría observar mayores irregularidades en las superficies. Seguramente la diferencia se pueda explicar porque para esta investigación los estudiantes participan de su primer curso de física universitaria, mientras que física moderna corresponde a un curso avanzado. No obstante, es posible que la pregunta en el cuestionario no fuera del todo clara para los estudiantes o esta situación refleja una mayor dificultad para llegar a la escala atómica.

Ilustración 6 Comparación de bocetos



Boceto de cómo se vería la superficie en diferentes escalas de longitud Corpuz y Rebello (2011)



Boceto realizado por SOL de cómo se vería la superficie en diferentes escalas de longitud

De hecho, ningún estudiante considera la fricción como la fuerza necesaria para romper los enlaces entre átomos de las superficies que entran en contacto, en cambio tres de los once participantes en la investigación de Corpuz y Rebello (2011) si lo hacen.

Los resultados revelan que los estudiantes logran una visión global del sistema, pero sin realizar un análisis más detallado que incluya las interacciones locales. Esta dificultad para conectar las interacciones a nivel local con las descripciones globales fue reportada por Besson (2010). Probablemente para el estudiante es suficiente centrar su análisis en las fuerzas globales que actúan sobre cada objeto y por ello se resiste a incluir en su análisis lo que ocurre localmente en cada punto de contacto entre los cuerpos. Esto lleva a una falta de coordinación entre las descripciones globales, en términos de cantidades relativas a todo el sistema y las propiedades locales en términos de interacciones locales y leyes causales (Besson, 2010).

Representar los objetos entre los que se produce la fricción mediante rectángulos que se mueven sobre planos representados por una línea, dificulta los intentos por crear una imagen que permita pensar en los fenómenos de adhesión entre asperezas, deformación, rayado de las superficies de contacto y el efecto de las partículas atrapadas entre las superficies, cuya relevancia varía según la situación y materiales considerados (Besson et al., 2007). Todos estos fenómenos constituyen el origen las fuerzas de fricción y tienen lugar debido a las interacciones complejas de todos los electrones y núcleos de una molécula con todos los electrones y núcleos de la otra.

Recurrir a la entidad material (interacciones mecánicas) para imaginar el mecanismo que podría explicar lo que ocurre a nivel microscópico en la interacción entre superficies es para Silva (2007) una etapa intermedia necesaria hacia la construcción de conceptos abstractos.

6.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS MODELOS EXPLICATIVOS FINALES (EN ADELANTE MEf)

Tabla 10 Modelos explicativos finales

Estudiante	Indicadores					MEf
DO	FDN	EF	FAD, FNAD	PF, RFS	RFM	M2
RE	FDA, FDN	EF	FNAD	PF	RFM	M1
MI	FDN	EM	FAD	PF	IM	M3
FA	FDN	EM	FAD, FNAD	PF	IM	M2
SOL	FDN	EM	FAD, FNAD	PF	IM	M2
LA	FDN	EM	FAD, FNAD	PF	IM	M2
SI	FDN	EM	FAD	PF	IM	M3

Codificación	
FDA	Fricción depende del área
EF	Efecto de frenado
FNAD	No adaptación a las condiciones dinámicas del sistema
FS	Fuerzas solitarias
RFM	Rugosidad, Fuerzas mecánica entre los átomos
FDN	Fuerza de fricción depende de la normal
EM	Puede tener un efecto motor
FAD	Adaptación a las condiciones dinámicas del sistema
PF	Pares de fuerzas
IM	Interacciones Moleculares

Nota: Elaboración propia

6.2.1 Escala De Representación Macroscópica

El primer resultado a destacar en el MEf es que ahora el estudiante conecta la fuerza de fricción con la fuerza normal o carga que mantiene juntas las dos superficie. Por otra parte, todos mantienen la idea que la naturaleza de las superficies en contacto es un factor clave a tener en cuenta cuando pensamos en la fricción.

SI, B1: “La mejor opción es jalar la caja porque al hacerlo la fuerza tiende a elevarse por lo que el contacto entre ella y el suelo es menor (por lo que hay menor fricción), permitiendo desplazar la caja”.

Hay indicios para considerar que los estudiantes han logrado avanzar hacia el modelo conceptual, el cual identifica a la fuerza normal y la naturaleza de la superficies como las entidades que ejercen acciones causales sobre la fricción. Esta relación se expresa como una de las leyes de la fricción: la fuerza de fricción es proporcional a la fuerza normal o carga que sostiene a las dos superficies juntas y es independiente del área aparente de las superficies. En la escala macroscópica, esta ley funciona muy bien porque en la mayoría de las superficies el área real de contacto es mucho más pequeña que el área geométrica aparente (Ringlein & Robbins, 2004).

De manera puntual, llama la atención encontrar que ahora algunos estudiantes (respuesta de FA a la pregunta B8) realizan análisis más detallados que incluyen las interacciones en los pequeños puntos de contacto para comprender el comportamiento macroscópico del sistema. Por lo visto, se ha creado una nueva imagen simplificada y funcional de los mecanismos microscópicos subyacentes al incluir el papel importante de las deformaciones como base para elaborar explicaciones y predicciones sobre la fricción. A mi juicio, el ciclo de diseño (de la unidad didáctica con enfoque STEM) que enfatizó en los aspectos de la fricción a escala microscópica permitió alcanzar estos resultados.

FA, B8: “Cuando dos superficies entran en contacto se deforman, así sean superficies denominadas como “duras” o “firmes” como el piso, siempre habrá una deformación y más que todo a nivel molecular. A niveles moleculares pasan muchas cosas que el humano muchas veces no percibe”

Es preciso señalar que algunas respuestas a la pregunta B1 pueden indicar que incluir en el contexto a un ser humano realizando la actividad de empujar o jalar la caja de libros, introduce la variable del riesgo ergonómico asociado a cada actividad (esta posibilidad no fue detectada ni por los expertos en el área de física quienes evaluaron el

instrumento ni en la aplicación de la prueba piloto). Se considera que este aspecto crea “ruido”, en tanto el estudiante no se concentra en determinar la magnitud de la fuerza para realizar las tareas sino cuál de ellas es más exigente para la persona. Para ilustrar ver la respuesta de LA:

“...sin embargo, en términos fisiológicos es peligroso y agotador para el ser humano adoptar esa posición.”

Si bien persiste la idea de conectar la fuerza de fricción con la dirección de movimiento y no con la dirección de deslizamiento como sugieren Develi y Namdar (2019), nuevamente el estudiante tiene en cuenta las interacciones locales entre las superficies.

Sin duda, se percibe una evolución en cuanto a considerar que las fuerzas de fricción pueden cumplir una función motora, es decir la fricción como causa del movimiento (Caldas y Saltiel, 2000). En efecto, ahora encontramos diagramas de cuerpo libre donde la fuerza de fricción estática está orientada de tal manera que se opone al posible deslizamiento relativo. Al parecer, la dirección de la fuerza de fricción estática ejercida sobre m_3 , ya no se determina utilizando la información de la dirección de movimiento observado.

Quizás en el nuevo modelo explicativo las fuerzas de fricción se oponen al movimiento de deslizamiento relativo entre las superficies en contacto (caso de la fricción cinética) o al posible movimiento de deslizamiento relativo de los objetos si se presentara en ausencia de la fricción (fricción estática), mejor dicho, las fuerzas se oponen a los desplazamientos relativos locales.

En relación con la diferencia entre las magnitudes de las fuerzas aplicadas a un objeto en reposo y en movimiento se debe admitir que persiste la dificultad para reconocer que el máximo valor alcanzado por la fuerza de fricción estática corresponde al caso en que le movimiento relativo entre puntos en contacto es inminente.

Lo anterior parece confirmar que establecer el carácter de fuerza restrictiva a la fuerza de fricción estática para diferenciarla de la fricción cinética es insuficiente para reconocer que lo que cambia de una situación a otra son las condiciones dinámicas de contacto a nivel local. Por lo tanto, es aconsejable complementar el modelo a escala mesoscópica con la propuesta de modelo geométrico de Pickett (2015) incluyendo casos de movimiento de rodadura.

Otra diferencia para resaltar se da al reconocer que para el caso de las ruedas de una motocicleta en contacto con el pavimento la fuerza que actúa (en movimiento de rodadura) es la fricción estática porque no hay deslizamiento entre las superficies.

6.2.2 Escala De Representación Mesoscópica

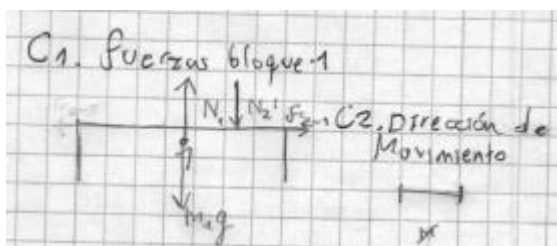


Diagrama realizado por SOL

Ahora los estudiantes recurren diagramas fragmentados (representaciones realistas de los objetos con aspectos esquemáticos como las flechas para representar las fuerzas), en los que de manera clara queda especificado sobre qué objeto están actuando cada fuerza considerada.

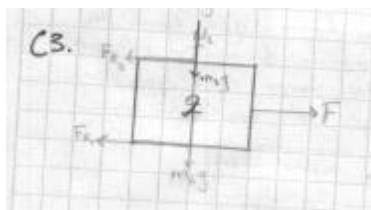


Diagrama realizado por DO



Diagrama realizado por FA

Indiscutiblemente hay una gran diferencia en estos nuevos diagramas. A cada superficie (superior e inferior) el estudiante ha dibujado fuerzas de fricción, es decir que ha desaparecido el efecto D-D (Caldas y Saltiel, 2001).

La utilización de los diagramas fragmentados muy seguramente contribuyó a no olvidar que toda interacción involucra un par de acciones recíprocas (tercera ley de Newton) y por eso ya no se tienen fuerzas solitarias. Por ejemplo, en el diagrama realizado por FA, se observan la fuerza de contacto que ejerce el celular 3 sobre el celular 2 (la reacción a la fuerza de contacto del celular 2 sobre el celular 3), denominada fuerza normal N_3 .

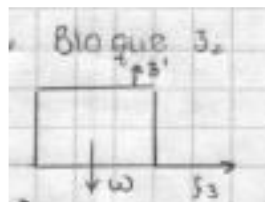


Diagrama realizado por FA

Los estudiantes reconocen que la fricción estática puede jugar un papel motriz y ya no es opuesta a la fuerza externa F . Al parecer el modelo de las superficies de contacto (trabajado en el segundo ciclo de modelización de la unidad didáctica) como superficies llenas de asperezas rígidas con perfil de diente de sierra contribuye a hacer el tránsito desde la visión local a una global realizando una simple suma de fuerzas. Probablemente el modelo actúa como una especie de catalizador para la comprensión, el cual posteriormente (cuando ya no sea útil) se puede abandonar (Besson y Viennot, 2004).

Otra ventaja del modelo mesoscópico es su cercanía con el modelo explicativo inicial de los estudiantes, pues todos asocian la fricción con la rugosidad o asperezas de las superficies. Así que su carácter intuitivo y visual de este modelo es lo que ayuda al estudiante enriquecer su modelo explicativo inicial para poder avanzar hacia la distinción entre área real y el área aparente de contacto, distinción necesaria para construir el modelo a escala microscópica.

Escala microscópica

Se observa que ahora los MEf incluyen las interacciones entre las moléculas de las dos superficies en contacto durante el fenómeno de la fricción. Sin embargo, este avance no es suficiente para conectar los detalles de las interacciones locales con una visión global que le permita identificar qué fuerza de fricción está actuando (ver Tabla 9)

Se advierte un mayor nivel de complejidad en cuanto a incluir aspectos relevantes como composición y estructura para explicar el mecanismo que produce la fricción. Se presume que incluir el ciclo de diseño en la unidad didáctica dedicada al estudio de la cinta Gecko (la cual no obedece las leyes clásicas de la fricción) posibilitó desarrollar la idea clave de interacciones moleculares teniendo lugar en aquellas regiones separadas por unos pocos nanómetros (área real de contacto) a lo largo de la interfaz. La respuesta a la pregunta A1 dada por SOL sirve de ejemplo.

“La segunda razón está relacionada con lo anteriormente mencionado, es ya respecto al materia, y no solo eso, también a su diseño y composición a nivel meso o microscópico, debido a que si se quiere un diseño más resistente se debe buscar una estructura nano organizada de manera diferente”

6.3 EVOLUCIÓN DE LOS MODELOS EXPLICATIVOS

Para dar respuesta a la pregunta de investigación se comparan los modelos explicativos iniciales y finales.

En la tabla 11 se observa que RE es el único estudiante que continua en un modelo explicativo intuitivo. Por otra parte, cuatro estudiantes (DO, FA, SOL y MI) alcanzan un modelo explicativo sintético. El estudiante SI pasa de un molde explicativo sintético al modelo explicativo científico. Finalmente, MI es quien consigue un mayor cambio en su modelo explicativo, al pasar de un modelo explicativo intuitivo a un modelo explicativo científico.

Tabla 11 Comparación de los modelos explicativos inicial y final

Estudiante	MEi	MEf
DO	M1	M2
RE	M1	M1
MI	M1	M3
FA	M1	M2
SOL	M1	M2
LA	M1	M2
SI	M2	M3

Nota: Elaboración propia

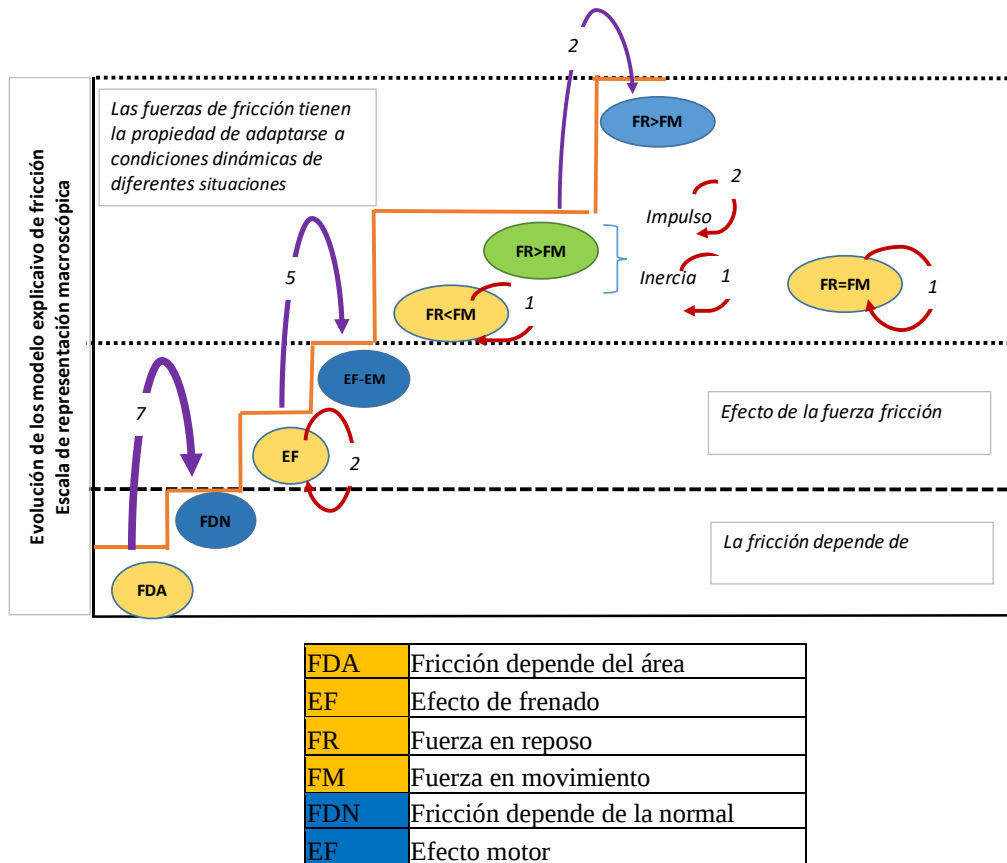
Una vez se ha realizado la identificación de los modelos explicativos inicial y final, se realiza una representación gráfica como se presenta en las figuras 7, 8 y 9. Las líneas punteadas permiten separar cada indicador y el peldaño de la escalera entre las líneas punteadas sirve para diferenciar la situación inicial y final. Las flechas curvas representan la evolución desde los modelos explicativos iniciales hasta los modelos reelaborados alcanzados al terminar la unidad didáctica bajo el enfoque STEM. El grosor de las flechas da información sobre el número de estudiantes que realizaron esta evolución.

La figura 7 es fácil reconocer que el mayor problema para los estudiantes está en establecer la diferencia entre la fuerza de fricción cinética y la fricción estática. Cabe aclarar que para percatarse de esta diferencia se requiere transitar del modelo de fricción causada por las interacciones mecánicas a nivel atómico hacia la fricción causada por las interacciones moleculares.

Tal como se expuso, el estudiante al momento de definir la dirección de la fuerza de fricción estática no puede recurrir a la dirección de movimiento relativo entre las superficies (en este caso la velocidad relativa es cero). En cambio, debe reflexionar que, si la fuerza externa es nula en este caso las interacciones moleculares generan solo fuerzas en la dirección perpendicular a cada superficie de contacto (fuerza normal) y las componentes

tangenciales son cero. Por el contrario, cuando se aplica una fuerza externa muy seguramente ocurren desplazamientos relativos microscópicos locales, de modo que ahora las interacciones moleculares si tienen una componente tangencial a las superficies de contacto.

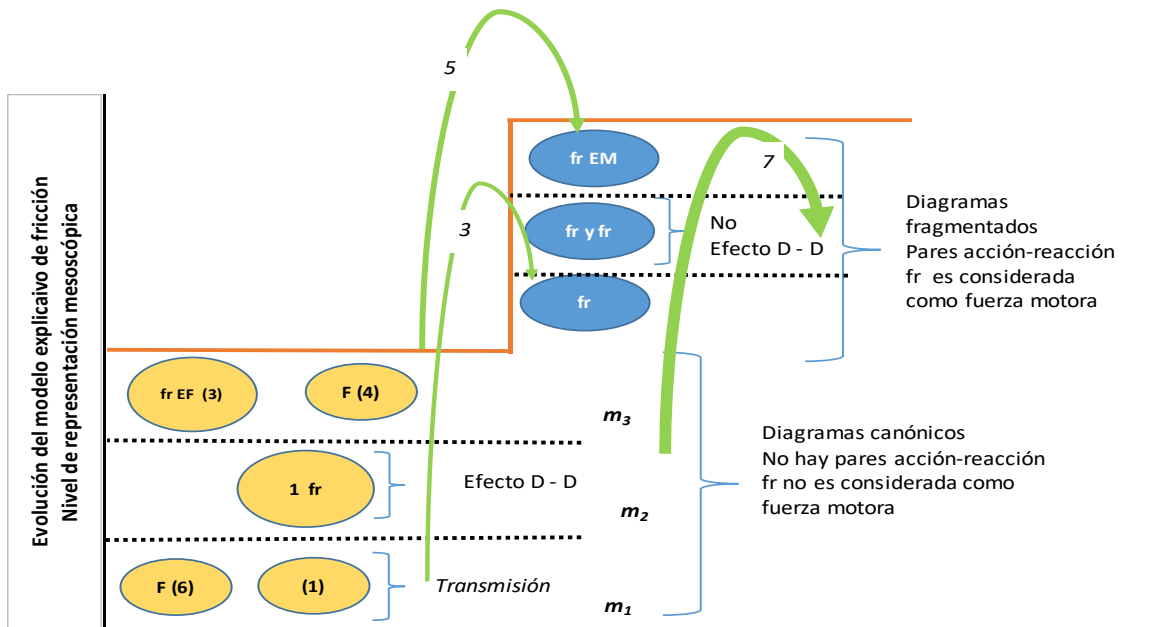
Ilustración 7 Esquema de la evolución: escala macroscópica



Nota: elaboración propia

La figura 8 muestra que el incluir un análisis cualitativo de lo que ocurre a nivel mesoscópico en verdad ayuda a profundizar en la naturaleza del fenómeno de las fuerzas de fricción.

Ilustración 8 Esquema de la evolución: escala mesoscópica

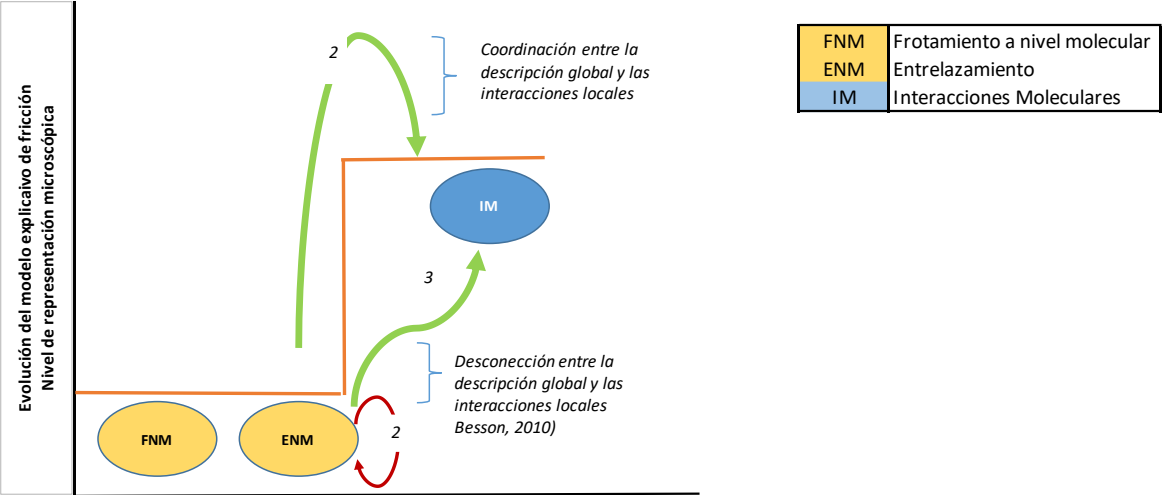


F	Fuerza externa
	No dibuja fuerzas tangenciales
fr	Fuerza de fricción
fr EF	Fricción efecto de frenado
fr yfr	Fuerza de fricción en superficie inferior y superior
fr EM	Fricción efecto motor

Nota: elaboración propia

En definitiva, la comparación de las figuras 7 y 9 confirmar el vínculo estrecho entre la escala macroscópica y la escala microscópica.

Ilustración 9 Esquema de la evolución: escala microscópica



Nota: elaboración propia

7 CONCLUSIONES

Con respecto a la pregunta de investigación: ¿Cómo influye la implementación de una unidad didáctica bajo el enfoque STEM en la evolución de los modelos explicativos sobre la fuerza de fricción en estudiantes de ingeniería?, los resultados de la investigación permiten concluir que:

Implementar una unidad didáctica bajo el enfoque STEM donde el estudiante vive en primera persona la práctica de modelar y diseñar, la primera propia de las ciencias y la segunda de la ingeniería, influye positivamente en la evolución de sus modelos explicativos iniciales de fricción. La evolución se ve reflejada en su capacidad de relacionar fenómenos tan diversos como: desgaste de unas escaleras metálicas, posibilidad de caminar, aumento de la accidentalidad de los motociclistas en una vía y las particularidades asombrosas de la cinta Gecko; y los interpreta desde una misma perspectiva abstracta (interacciones moleculares).

Los modelos explicativos iniciales son principalmente intuitivos. Tienen los siguientes aspectos en común: primero, las fuerzas de fricción se asumen como “resistentes” o de “oposición” al movimiento observado desde un sistema de referencia fijo. Segundo, a cada interacción de contacto le corresponde una sola fuerza (no se incluye la reacción) y sólo se contempla la superficie inferior de contacto (efecto D-D). Por último, para explicar lo que causa la fricción a nivel microscópico se recurre a la rugosidad de las superficies.

Por otra parte, en los modelos explicativos finales son principalmente sintéticos. Tienen los siguientes aspectos es común: primero, se contempla la posibilidad de la fricción como fuerza motora. Segundo, la fuerza de fricción igual que cualquier otra fuerza proviene de la interacción entre dos objetos y por ello siempre se forma el par acción-reacción, actuando cada una de estas fuerzas sobre cada objeto de la interacción. Tercero, aceptan situaciones donde también existe fricción en la superficie superior de un cuerpo. Por

último, algunos estudiantes recurren a las fuerzas locales a nivel molecular en los puntos de contacto para explicar el origen de la fricción.

Se debe aceptar que aún persisten dificultades para reconocer que las fuerzas de fricción se adaptan a las condiciones dinámicas de contacto a nivel local, por tanto, su magnitud y dirección no se pueden definir en todos los casos a priori.

8 RECOMENDACIONES

Realizar esfuerzos en la identificación de los modelos explicativos iniciales que construyen los estudiantes para interactuar con el mundo, para aprovecharlos y usarlos como punto de partida en el diseño de unidades didácticas que posibiliten la reinterpretación de los fenómenos físicos y con ello una evolución de sus modelos explicativos.

A nivel metodológico, se recomienda desarrollar un estudio de caso, donde se evidencie de manera comprensiva la evolución de los modelos explicativos de la fricción logrados con la aplicación de la unidad didáctica bajo el enfoque STEM y también se pueda identificar qué actividades de la unidad didáctica propuesta fueron claves para potenciar la evolución del modelo de fricción de los estudiantes.

En cuanto al instrumento de lápiz y papel, evaluar si se requiere replantear la pregunta B1 o toda la situación B para garantizar que los datos recopilados no sean “influenciados” por la inclusión de aspectos como los riesgos ergonómicos cuando se realizan actividades de empujar o jalar la caja con libros.

Realizar estudios sobre modelos explicativos desglosados en el nivel de representación macroscópica, mesoscópica y microscópica para abordar otras temáticas importantes de la física como el caso de la estática de fluidos, dado que en la literatura se reportan escasos trabajos que aborden la conexión entre estos tres niveles de representación.

Incluir en la unidad didáctica avances recientes a nivel de simulación para mostrar la relación fundamental entre la fricción estática y la energía potencial; y la relación entre la energía cinética y la degradación de la energía, para evaluar si estas herramientas contribuyen en la evolución de los modelos explicativos a nivel microscópico de la fricción.

9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adúriz_Bravo, A., & Izquierdo-Aymerich, M. (2019). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Ciencia Digital*, 9(26), 40-49.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=273320452005%0Ahttps://www.redalyc.org/jatsRepo/4418/441857903006/441857903006.pdf%0Ahttps://www.bps.go.id/dynamictable/2018/05/18/1337/persentase-panjang-jalan-tol-yang-beroperasi-menurut-operatornya-2014.html>
- Adúriz-Bravo, A. (2019). Semantic Views on Models: An Appraisal for Science Education. En *Towards a Competence-Based View on Models and Modeling in Science Education*.
- Adúriz-Bravo, A., & Izquierdo-Aymerich, M. (2003). Epistemological Foundations of School Science. *Science & Education*, 12(1), 27-43.
- Besson, U. (2001). Work and energy in the presence of friction: The need for a mesoscopic analysis. *European Journal of Physics*, 22(6), 613-622. <https://doi.org/10.1088/0143-0807/22/6/306>
- Besson, U. (2010). Calculating and understanding: Formal models and causal explanations in science, common reasoning and physics teaching. En *Science and Education* (Vol. 19, Número 3). <https://doi.org/10.1007/s11191-009-9203-9>
- Besson, U. (2013). Historical scientific models and theories as resources for learning and teaching: the case of friction. *Science & Education*, 22(5), 1001-1042.
- Besson, U., Borghi, L., De Ambrosis, A., & Mascheretti, P. (2007). How to teach friction: Experiments and models. *American Journal of Physics*, 75(12), 1106-1113.
- Besson, U., & Viennot, L. (2004). Using models at the mesoscopic scale in teaching physics: Two experimental interventions in solid friction and fluid statics.

International Journal of Science Education, 26(9), 1083-1110.

<https://doi.org/10.1080/0950069042000205396>

Caldas, H., & Saltiel, E. (2001). *Resumo Por outro lado , os estudantes têm bastante dificuldade em localizar corretamente sobre que objeto as forças de contato agem . Sobre este assunto Menigaux (1986) mostrou que : 03, 1-21.*

Caldas, H., & Saltiel, É. (1995). Le frottement cinétique : analyse des raisonnements des étudiants. *Didaskalia*, 6(1), 55-71. <https://doi.org/10.4267/2042/23754>

Caldas, H., & Saltiel, É. (2000). Le frottement statique : analyse des raisonnements des étudiants / Static friction : students' ways of reasoning. *Didaskalia*, 17(1), 9-27. <https://doi.org/10.4267/2042/23892>

Cisterna Cabrera, F. (2005). Categorización Y Triangulación Como Procesos De Validación Del Conocimiento En Investigación Cualitativa Categorization and Triangulation As Processes of Validation of Knowledge in Qualitative Investigations. *Theoria*, 14(1), 61-71.

Corpuz, E. (2006). Student's modeling of friction at the microscopic level [KANSAS STATE UNIVERSITY]. En *Transportation* (Vol. 1, Número January). <https://doi.org/10.1002/ejoc.201200111>

Corpuz, E. D., & Rebello, N. S. (2011). Investigating students' mental models and knowledge construction of microscopic friction. I. Implications for curriculum design and development. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 7(2), 20102.

Couso, D., & Simarro, C. (2020). STEM Education Through the Epistemological Lens. En C. Johnson, M. Mohr-Schroeder, T. Moore, & L. English (Eds.), *Nature Inspired Computing for Economics and Management*. Routledge.

- Develi, F., & Namdar, B. (2019). Defining Friction Force: A Proposed Solution to a Textbook Problem. *Journal of Education in Science Environment and Health*.
<https://doi.org/10.21891/jeseh.487399>
- Garrido Espeja, A., Couso, D., & Universitat Autònoma de Barcelona. Departament de Didàctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals. (2016). Modelització i models en la formació inicial de mestres de primària des de la perspectiva de la pràctica científica. En *TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)*.
<http://www.tdx.cat/handle/10803/399837>
- Giere, R. N. (2004). How models are used to represent reality. *Philosophy of Science*, 71(5), 742-752. <https://doi.org/10.1086/425063>
- Gómez, A. A. (2008). Las concepciones alternativas, el cambio conceptual y los modelos explicativos del alumnado. En C. Merino, A. Gómez, & A. Adúriz-Bravo (Eds.), *Áreas y estrategias de investigación en la didáctica de las ciencias experimentales* (Número January 2008, pp. 11-22).
- Gómez, A. A., Sanmartí, N., & Pujol, R. M. (2008). Fundamentación teórica y diseño de una unidad didáctica para la enseñanza del modelo ser vivo en la escuela primaria. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 25(3), 325-340. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3699>
- Gutierrez, R. (2014). Ciencia Conocen Y Necesitan Conocer Acerca De Los Modelos : Aproximaciones Y. *Bio-Grafía*, 7(N 2027-1034.), 37-66.
- Harlen, W. (2010). *Grandes ideas de la ciencia* (W. Harlen (ed.)).
[http://innovec.org.mx/home/images/Grandes Ideas de la Ciencia Español 20112.pdf](http://innovec.org.mx/home/images/Grandes_Ideas_de_la_Ciencia_Español_20112.pdf)
- Herrera, C. D. (2018). Qualitative research and thematic content analysis. Intellectual orientation of Universum journal. *Revista General de Informacion y Documentacion*, 28(1), 119-142. <https://doi.org/10.5209/RGID.60813>

- Izquierdo Aymerich, M., & Adúriz-Bravo, A. (2021). Contribuciones de Giere a la reflexión sobre la educación científica. *ArtefaCToS. Revista de estudios sobre la ciencia y la tecnología*, 10(1), 75-87. <https://doi.org/10.14201/art20211017587>
- Kızılcık, H. Ş., Aygün, M., Şahin, E., Önder-Çelikkanlı, N., Türk, O., Taşkın, T., & Güneş, B. (2021). Possible misconceptions about solid friction. *Physical Review Physics Education Research*, 17(2), 1-20. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.023107>
- Knuuttila, T. (2005). Models as epistemic artefacts: Toward a non-representationalist account of scientific representation. En *Philosophical Studies* (Número January 2005). <http://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/19380/modelsas.pdf?sequence=2>
- Knuuttila, T. (2011). Modelling and representing: An artefactual approach to model-based representation. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 42(2), 262-271. <https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2010.11.034>
- Kurnaz, M. A., & Eksi, C. (2015). An Analysis of High School Students' Mental Models of Solid Friction in Physics. *Educational Sciences: Theory and Practice*, 15(3), 787-795.
- López, A. M., Orrego, M., & Tamayo, Ó. E. (2016). Modelos explicativos y su relación con las concepciones alternativas de estudiantes universitarios sobre inmunología. *Revista Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 0(Extra), 1049-1057.
- López, A. M., & Tamayo, Ó. E. (2018). Modelización multidimensional desde un enfoque artefactual : aportes al aprendizaje de la evolución biológica de las especies. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 0(Extraordinario). <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/8928>
- López, S., & Covadela, R. (2005). Ideas de los estudiantes sobre los conceptos de fuerza y fuerza de fricción. *Revista Educación y Pedagogía*, 17(43), 197-206. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2239060.pdf> <https://dialnet.unirioja.es/>

servlet/extart?codigo=2239060

- López y Mota, Á. D. (2019a). Modelos científicos escolares : el caso de la obesidad humana. En *Modelos científicos escolares : el caso de la obesidad humana*.
<https://doi.org/10.47380/upnmx.libadlm000058>
- López y Mota, Á. D. (2019b). Secuencias didácticas y el contenido de enseñanza. En Á. D. Lopez y Mota (Ed.), *Modelos científicos escolares : el caso de la obesidad humana*.
<https://doi.org/10.47380/upnmx.libadlm000058>
- Martin, J. M. (2006). Hacia el rozamiento cero. *Investigación y Ciencia*, 357, 70-75.
- Moreira, M. A., Greca, I. M., & Rodríguez, M. (2002). Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza & aprendizaje de las ciencias. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, Porto Alegre*, 2(3), 37-57.
- Morgan, M., & Morrison, M. (1999). *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Science (Ideas in Context)*.
- Orrego, M., López, A., & Tamayo, O. (2013). Evolución de los modelos explicativos de fagocitosis en estudiantes universitarios. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos* , 9(1), 79-106.
- Ortiz-Revilla, J., Greca, I. M., & Adúriz-Bravo, A. (2019). The philosophy in/of integrated STEM education. En F. Seroglou & V. Koulountzos (Eds.), *Proceedings of the 15th international conference IHPST. Re-introducing science Sculpting the image of science for education and media in its historical and philosophical background* (pp. 509-517).
- Osborne, J. (2014). Teaching Scientific Practices: Meeting the Challenge of Change. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 177-196.
<https://doi.org/10.1007/s10972-014-9384-1>

- Passmore, C., Svoboda, J., & Giere, R. (2014). International handbook of research in history, philosophy and science teaching. En *Models in Science and in Learning Science: Focusing Scientific Practice on Sense-making* (pp. 1-2532).
<https://doi.org/10.1007/978-94-007-7654-8>
- Pereda-García, S., & López y Mota, Á. (2016). Propuesta de modelización para abordar los fenómenos electrostáticos en alumnos de secundaria. *Am. J. Phys. Educ*, 10(3).
<http://www.lajpe.org>
- Peretti, L., Furci, V., & Trinidad, O. (2019). Algunas reflexiones filosóficas y didácticas en torno a propuestas STEM como contexto de enseñanza de las ciencias naturales: Potencialidades y riesgos de un movimiento hegemónico. *1º Congreso Internacional de Ciencias Humanas-Humanidades entre pasado y futuro*.
- Pickett, G. T. (2015). *A Pedagogical Model of Static Friction*. 1-8.
<http://arxiv.org/abs/1507.04015>
- Ringlein, J., & Robbins, M. O. (2004). Understanding and illustrating the atomic origins of friction. *American Journal of Physics*, 72(7), 884-891.
<https://doi.org/10.1119/1.1715107>
- Sanmartí, N. (2000). El diseño de unidades didácticas. En F. Perales Palacios & P. Cañal de león (Eds.), *Didáctica de las ciencias experimentales*.
- Simarro, C., & Couso, D. (2021). Engineering practices as a framework for STEM education: a proposal based on epistemic nuances. *International Journal of STEM Education*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-021-00310-2>
- Tamayo, O., & Sanmartí, N. (2007). High-school students' conceptual evolution of the respiration concept from the perspective of Giere's cognitive science model. *International Journal of Science Education*, 29(2), 215-248.
<https://doi.org/10.1080/09500690600620854>

Viennot, L. (2003). Contact, friction and propulsion. En L. Viennot (Ed.), *Nature* (Vol. 293, Número 5831, p. 368). <https://doi.org/10.1038/293368b0>

10 ANEXOS

ANEXO 1 INSTRUMENTO INICIAL

Estimado estudiante con la entrega de este instrumento inicial, lo invito a participar en la investigación que estoy realizando para optar al título de Maestría en Enseñanza de las Ciencias en la Universidad Autónoma de Manizales.

Con total tranquilidad pueden decidir no participar en el estudio pues no habrá ninguna consecuencia desfavorable.

*Recuerde que si bien esta actividad no será calificada es muy importante para la investigación que **exprese de manera libre sus valiosas ideas.***

Nombre _____

Situación A

La fotografía muestra las escaleras metálicas de una estación del Transmilenio. Observa la diferencia en el grado de desgaste en los escalones.

El material seleccionado para construir los peldaños fue aluminio que es ligero, duradero y resistente a la intemperie, garantizando una vida útil prolongada. Pero el desgaste asimétrico por su uso ha obligado a cambiar el diseño, lo que se convierte en un reto de ingeniería.

Ilustración 10 Fotografía escalares de acceso a una estación de Transmilenio



Nota: elaboración propia

A1. ¿Por qué crees que hay mayor desgaste en el lado que usamos para ascender por la escalera?

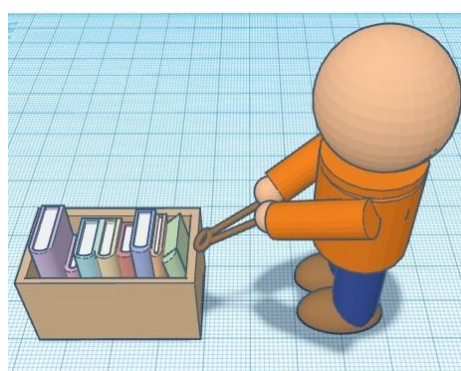
A2. Si está lloviznando y vamos a usar esta escalera, ¿qué precauciones tendrías para subir? ¿tendrías las mismas precauciones para bajar? ¿Por qué?

Situación B.

Se requiere deslizar (o arrastrar) una caja llena de libros dentro de una oficina

B1. ¿Preferías **empujar** o **jalar** la caja? ¿Por qué?

Ilustración 11 Empujar o jalar una caja con libros



Empujar

Jalar

Nota: elaboración propia

B2. ¿Propondrías otra alternativa para mover la caja? ¿Cuál y por qué?

B3. ¿La fuerza que se debe ejercer sobre la caja de libros en reposo para que inicie el movimiento es mayor, menor o igual a la fuerza que hay que ejercer una vez está en movimiento? ¿Por qué?

B4. Dibuja como se vería una sección de 1 cm x 1 cm de la superficie de la caja que no está contacto con el piso.

B5. Ahora si nos concentramos en una porción de 1mm x1mm de su dibujo (es decir 1/100 de todo el boceto), ¿cómo crees que se vería esta parte si se magnifica 100 veces? Realiza el dibujo

B6. Si nuevamente, solo consideras 1/100 de lo que acabas de dibujar. ¿Cómo se vería esta porción si se magnificara 100 veces? Realiza el dibujo

B7. Si continúas haciendo el proceso de ampliación, ¿crees que habrá un punto en el que el dibujo se vería significativamente diferente a los realizados hasta ahora?

B8. Ahora, cuando la superficie de la caja descansa sobre el piso, ¿cambiarían los dibujos realizados anteriormente? Si es así, realizar los nuevos dibujos.

B9. ¿Podrías explicar qué sucede entre las dos superficies cuando se intenta deslizar la caja sobre el piso?

Situación C

Un video muestra tres celulares uno encima del otro colocados sobre una mesa. Se ejerce una fuerza externa F sobre el celular del medio (2) , de tal forma que los tres celulares se mueven juntos (la misma aceleración con respecto a la mesa).

Ilustración 12 Sistema de tres celulares



Nota: elaboración propia

C1. Dibuja las fuerzas que crees se ejercen sobre el celular que está en contacto con la mesa (celular 1). ¿Cuál es la dirección de movimiento del celular 1 en relación con la mesa?

C2. Dibuja las fuerzas que crees se ejercen sobre el celular del medio (celular 2). ¿Cuál es la dirección de movimiento del celular 2 en relación con la mesa?

C3. Dibuja las fuerzas que crees se ejercen sobre el celular superior (celular 3). ¿Cuál es la dirección de movimiento del celular 3 en relación con la mesa?

Situación D

Cultura vial.net publicó la siguiente nota:

Ilustración 13 Motociclista accidentado



Vía Bogotá-Girardot, con señalización horizontal peligrosa (Foto: José Alejandro Torres Sicachá, motociclista accidentado)

“La calidad de las pinturas utilizadas para la demarcación horizontal de vías y carreteras de Colombia, en algunos, casos es una invitación al riesgo, a las lesiones y a la muerte.

Así sucede en la concesión de la vía Bogotá – Girardot a la altura de la llamada «Nariz del Diablo», en cercanías del municipio de Melgar.

La situación: cuando la doble calzada comenzó a funcionar, dejó de ser necesario el doble sentido en la vía, pero la demarcación ya existía. La concesión, entonces, decidió pintar la doble línea amarilla con pintura negra y en el centro pintar la nueva demarcación con pintura blanca en líneas punteadas, para el nuevo único sentido en la carretera.

Sin embargo, la concesión pintó la doble línea amarilla (para taparla), con pintura negra que hace que los motociclistas resbalen, especialmente cuando hay lluvia o llovizna y la vía está mojada.

Esto aumenta la peligrosidad de esta vía y el riesgo de accidentalidad en motociclistas.

¿Qué dirá la Agencia Nacional de Infraestructura y la interventoría que debe ejercer a la concesión vial?

¿Cuántos motociclistas lesionados más se requerirán para que se repare el error?

Este tipo de decisiones están lejos de contribuir con la promoción de una cultura vial para la vida.”

E1. ¿Qué pruebas podríamos realizar para comprobar que el tipo de pintura utilizada para cambiar la demarcación en la vía explica el aumento de accidentalidad para los motociclistas en este tramo?

ANEXO 2 UNIDAD DIDÁCTICA

OBJETIVO DE LA UNIDAD DIDÁCTICA

Desarrollar la capacidad para pasar de formas macroscópicas de explicación de las fuerzas de fricción a formas mesoscópicas y microscópicas, para poder predecir fenómenos cotidianos.

Proyecto STEM

La empresa de distribución urbana Correcaminos SAS ha decidido desarrollar una nueva línea de negocio que consiste en transportar productos frágiles de bajo peso y volumen aprovechando la capacidad sobrante de sus vehículos.

Dada esta condición, los vehículos no pueden ser acondicionados con anclajes de donde se aseguran las correas o las redes necesarias para que la carga no se mueva. La gerente de operaciones ha estado ponderando opciones para mantener la carga de forma segura durante el transporte.

Muchas de las opciones que le han presentado resultan conocidas para ella, sin embargo, un nuevo producto llamó su atención, una cinta que no utiliza adhesivos y que se podría asegurar a la lámina del piso de los vehículos.

La gerente desea saber si esta es una opción viable y para esto desea obtener un estudio de prefactibilidad por parte de estudiantes del curso de Física Mecánica de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

Las condiciones que debe cumplir el estudio del novedoso material:

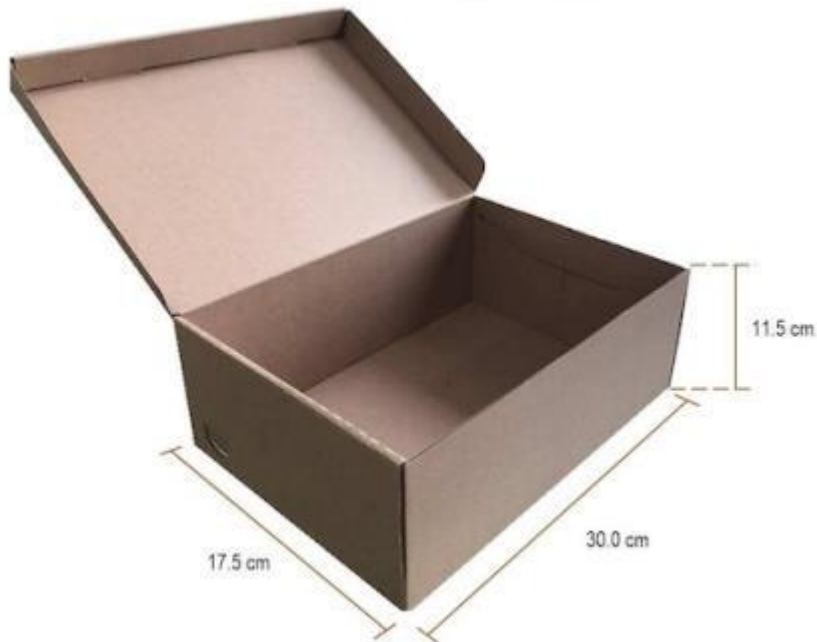
- Dimensiones caja

Largo: 30 cm

Ancho: 17,5 cm

Alto: 11,5 cm

Ilustración 14 Dimensiones de la caja



- Peso máximo: 5 kg
- Condiciones de tránsito

Velocidad promedio de 35 Km/h y pendiente máxima de 10°

Objetivo del primer ciclo de modelización: Utilizar modelos explicativos para predecir los efectos de la fuerza de fricción entre superficies.

Este ciclo de modelización se lleva a cabo en tres sesiones de clase, cada una con una duración de hora y media.

SESIÓN DE CLASE N° 1

ACTIVIDAD	FASE DE LA SECUENCIA
¿Qué pasaría si las fuerzas de fricción no existieran? Reflexiona sobre si es posible realizar en ausencia de la fricción actividades diarias simples como: caminar, jugar al fútbol, tomar una curva con la bicicleta cuando me dirijo a la universidad, o llevar los platos y el vaso de juego del almuerzo en la bandeja. Se presenta a los estudiantes dos fotografías. La primera corresponde a una calle con una pendiente promedio de 13° en la ciudad de Manizales, donde se puede identificar a varias personas ascendiendo. También muestra varios vehículos estacionados en uno de los costados de la calle. De manera similar la segunda fotografía ilustra a varios vehículos estacionados en una vía con gran inclinación en San Francisco. Ilustración 15 Calle empinada de Manizales 	Necesidad de un modelo.

Ilustración 16 Calle de Sanfrancisco



¿Cómo explicar que los vehículos permanezcan estacionados a pesar de estar sobre una calle con gran pendiente?

En las fotografías se observa tanto vehículos tipo automóvil como camionetas.

En la imagen que muestra una calle de Manizales se identifica un automóvil Nissan March y una camioneta Ford Explorer.

La ficha técnica de cada vehículo nos da información sobre sus dimensiones, peso y capacidad.

	Automóvil Nissan March	Camioneta Ford Explorer
Largo total (m)	3,826	5,533
Ancho total	1,666	2,372
Altura total	1,528	1,491
Peso bruto del vehículo (kg)	1377	3379
Llantas y rines	175 / 60 R15"	275/55R 20 A/S R22"

De las especificaciones anteriores de cada vehículo, ¿cuáles crees que puedan ser variables que afectan a la fuerza de fricción experimentada por cada vehículo?

Expresar el modelo

SESIÓN DE CLASE N° 2

En grupos de 4 estudiantes se plantea un experimento similar al de los vehículos sobre una pendiente. El experimento consiste un plano inclinado al que se le puede cambiar el ángulo (mesa de dibujo). Cada grupo cuenta con bloques de madera de diferentes dimensiones y sobre una de las superficies se ha pegado papel lija. Para cada bloque y cada superficie, se debe ir modificando el ángulo de inclinación (lentamente) hasta alcanzar el ángulo crítico donde el bloque inicia a moverse. La medida del ángulo se realiza utilizando el dispositivo móvil. Cada grupo pone a prueba las variables que consideró afectan a la fricción de los vehículos que se estacionan sobre una vía con pendiente.	Evaluar el modelo
--	--------------------------

SESIÓN DE CLASE N° 3

Los estudiantes analizan los resultados del experimento y deciden si deben cambiar el listado de variables que afectan la fuerza de fricción.	Revisar el modelo
Cada estudiante escribe una conclusión sobre los factores que afectan la fuerza de fricción.	Expresar un modelo consensuado
Analiza la siguiente situación: Una persona que camina en un escenario simplificado: el caminante utiliza la acción de una pierna en el suelo para acelerar, mientras la otra pierna está en el aire. Realiza el diagrama de fuerzas para cuando el caminante acelera	Usar el modelo para predecir o explicar un nuevo fenómeno

	
¿Cómo hace el suelo (que no se mueve) para empujar al caminante?	Expresar el modelo
Imagina el suelo y el zapato del caminante como superficies ásperas rígidas entrelazadas con un perfil de diente de sierra (ver imagen). Se aclara a los estudiantes que esta forma de imaginar las superficies es incompleto (inadecuado para realizar un estudio energético del sistema) y provisional  ¿Qué caras de los “dientes de sierra” crees que entran en contacto, si la persona acelera? Realiza un diagrama de fuerzas de contacto.	Poner a prueba el modelo
¿Puedes utilizar este diagrama para explicar cómo el suelo empuja al caminante?	Revisar el modelo
Realice un gráfico que muestre cómo la fuerza de fricción cambia con la rugosidad de las superficies en contacto. Explica el gráfico propuesto.	Expresar un modelo consensuado
En el mercado de forros para celulares encontramos los de silicona blanda y los de vinilo. ¿En el gráfico anterior en qué parte de la gráfica ubicarías cada forro?	Necesidad de un modelo

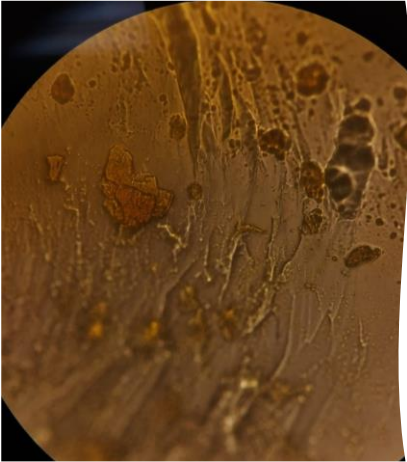
Si repetimos el experimento del plano inclinado, pero ahora en lugar de utilizar un bloque de madera sobre la superficie de la mesa de dibujo, colocamos un bloque muy bien pulido de aluminio sobre un plano también de aluminio. ¿Esperas que el ángulo crítico para estas dos superficies sea diferente al obtenido para el bloque de madera sobre el plano de madera?	Usar el modelo para predecir o explicar un nuevo fenómeno
Compara la suavidad de las superficies del bloque de bronce y el palo de aluminio con la del bloque de madera y el plano de madera. Realiza un boceto de los dos pares de superficies (bloque de bronce y plano de aluminio) que están en contacto sin deslizamiento relativo, en una escala que se pudieran ver los átomos de las dos superficies en interacción.	Necesidad de un modelo
Coloca una hoja de papel sobre una hoja de acetato y desliza la hoja de papel. ¿Esperas notar algún cambio en la fuerza necesaria para deslizar la hoja de papel si previamente se arruga y luego se trata de aplanar (desarrugar)? Reflexiona sobre si el área de interacción entre las dos superficies es necesariamente el área visible de las superficies.	Poner a prueba el modelo
¿Qué puede pasar con la fuerza requerida para deslizar el acetato si previamente este se frota con un paño de microfibra o con un el suéter de lana? ¿Qué crees que ocurrió a nivel atómico en la interacción de la hoja de acetato frotada con el paño de microfibra y la hoja de papel?	Revisar el modelo
Reflexiona si el gráfico realizado para mostrar la relación entre la fuerza de fricción y la rugosidad de las superficies en contacto es consistente con los resultados de las actividades realizadas.	Expresar un modelo consensuado
Video: Cómo hacer un cabrestante de supervivencia. En el video muestra a un joven que logra mover un vehículo aproximadamente 1700 kg de masa, usando una cuerda y dos palos largos y resistentes. https://www.youtube.com/watch?v=YgZ2gdGBvDQ	Usar el modelo para predecir o explicar un nuevo fenómeno

¿Crees que el video es real? ¿Cómo explicar que con la fuerza humana de un joven se pueda mover un vehículo de 1700 kg?	
---	--

Objetivo: Estudiar la estructura jerárquica en la nanoescala de la cinta Gecko y sus posibles aplicaciones para reemplazar los mecanismos tradicionales de sujeción de carga.

ACTIVIDAD Una empresa de transporte de mercancía ha solicitado ayuda para determinar las ventajas y desventajas de reemplazar los elementos de sujeción y amarrados tradicionales de la carga por la utilización de un material sintético microestructurado bionspirado con peculiares propiedades tribológicas. La cinta imita las extraordinarias propiedades adhesivas de los Geckos. Ilustración 17 Cinta Gecko  Clarifica la información disponible, separando la información relevante de aquella redundante del problema planteado.	Comprender el problema
Elaborar un listado de ideas que posteriormente compartirá con su equipo de trabajo. Se recomienda construir modelos gráficos, esquemas o dibujos que ayuden a expresar las ideas de cada estudiante. 	Imaginar posibles soluciones

Los Geckos son trepadores extraordinarios, pueden correr por paredes y techos sin importar el grado de aspereza de las superficies. ¿Cómo logran estas propiedades adhesivas? La siguiente página pone a disposición de una base de datos de laminillas virtuales para el análisis de las estructuras histológicas, que se observarían con el uso de un microscopio electrónico. Para el caso de interés se observa la laminilla que corresponde al dedo del Gecko.  http://www.downthescope.co.uk/ Compara las imágenes mostradas por el microscopio electrónico con la obtenida con un microscopio óptico. Muestra preparada con lugol Microscopio a 40x	
La selección de una de una idea como posible solución deberá cumplir con las restricciones impuestas al problema. Cada grupo definirá la estrategia que les permita reconocer cuáles de las ideas dan cumplimiento (y en qué nivel) de las características de la solución deseadas. Explora si existe alguna superficie sobre la cual la cinta Gecko no se adhiera. Lava la cinta y luego de estar seca revisa si sus propiedades han sido modificadas.	Desarrollar soluciones

Ilustración 18 Imagen con un microscopio óptico  Nota: elaboración propia.	
Se procede a la elaboración del prototipo. Para la evaluación se debe definir el proceso de prueba que el grupo considera les permitirá verificar el cumplimiento de las especificaciones.	Probar y evaluar la solución
Esta etapa es muy importante pues propicia la reflexión en torno a como las restricciones son una invitación a la creatividad. La esencia del diseño se materializa en la capacidad para superar las restricciones impuestas mediante soluciones creativas.	Rediseñar