

**Prácticas de modelización de la interacción térmica entre cuerpos mediante
analogías cromáticas en educación media**

Oscar Andrés Mora Muñoz

Directora: Rosa Nidia Tuay Sigua

Trabajo de grado para optar al título de Licenciado en Física

Universidad Pedagógica Nacional
Departamento de Ciencia y Tecnología
Licenciatura en Física
Bogotá, Mayo de 2026

Agradecimientos

A la Dra. Nidia Tuay, por su orientación a lo largo de este proceso y por sus aportes, que fueron clave para darle forma a este trabajo, incluso en los momentos en que tocó replantear varias cosas.

Al maestro German Bautista, por sus tertulias enfocadas en la construcción de conocimiento y su forma de ver tanto la física como la vida.

A mis padres Carlos y Nohora, por ser ejemplo de vida, por sus enseñanzas, por el respaldo constante, por estar ahí incluso cuando el proceso se hacía pesado.

A mi pareja Angie Paola, por la paciencia, el acompañamiento y ser el polo a tierra durante todo este tiempo.

Al Colegio Nuestra Señora de la Paz, a la comunidad y en especial a la Hermana Yolanda Vivas y la Hermana Isabel Acosta, por la acogida y el apoyo brindado en este proceso

Y al Magíster Rodrigo, por el apoyo, revisiones y por las conversaciones que también hicieron parte de este camino.

Tabla de contenido

Agradecimientos	2
Índice de tablas.....	5
Resumen.....	6
Introducción	7
Planteamiento del problema.....	9
Objetivos	12
Objetivo General	12
Objetivos Específicos.....	12
Justificación.....	13
Marco Teórico	15
Modelización en la Enseñanza de las Ciencias	15
Modelos Científicos y Modelos Escolares	16
Analogías y Representaciones Visuales en Ciencias	17
Interacción Térmica Entre Cuerpos	19
Antecedentes de Investigación.....	19
Modelo Científico Escolar de la Interacción Térmica Entre Cuerpos	22
Metodología	25
Fases de la Secuencia de Modelización	26
Recolección de Información	29

Análisis de la Información	30
Resultados	32
Caracterización de los Modelos Iniciales.....	32
Análisis del Modelo Inicial de los Estudiantes	35
Tensión y ajuste de los modelos durante la secuencia	38
Transformación de los modelos explicativos de los estudiantes.....	40
Análisis de las explicaciones en relación con el modelo científico escolar	45
Alcances y límites en la construcción del modelo	47
Alcances del Modelo Construido por los Estudiantes.....	47
Límites en las Explicaciones de los Estudiantes	49
Cómo Usaron la Analogía los Estudiantes.....	50
Discusión.....	51
Conclusiones	54
Recomendaciones.....	56
Referencias	58
Anexos	59

Índice de tablas

Tabla 1	26
Tabla 2	27
Tabla 3	38
Tabla 4	43

Resumen

El siguiente trabajo de grado analiza las prácticas de modelización que desarrollan estudiantes de educación media para explicar la interacción térmica entre cuerpos, utilizando analogías cromáticas y representaciones visuales como mediadoras en la construcción de modelos escolares. Desde el punto de vista de la modelización científica escolar se parte de la caracterización de los modelos iniciales que los estudiantes utilizan para explicar la interacción térmica entre cuerpos, particularmente en relación con la transferencia de energía térmica y el equilibrio térmico. Con este fin se implementa una secuencia de seis situaciones experimentales que incorporan analogías cromáticas como representaciones funcionales y parciales para modelizar procesos asociados a la variación del estado térmico y a la influencia de la cantidad de sustancia en los cambios que experimentan los cuerpos al interactuar. A lo largo de las secuencias se analizan las transformaciones de los modelos de los estudiantes, este análisis permite identificar las posibilidades y también las limitaciones de los modelos cromáticos para representar procesos de interacción térmica, así como comprender cómo los modelos escolares se van ajustando poco a poco, en el marco de prácticas de modelización orientadas a la explicación de fenómenos físicos en educación media pese a ello si es de considerar que este proceso no sea lineal ni completo.

Palabras clave: modelización, interacción térmica, analogías cromáticas, educación media, modelos explicativos

Introducción

La enseñanza de la termodinámica en la educación media es común que se desarrolle en función de la aplicación de relaciones matemáticas y la resolución de ejercicios, lo que no siempre garantiza que los estudiantes elaboren explicaciones fuertes sobre los procesos térmicos (Couso, 2020). Desde la experiencia de aula es frecuente encontrar que los estudiantes logran operar fórmulas asociadas al calor o la temperatura, pero aun así presentan dificultades cuando se les pide interpretar la interacción térmica entre cuerpos o explicar cómo se alcanza un estado de equilibrio térmico (Duit, 2009). Es así que esta situación evidencia una distancia entre el desarrollo formal de los contenidos y la construcción de explicaciones que permitan comprender el fenómeno físico al que dichas expresiones matemáticas hacen referencia, es decir, saben usar la fórmula, pero se dificulta entender qué está pasando, dejando una distancia en la enseñanza en el aula, ya que se le da prioridad a la resolución de ejercicios más allá de la construcción de la conocimiento, comprensión y discusión de fenómenos físicos.

Es así que, desde la perspectiva de la modelización científica escolar, aprender ciencias implica participar en procesos de construcción, uso y revisión de modelos explicativos que permitan interpretar fenómenos y comparar las explicaciones con la experiencia (Couso, 2020). En este enfoque los modelos no se conciben como simples representaciones finales del conocimiento científico, sino como herramientas que permiten organizar relaciones entre entidades, propiedades y procesos con la finalidad de explicar determinados fenómenos. Es así que el aprendizaje de la física se entiende como un proceso progresivo de construcción y refinamiento de modelos que permiten dar sentido a lo que se observa (Tuay, 2012), aunque ese proceso no sea del todo lineal.

En este contexto la enseñanza de la física puede generar espacios en los que los estudiantes construyan y revisen modelos explicativos a partir de la interacción con situaciones experimentales y con diversas formas de representación. Las representaciones visuales y las analogías pueden desempeñar un papel importante cuando se integran a los procesos de modelización, porque permiten hacer visibles relaciones entre variables y facilitar la discusión de las explicaciones construidas (Harrison & Treagust, 2006).

Es allí donde surge el presente trabajo el cual se centra en el estudio de las prácticas de modelización que desarrollan estudiantes de educación media para explicar la interacción térmica entre cuerpos. En esencia se analizan las formas en que los estudiantes construyen y ajustan sus explicaciones al ponerse en situaciones experimentales diseñadas para explorar procesos referentes a la transferencia de energía y equilibrio térmicos.

Ahora bien, se entiende por modelización el proceso mediante el cual los estudiantes construyen, utilizan y ajustan modelos explicativos y referente a los modelos, para el trabajo se comprenden, como las estructuras explicativas que elaboran los estudiantes, organizando relaciones entre entidades, propiedades y variables que dan una interpretación de un fenómeno. Esta diferencia direcciona el análisis no solo a los que los estudiantes hacen en las actividades, sino también hacia la forma en la que estructuran y desarrollan sus explicaciones sobre interacción térmica. En este sentido el trabajo centra en los modelos que hacen los estudiantes, los cuales se toman como objeto de análisis

Para ello se implementa una secuencia de seis situaciones experimentales mediadas por analogías cromáticas, utilizadas como representaciones funcionales y parciales para explorar relaciones entre estados térmicos. El interés de esta investigación

no se limita únicamente al uso del recurso visual sino al análisis de los modelos explicativos que los estudiantes construyen, utilizan y van transformando a lo largo del proceso de modelización, que es el eje de todo este trabajo.

Se destaca que este trabajo se desarrolla desde un enfoque cualitativo de carácter interpretativo, orientado a comprender cómo los estudiantes elaboran y ajustan sus modelos al interactuar con situaciones experimentales diseñadas para enfocar la modelización de la interacción térmica entre cuerpos, entendiendo que este proceso no es inmediato ni totalmente estable, como se evidencia en estudios sobre aprendizaje basado en modelización (Couso, 2020).

En función de ello el trabajo se organiza en diferentes apartados que permiten desarrollar y analizar la propuesta de investigación. Inicialmente se presentan el planteamiento del problema, los objetivos y la justificación, donde se delimita la necesidad de analizar los modelos explicativos que construyen los estudiantes frente a la interacción térmica entre cuerpos. Posteriormente se desarrolla el marco teórico, abordando referentes relacionados con la modelización científica escolar, los modelos, las analogías y los fenómenos térmicos. Más adelante se expone la metodología de la investigación, describiendo la secuencia de modelización implementada y las estrategias de recolección y análisis de la información. Por último, se presentan los resultados, la discusión y las conclusiones construidas a partir del análisis de las transformaciones y reorganizaciones de los modelos explicativos elaborados por los estudiantes a lo largo de la secuencia didáctica.

Planteamiento del problema

En la educación media, la enseñanza de la física y específicamente de los contenidos relacionados con los fenómenos térmicos se desarrolla en un contexto escolar marcado por el cumplimiento de la malla curricular y la preparación de los estudiantes para pruebas de carácter estatal. Es decir que con mucha frecuencia se le da prioridad al avance temático y al desarrollo de procedimientos asociados a la aplicación de fórmulas, como lo señala (Couso, 2020) lo que reduce las oportunidades para detenerse en la exploración y análisis conceptual, la experimentación y la discusión sobre el sentido físico de los fenómenos estudiados.

Esta situación puede generar dificultades para relacionar las explicaciones trabajadas en clase con situaciones cotidianas asociadas a la interacción térmica. En consecuencia, los fenómenos como la transferencia de energía térmica o el equilibrio térmico suelen comprenderse desde procedimientos y resultados, pero no siempre desde las relaciones y procesos físicos involucrados (Couso, 2020).

En el aula es frecuente observar confusiones entre los conceptos de calor y temperatura y en ese mismo modo dificultades para comprender el calor como un proceso de transferencia de energía entre cuerpos (Duit, 2009; Gutiérrez, 2014). Estas no se evidencian únicamente en la resolución de ejercicios, sino también en explicaciones habladas y en actividades experimentales, donde se forman modelos iniciales que los estudiantes utilizan para interpretar los fenómenos térmicos, pero que pocas veces son contrastados o revisados de manera sistemática.

Si se mira desde la perspectiva de la modelización científica escolar, estas dificultades no se interpretan simplemente como errores conceptuales, sino como la

expresión de modelos explicativos parciales que los estudiantes construyen para dar sentido a los fenómenos, estos modelos pueden resultar funcionales en determinados contextos, pero presentan limitaciones para explicar relaciones más complejas entre variables físicas si no hay espacios para su análisis y refinamiento (Tuay, 2012)

Eventualmente el problema no se limita a la disponibilidad de recursos experimentales o visuales sino a la manera en que estos se integran a los procesos de modelización. Cuando las actividades experimentales o las analogías se emplean únicamente como ilustraciones sin dar cabida al análisis y la revisión, se reduce la posibilidad de que desarrollen prácticas propias de la actividad científica escolar, como la explicación fundamentada, la predicción y la argumentación (Couso, 2020)

A partir de esto surge la necesidad de explorar propuestas didácticas que permitan analizar cómo los estudiantes construyen, transforman sus modelos explicativos al respecto de la interacción térmica entre cuerpos. Es así que el interés se encamina hacia los procesos de modelización que mediante el uso de representaciones permitan a los estudiantes construir, revisar y reorganizar explicaciones sobre fenómenos asociados a la transferencia de energía térmica y el equilibrio térmico. De esta forma la investigación no se centra únicamente en la secuencia de actividades propuestas sino en las explicaciones y modelos que los estudiantes construyen en el proceso.

En función de lo anterior se formula la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué modelos utilizan los estudiantes de educación media para explicar la interacción térmica entre cuerpos y cómo se transforman a lo largo de una secuencia de situaciones experimentales mediadas por analogías cromáticas?

Objetivos

Objetivo General

Analizar las prácticas de modelización que desarrollan estudiantes de educación media para explicar la interacción térmica entre cuerpos a partir de situaciones experimentales mediadas por analogías cromáticas.

Objetivos Específicos

Caracterizar los modelos iniciales que los estudiantes utilizan para explicar la interacción térmica entre cuerpos, particularmente en relación con la transferencia de energía y el establecimiento del equilibrio térmico.

Examinar los cambios en los modelos explicativos de los estudiantes a lo largo de la secuencia de actividades experimentales sobre la interacción térmica entre cuerpos.

Identificar los niveles de desarrollo explicativo de los modelos construidos por los estudiantes, considerando las entidades, propiedades, relaciones e inferencias en relación con el modelo científico escolar propuesto.

Justificación

La termodinámica constituye una rama fundamental de la física para comprender los fenómenos presentes en la cotidianidad. Procesos como el intercambio de energía térmica entre cuerpos, la variación de la temperatura o el establecimiento de estados de equilibrio térmico forman parte de situaciones que los estudiantes pueden observar en su entorno real. Sin embargo, en la educación media estos contenidos suelen abordarse desde las relaciones matemáticas, lo que puede dificultar que los estudiantes construyan explicaciones con sentido sobre los fenómenos que se estudian (Couso, 2020)

Siguiendo esta línea Duit (2009) señala que en muchos casos los estudiantes pueden aprender a resolver ejercicios y aplicar las relaciones matemáticas, sin necesidad de comprender los de fenómenos físicos involucrados.

En el caso de los fenómenos térmicos, esta situación suele manifestarse en dificultades para distinguir entre calor y temperatura o explicar cómo se alcanza el equilibrio térmico cuando dos cuerpos a diferente estado térmico interactúan, evidenciando así que no siempre se construyen modelos explicativos que permitan la comprensión de los fenómenos físicos (Gutiérrez, 2014). Se puede relacionar esta dificultad con el hecho que el conocimiento no se transfiere sino se construye en función de los procesos de interpretación que están mediados por la experiencia (Bautista, 2010)

Frente a esta situación la modelización científica escolar propone un enfoque, en el que aprender ciencias implica construir, utilizar y revisar modelos que permitan representar e interpretar fenómenos naturales (Tuay, 2012).

Es así que el presente trabajo busca aportar a la enseñanza de los fenómenos asociados a la interacción térmica entre cuerpos en educación media a partir de análisis

de las prácticas de modelización que desarrollan los estudiantes frente a situaciones experimentales mediadas por analogías cromáticas. Estas pueden ser utilizadas como herramientas que permitan explorar relaciones entre variables, comparar estados de un cuerpo y discutir las explicaciones de los estudiantes (Harrison & Treagust, 2006). De esta manera las representaciones intermedias pueden ayudar a establecer puentes entre la experiencia observable y las interpretaciones elaboradas sobre los fenómenos físicos.

En este trabajo las analogías cromáticas se entienden como representaciones parciales que permiten explorar determinadas relaciones entre variables y discutir las explicaciones sobre la interacción térmica.

El interés central de la investigación no se enfoca únicamente al uso de un recurso visual, sino a comprender cómo los estudiantes construyen, utilizan y transforman sus modelos explicativos cuando se enfrentan a situaciones diseñadas para explorar procesos asociados a la transferencia de energía térmica y al establecimiento de estados de equilibrio térmico.

Es así que el presente trabajo aporta al campo de la enseñanza de la física al proponer una secuencia de modelización mediada por analogías cromáticas que permite analizar cómo los estudiantes construyen y transforman explicaciones sobre la interacción térmica entre cuerpos. Igualmente resalta la importancia de generar espacios donde las explicaciones de los estudiantes puedan ponerse en juego, discutirse y reorganizarse dentro del aula. Desde la Licenciatura en Física, este tipo de propuestas contribuye a fortalecer prácticas docentes centradas no solo en la apropiación de conceptos, sino también en la construcción progresiva de modelos explicativos sobre los fenómenos físicos.

Marco Teórico

En primera instancia se determina la modelización como el proceso mediante el cual los estudiantes construyen, ponen a prueba y ajustan modelos explicativos, mientras que los modelos se conciben como estructuras explicativas en las que se organizan relaciones entre entidades, propiedades y variables para interpretar un fenómeno. Esta distinción se vuelve relevante ya que permite centrar el análisis no solo en las actividades que se proponen, sino en la forma en que los estudiantes estructuran sus explicaciones sobre la interacción térmica (Couso, 2020).

Modelización en la Enseñanza de las Ciencias

En la didáctica contemporánea de las ciencias, la modelización científica escolar se reconoce como un enfoque central para comprender cómo los estudiantes construyen explicaciones sobre los fenómenos naturales o cómo intentan explicarlos. Desde esta perspectiva se puede considerar que aprender ciencias no consiste únicamente en incorporar definiciones o aplicar fórmulas, sino en elaborar representaciones que permitan interpretar y dar sentido a los fenómenos que se observan (Couso, 2020).

Los modelos funcionan como herramientas que relacionan la experiencia observable con los marcos teóricos que se utilizan para explicar los fenómenos. En el contexto escolar estos modelos no buscan reproducir de manera exacta los modelos científicos formales, sino ofrecer representaciones que permitan explorar ciertos aspectos del fenómeno y construir explicaciones progresivamente más elaboradas.

La modelización en el aula implica un proceso en el que los estudiantes elaboran explicaciones, contrastan sus explicaciones con la experiencia y reorganizan sus representaciones cuando encuentran nuevas evidencias. Este proceso favorece el

desarrollo de prácticas propias de la actividad científica escolar, como la explicación, la argumentación y la discusión de representaciones (Couso, 2020). En este trabajo la modelización se entiende como un proceso mediante el cual los estudiantes construyen , reorganizan y ajustan las explicaciones sobre la interacción térmica entre cuerpo a partir de situaciones mediadas por analogías.

Es así que cabe resaltar y mirar con más detalle el papel de los modelos ya que es a través de ellos que los estudiantes organizan sus explicaciones.

Modelos Científicos y Modelos Escolares

Los modelos ocupan un lugar central en la construcción del conocimiento científico, ya que permiten representar fenómenos, establecer relaciones entre variables y elaborar explicaciones sobre el funcionamiento de los sistemas o son puente de interacción para su comprensión. En el ámbito educativo estos modelos adquieren un carácter particular ya que se utilizan como herramientas para facilitar la comprensión de los fenómenos en contextos de aprendizaje, siempre intentando mediar la construcción de conocimiento.

Los modelos pueden entenderse desde el aula como representaciones que organizan relaciones entre entidades, propiedades y procesos con el fin de explicar determinados fenómenos, es así que Gutiérrez (2014) plantea que los modelos permiten estructurar estas relaciones para dar sentido a los fenómenos, mientras Tuay (2012) resalta el carácter explicativo en la comprensión de situaciones específicas. En el contexto escolar los modelos que construyen los estudiantes suelen ser parciales y provisionales, ya que se elaboran desde las experiencias y conocimientos de cada momento del proceso de aprendizaje.

Esta idea entiende el conocimiento como una construcción progresiva en la que los sujetos elaboran representaciones para interpretar la realidad. En este sentido, Bautista (2010) plantea que el conocimiento no se limita a la transmisión de conceptos acabados, sino que se construye mediante procesos de interpretación que articulan la experiencia, el lenguaje y de representación.

Los modelos escolares pueden considerarse representaciones funcionales y parciales, ya que permiten explicar ciertas situaciones concretas y son parciales porque siempre dejan por fuera dimensiones del fenómeno que representan (Tuay, 2012). Reconocer esta condición implica asumir que los modelos pueden discutirse, contrastarse con la experiencia y reorganizarse a medida que se amplía la comprensión del fenómeno.

Es allí que entran en juego las analogías y las representaciones visuales cuando los estudiantes intentan darle sentido a lo que observan.

Analogías y Representaciones Visuales en Ciencias

Las analogías y las representaciones visuales son recursos utilizados en la enseñanza de las ciencias para facilitar la comprensión de fenómenos abstractos o difíciles de observar directamente. Su función no consiste únicamente en ilustrar una explicación, sino en representar relaciones entre variables y explorar posibles interpretaciones de los fenómenos.

Desde el punto de vista del aprendizaje las analogías sirven para relacionar dos situaciones, a partir de relaciones de cada una de ellas, favoreciendo la comprensión de conceptos menos familiares desde experiencias más cercanas (Gentner, 1983). En la enseñanza de las ciencias, se ha señalado que las analogías pueden favorecer la construcción

de explicaciones cuando se utilizan de manera explícita y reflexiva, analizando tanto las correspondencias como sus limitaciones (Harrison & Treagust, 2006).

Los modelos cromáticos constituyen una forma de representación visual basada en gradaciones de color que permiten representar variaciones continuas en una magnitud. En el caso de los fenómenos térmicos las gradaciones pueden utilizarse para representar diferencias en el estado térmico de los cuerpos y para analizar situaciones de interacción térmica entre cuerpos con diferentes condiciones iniciales de manera proximal.

No obstante, cabe resaltar que es importante reconocer que estas representaciones no son una equivalencia directa con el fenómeno físico real sino una analogía parcial, es decir tienen relación de semejanza parcial y funcional. Por esta razón el trabajo con modelos cromáticos requiere una mediación constante por parte del docente, evitando que el color sea interpretado como el fenómeno en sí mismo o como una representación completa de la interacción térmica. Es así que la analogía funciona como un apoyo inicial para la construcción de explicaciones, que luego se puede articular con representaciones más abstractas propias de la física escolar, como gráficas, relaciones entre variables y explicaciones formales del fenómeno

En este caso la relación entre color y temperatura no se plantea como una equivalencia física directa, sino como una correspondencia analógica que permite explorar relaciones entre variables y construir explicaciones intermedias entre la experiencia perceptiva y las nociones formales de la física. (Harrison & Treagust, 2006).

En función de esto resulta necesario relacionar estas formas de representación en el contexto de los fenómenos térmicos, para comprender mejor cómo se ponen en juego cuando los estudiantes intentan explicar este tipo de situaciones

Interacción Térmica Entre Cuerpos

En la física clásica los fenómenos térmicos se estudian a partir de las interacciones que se producen entre cuerpos cuando presentan diferencias en su estado térmico. Cuando dos cuerpos se encuentran a diferente temperatura y se ponen en contacto térmico se produce una transferencia de energía hasta alcanzar progresivamente un estado de equilibrio térmico (Serway & Jewett, 2014).

La temperatura caracteriza el estado térmico de un cuerpo, mientras que el calor se entiende como el proceso de transferencia de energía entre cuerpos de diferente temperatura. En estas interacciones intervienen variables como la cantidad de sustancia, la capacidad calorífica y las condiciones iniciales de los cuerpos que interactúan (Tipler & Mosca, 2009), lo que evidencia que las interacciones dependen de varios factores.

En el aula estos fenómenos suelen abordarse a partir de relaciones matemáticas entre variables lo que puede dificultar su articulación con la experiencia observable. Por esta razón resulta pertinente explorar representaciones que permitan analizar de manera cualitativa cómo cambia el estado térmico de los cuerpos.

Antecedentes de Investigación

La enseñanza de los fenómenos térmicos en educación media ha sido objeto de diversas investigaciones que buscan superar enfoques centrados únicamente en el desarrollo matemático de las relaciones entre variables. En este sentido varios estudios han resaltado la importancia de trabajar con representaciones y experiencias que permitan a los estudiantes construir y revisar sus explicaciones sobre los fenómenos.

Estos antecedentes permiten ubicar la presente propuesta dentro de un campo de investigación con desarrollos importantes, aunque también evidencian la necesidad de

profundizar en el análisis de los modelos que los estudiantes construyen en el aula. En este sentido estos antecedentes permiten identificar tres aspectos clave para la presente investigación: las dificultades en la comprensión de los fenómenos térmicos, el papel de las representaciones y analogías en la construcción de explicaciones, y la necesidad de analizar los modelos que los estudiantes elaboran en el aula.

En el contexto nacional, Bautista (2010), en *Conocimiento y realidad*, plantea que el conocimiento científico, no se transmite de manera directa, sino que se construye a partir de procesos de interpretación en los que intervienen la experiencia y las formas de representación. Lo que aporta elementos relevantes para este trabajo, ya que se comprende el rol activo del estudiante como constructor de explicaciones y el del docente como mediador y orientador de la modelización

En el campo de la modelización Tuay (2012) plantea que el trabajo con modelos implica identificar las entidades, propiedades y relaciones que los estudiantes utilizan para explicar los fenómenos, permitiendo reconocer distintos niveles de desarrollo explicativo. Este aporte es fundamental para este trabajo ya que permitió establecer criterios de análisis para así poder interpretarlas explicaciones construidas por los estudiantes frente a la interacción térmica entre cuerpos.

Es así que en esta misma línea, Gutiérrez (2014) señala que los modelos escolares deben analizarse por capacidad para explicar, establecer relaciones, predecir y ser revisados, reorganizándolos a partir de nuevas experiencias y discusiones, más que únicamente desde su corrección conceptual. Esta perspectiva resulta relevante para el presente trabajo al entender la modelización como un proceso de construcción y transformación progresivo de construcción y transformación de explicaciones.

Por otro lado, han surgido investigaciones orientadas específicamente a las dificultades en la comprensión de los fenómenos térmicos en el contexto escolar. Estos trabajos permiten reconocer algunas de las explicaciones iniciales y relaciones que suelen construir los estudiantes frente a conceptos como calor, temperatura y equilibrio térmico.

El Grupo de Investigación en Enseñanza de las Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia (2017) realizó un estudio de enfoque cualitativo con estudiantes de educación media orientado a identificar dificultades en la comprensión de conceptos como calor, temperatura y equilibrio térmico. A partir del análisis de producciones escritas estudiantiles, el estudio evidenció confusiones persistentes, especialmente entre calor y temperatura, y una tendencia al uso mecánico de fórmulas sin una comprensión del fenómeno. Resulta importante para el trabajo porque evidencia la necesidad de generar espacios donde los estudiantes puedan confrontar, discutir y reorganizar sus explicaciones sobre fenómenos térmicos.

Ahora referente al uso de representaciones y analogías en el aula, en la Universidad de Antioquia (2018), un estudio cualitativo sobre el uso de analogías en el aula, orientado a analizar el papel de estas en la enseñanza de fenómenos científicos, a partir de seguimiento de actividades en el aula y análisis de las explicaciones que construyeron los estudiantes el cual mostró que estas pueden favorecer la construcción de relaciones entre la experiencia cotidiana y las explicaciones científicas, resaltando que debe existir una orientación adecuada por el docente. Se destaca para el trabajo importancia de hacer visibles tanto las correspondencias como los límites de las analogías, así como de promover la revisión de las representaciones construidas por los estudiantes dentro de los procesos de modelización.

En el ámbito internacional el estudio realizado por la Universidad Autónoma de Mexico, UNAM (2016) realizó una propuesta donde incorporó modelos visuales, incluidos gradientes de color, para apoyar la comprensión de fenómenos térmicos en estudiantes de secundaria. A partir de un enfoque cualitativo se evidenciaron avances en la forma en que relacionan la experiencia perceptiva con los conceptos trabajados. Este antecedente resulta pertinente para el presente trabajo ya que muestra el potencial de las representaciones visuales como mediadoras en la construcción de modelos explicativos de los fenómenos térmicos.

Es así que se observa que existen avances en el uso de modelos, de analogías, representaciones y actividades experimentales para la enseñanza de fenómenos térmicos. Pese a ello estos trabajos se centran en el uso de recursos didácticos o en las dificultades conceptuales que tienen los estudiantes sin profundizar en los modelos explicativos de los estudiantes. En este sentido, el presente trabajo se orienta a analizar cómo estas representaciones pueden contribuir a la construcción y transformación de modelos explicativos en estudiantes de educación media. Allí es donde es necesario tener un referente que permita analizar las explicaciones que construyen los estudiantes frente a la interacción térmica. Por ello se plantea un modelo científico escolar que orienta la interpretación de estas explicaciones y sirve como punto de referencia para su análisis.

Modelo Científico Escolar de la Interacción Térmica Entre Cuerpos

El presente modelo se construye desde la perspectiva de la termodinámica clásica y tiene como propósito explicar la interacción térmica entre cuerpos a partir de la transferencia de energía y el establecimiento del equilibrio térmico. Se plantea como un modelo científico escolar ya que no busca reproducir de manera exacta los modelos

formales de la física, sino organizar una estructura explicativa que permita interpretar el fenómeno, identificar relaciones entre variables y servir como referente para analizar las explicaciones que elaboran los estudiantes.

La entidad central del modelo es la interacción térmica entre cuerpos, entendida como el proceso que ocurre cuando dos cuerpos con diferente estado térmico intercambian energía hasta alcanzar una condición de equilibrio térmico.

Para describir esta interacción se consideran propiedades como la temperatura, la energía interna, la masa y la capacidad calorífica, así como condiciones asociadas al contacto térmico. La temperatura caracteriza el estado térmico, la energía interna da cuenta del estado energético asociado al movimiento y a las interacciones de sus partículas. La masa y la capacidad calorífica influyen en la forma en que el cuerpo responde a la transferencia de energía y en las variaciones térmicas en la interacción.

Desde este modelo la interacción térmica se explica a partir de relaciones entre cuerpos con diferente temperatura y se ponen en contacto térmico, se produce una transferencia de energía desde el cuerpo con mayor temperatura hacia el de menor temperatura. Esta transferencia no se interpreta como un intercambio de temperatura, sino como un proceso de redistribución de energía, modificando su energía interna y el estado térmico de los cuerpos.

Los cambios en la temperatura dependen de sus propiedades. En particular, la masa y la capacidad calorífica influyen en la energía transferida se traduce en variaciones del estado térmico. Por esta razón, cuando interactúan cuerpos con distinta cantidad de sustancia, el estado final no corresponde a un valor intermedio simple, sino que depende de las propiedades de los cuerpos en interacción.

El proceso de transferencia de energía continúa hasta que ambos cuerpos alcanzan la misma temperatura. En ese momento se establece el equilibrio térmico, entendido como una condición en la que no existe transferencia neta de energía entre los cuerpos, Esta condición permite interpretar el equilibrio no como la ausencia de interacción, sino como estado dinámico en el que las transferencias se compensan o se equilibran entre sí.

El modelo se fundamenta en principios de la termodinámica clásica, particularmente en la ley cero y la primera ley. La ley cero de la termodinámica permite comprender el equilibrio térmico como una condición definida por la igualdad de temperatura entre cuerpos, mientras que la primera ley de la termodinámica sustenta que la energía no se pierde ni se crea en la interacción, sino que se transfiere y se transforma, conservándose de esta manera.

A partir de esta estructura, el modelo permite formular inferencias sobre diferentes situaciones (Tuay, 2012) Es posible predecir la dirección del flujo de energía al comparar las temperaturas iniciales de los cuerpos, interpretar la influencia de la masa en el estado final de la interacción y distinguir entre la temperatura como propiedad del cuerpo y el calor como proceso de transferencia de energía. En esa misma línea, el modelo permite analizar situaciones cotidianas como la mezcla de sustancias a diferente temperatura, el enfriamiento de un objeto o el calentamiento progresivo de un cuerpo al entrar en contacto con otro.

Este modelo se toma como referencia para analizar las explicaciones que elaboran los estudiantes sobre la interacción térmica entre cuerpos, entendiendo que no se espera que lo reproduzcan tal cual, sino que se acerquen a algunos de sus elementos.

Metodología

La investigación se desarrolla desde un enfoque cualitativo de carácter interpretativo, orientado a comprender cómo los estudiantes construyen, utilizan y transforman modelos explicativos sobre la interacción térmica entre cuerpos en el contexto escolar. El interés no se centra en la medición de resultados, sino en el análisis de las explicaciones que elaboran los estudiantes y en la forma en que estas se reorganizan a lo largo de la experiencia de aula. Este enfoque es pertinente para el trabajo ya que permite analizar las formas en las que los estudiantes construyen y comprenden el fenómeno, más allá de medir únicamente resultados finales o las respuestas correctas

La propuesta se inscribe en una perspectiva de modelización científica escolar, en la cual aprender física implica construir y revisar representaciones que permitan interpretar fenómenos (Couso,2020). El trabajo en el aula busca que los estudiantes expliquen lo que ocurre, pongan a prueba sus explicaciones y las ajusten.

La población participante es un grupo de 28 estudiantes de aula regular de educación media, con edades entre 16 y 17 años, pertenecientes a una institución educativa privada de la ciudad de Bogotá. La muestra es intencional lo que permite hacer un seguimiento cercano de sus producciones y discusiones, además se desarrollan los contenidos asociados a la interacción térmica dentro de la clase de física, lo que permitió integrar esta secuencia didáctica al contexto regular del aula y llevar su proceso.

La implementación se desarrolló durante tres sesiones de clase de dos horas cada una, conectadas con los contenidos de interacción térmica trabajados en el curso. Durante este proceso, el docente orienta las discusiones y realiza seguimiento a las producciones elaboradas por los estudiantes

La estrategia se da a partir de una secuencia estructurada en diferentes fases orientadas a la modelización de la interacción térmica entre cuerpos. Estas fases integran el uso de colorante como recurso de representación como una forma de hacer visibles ciertos cambios asociados al estado térmico y facilitar la construcción de explicaciones.

Las fases no se plantean como experiencias aisladas, sino como situaciones en las que los estudiantes deben construir, utilizar y reorganizar explicaciones sobre el fenómeno. Cada fase aporta elementos para el análisis de los modelos explicativos, permitiendo identificar explicaciones iniciales, reconocer relaciones entre variables y observar cómo estas se reorganizan progresivamente durante la secuencia.

Fases de la Secuencia de Modelización

Antes de iniciar la secuencia se propone un momento de exploración a partir de preguntas abiertas relacionadas con situaciones cotidianas de interacción térmica. Este espacio permite identificar los modelos iniciales de los estudiantes sin introducir definiciones formales y son un punto de referencia para el análisis posterior.

A continuación, se presenta la Tabla 1, donde se resumen los elementos generales de la secuencia de modelización.

Tabla 1

Planeación general de la secuencia de modelización

Elemento	Descripción
Nivel educativo	Educación media
Población	Estudiantes entre 16 y 17 años de una institución educativa privada de Bogotá
Tema de trabajo	Interacción térmica entre cuerpos
Enfoque	Modelización científica escolar

Propósito de la secuencia	Facilitar la construcción y transformación de explicaciones sobre la interacción térmica entre cuerpos, a partir de situaciones experimentales mediadas por analogías cromáticas
Pregunta orientadora	¿Qué ocurre cuando dos cuerpos interactúan térmicamente y cómo podemos explicar ese cambio?
Ideas clave y relaciones que estructuran el modelo de interacción térmica	Transferencia de energía, cantidad de sustancia, estado inicial, interacción entre cuerpos y equilibrio térmico
Recursos principales	Vasos con agua, colorante, gradientes de tonalidad, producciones escritas y discusión en clase

La Tabla 2 presenta la organización de la secuencia en función del ciclo de modelización. Cada fase se relaciona con situaciones experimentales, en las que los estudiantes ponen en juego sus explicaciones y las reorganizan frente a lo que observan. La descripción detallada de las situaciones experimentales se encuentra en el Anexo A.

Tabla 2

Desarrollo de la secuencia según el ciclo de modelización

Fase	¿Qué se hace en la fase?	Qué se busca observar en los estudiantes	Qué se espera en sus explicaciones	Evidencia
Reconocimiento del fenómeno	Se propone una situación cotidiana y se orienta la discusión mediante preguntas abiertas (situación inicial, ver Anexo A).	Participan, opinan y comparan explicaciones.	Explicaciones cotidianas: mezcla, “el calor pasa”, cambios visibles.	Discusión conjunta. Respuestas escritas iniciales
Construcción del modelo inicial	Se añaden pequeñas cantidades de colorante al agua para observar cambios de tonalidad (Situación 1, ver Anexo A)	Describen lo que ven e intentan explicarlo.	Explicaciones centradas en lo visible.	Explicaciones orales y escritas

	Se comparan sistemas con distinta cantidad de agua a los que se agregan las mismas gotas de colorante (Situación 2, ver Anexo A).	Comparan situaciones y reconocen diferencias.	Surge la explicación de que la cantidad influye.	Producciones escritas
Revisión del modelo	Se ponen en interacción cuerpos con distinta cantidad y tonalidad, contrastando predicciones (Situación 3, ver Anexo A).	Predicen, comparan y ajustan explicaciones.	Relacionan cantidad, estado inicial y resultados.	Predicciones y explicaciones
Profundización del modelo	Se comparan casos con igual cantidad de agua pero distinto estado inicial (Situación 4, ver Anexo A).	Comparan casos y discuten entre ellos.	Explicaciones más consistentes.	Producciones escritas
Organización del modelo	Se organizan recipientes con distintas tonalidades para representar estados (Situación 5, ver Anexo A).	Organizan información y establecen relaciones.	Comprenden el cambio como progresivo.	Esquemas y explicaciones
Aplicación y cierre del modelo	Se analizan situaciones sin cambio de tonalidad para explicar el equilibrio (Situación 6, ver Anexo A).	Justifican sus respuestas.	Comprenden el equilibrio térmico como resultado de la interacción.	Explicación final

Como se muestra en la Tabla 2, las fases de la secuencia permiten identificar la progresión en las explicaciones de los estudiantes con referente a la interacción térmica entre cuerpos. Las primeras situaciones permiten identificar modelos iniciales que se centran en cambios visibles y descripciones cotidianas del fenómeno. Luego las

actividades de comparación de distintas cantidades de agua que favorecen el reconocimiento de relaciones entre las características de los cuerpos y los cambios observados. Las situaciones de interacción entre cuerpos permiten analizar cómo los estudiantes incorporan las condiciones iniciales, la cantidad de sustancia y las relaciones entre variables en sus explicaciones. Finalmente, las actividades asociadas a gradientes de tonalidad y equilibrio térmico permiten observar procesos de reorganización un poco más elaborados, los estudiantes comienzan a formular inferencias y explicaciones más articuladas sobre el fenómeno, por ejemplo, al reconocer que el estado final de la interacción no depende únicamente de “mezclar” los cuerpos, sino también de propiedades como la cantidad de sustancia o las condiciones iniciales de cada uno.

Recolección de Información

La recolección de la información se orienta a identificar y analizar los modelos explicativos que los estudiantes construyen en relación con la interacción térmica entre cuerpos. No se busca únicamente registrar respuestas finales, sino comprender las formas en que los estudiantes elaboran, expresan y transforman sus explicaciones a lo largo de la intervención, es decir, cómo van cambiando sus explicaciones.

Para iniciar se plantea un momento de exploración a partir de una situación cercana a la experiencia de los estudiantes. En este caso llegar con una bebida caliente y la pregunta: ¿Qué podría hacerse para enfriar la bebida más rápido? sugieren acciones como soplar, dejarla reposar o cambiar de recipiente, también plantean alternativas como agregarle algo frío, reconociendo que esta podría ser una forma más rápida de “enfriarlo”, ya que es una acción que los estudiantes ven más inmediata.

A partir de estas intervenciones se orienta la discusión, formulando preguntas abiertas sobre lo que ocurre cuando interactúan cuerpos con diferente estado térmico. Este espacio permite reconocer modelos iniciales sin introducir definiciones formales.

Los estudiantes posteriormente elaboran explicaciones escritas sobre la situación planteada, indicando qué se transfiere, cómo ocurre el cambio y qué pasa con los cuerpos involucrados. Estas producciones constituyen el primer insumo para la caracterización de los modelos iniciales, ya que permiten identificar las entidades, las propiedades y relaciones que los estudiantes usan para explicar el fenómeno.

A lo largo de la secuencia se recogen principalmente las producciones escritas de los estudiantes, en las que explican lo que observan en cada una de las situaciones propuestas. Estas producciones permiten identificar qué dicen, cómo organizan sus explicaciones, que relaciones establecen entre variables y como sus modelos explicativos se van reorganizando o se mantienen a lo largo de la secuencia.

Adicionalmente se registran las discusiones que emergen en el aula, prestando especial atención a los argumentos, desacuerdos y acuerdos construidos de forma grupal. Durante estas discusiones el docente siempre orienta el proceso mediante preguntas abiertas y situaciones que ponen en contraste estas discusiones, favoreciendo la revisión y reorganización de las explicaciones construidas por los estudiantes frente al fenómeno.

Análisis de la Información

El análisis de la información se realiza desde una perspectiva cualitativa, mediante procesos de categorización orientados a comprender cómo se configuran y transforman los modelos explicativos de los estudiantes. Para ello se toman como referencia los elementos que estructuran el modelo científico escolar propuesto: la

entidad del fenómeno, las propiedades reconocidas, las relaciones entre ellas y las inferencias elaboradas, en concordancia con propuestas de análisis de modelos en educación científica (Tuay, 2012). Estas categorías permiten analizar qué aspectos son considerados y cómo se amplía progresivamente el nivel explicativo de sus modelos.

Para hacer más claro el proceso de análisis, las explicaciones de los estudiantes se revisan teniendo en cuenta algunos elementos del modelo científico escolar propuesto. En primer lugar, se analiza qué fenómeno reconocen los estudiantes y cómo lo entienden. Después se analizan las propiedades y las relaciones que establecen entre ellas, como la cantidad de agua, la temperatura o el estado inicial. Finalmente, las inferencias o explicaciones que construyen para justificar lo que ocurre en las diferentes situaciones trabajadas durante la secuencia.

El análisis no se orienta a clasificar las respuestas como correctas o incorrectas, sino a identificar niveles de elaboración en las explicaciones. En función de ello se busca reconocer cómo los estudiantes pasan de descripciones centradas en lo observable a explicaciones que incorporan propiedades, establecen relaciones entre variables y formulan inferencias que les permiten dar cuenta del fenómeno de manera más articulada. A partir de este proceso se identifican distintos niveles de modelización, que van desde explicaciones descriptivas hasta explicaciones relacionales y relacionales con variables, dependiendo de los elementos que los estudiantes logran integrar en sus modelos explicativos.

Resultados

Teniendo como base los resultados obtenidos, se debe enfatizar en los análisis de las explicaciones iniciales de los estudiantes, con ello poder identificar cómo interpretan la interacción térmica en un primer momento. En función de ello se realiza la caracterización de los modelos iniciales construidos por los estudiantes.

Caracterización de los Modelos Iniciales

Las preguntas giraron en torno a la situación inicial como, p.or ejemplo, qué pasa al mezclar algo caliente con algo frío, ahora bien ya que los estudiantes introdujeran los términos de temperatura y calor, qué entienden por ellos, qué ocurre en el equilibrio térmico y, especialmente, qué diferencia encuentran entre calor y temperatura.

Inicialmente las preguntas se trabajaron de manera abierta con el grupo para reconocer como interpretaban la situación propuesta. Luego cada estudiante respondió individualmente por escrito permitiendo identificar como organizaban sus explicaciones sobre la interacción de cuerpos con diferentes temperaturas.

Al revisar las respuestas se hizo evidente que varias de las explicaciones giran alrededor de mezcla. Es muy común encontrar que los estudiantes dicen que al juntar algo caliente con algo frío “queda tibio” o que “las temperaturas se combinan”. Por ejemplo, el estudiante 9 señala que “al juntarse forman una sola y que queda en una temperatura intermedia”, mientras que el estudiante 11 dice que “se mezclan y llegan a un punto medio”. En estas explicaciones, el fenómeno se entiende principalmente desde el resultado final, sin que aparezca un formalismo de lo que ocurre durante la interacción.

En este tipo de respuestas la explicación se centra en el resultado final de la interacción, sin establecer relaciones claras entre las condiciones iniciales de los cuerpos

o el proceso mediante el cual ocurre el cambio. Por esta razón, estas explicaciones se ubican en un nivel principalmente descriptivo ya que logran reconocer el fenómeno, pero todavía presentan dificultades para explicar cómo y por qué ocurre.

En otras respuestas aparece ciertas explicaciones de que algo se transfiere entre los cuerpos, como por ejemplo el estudiante 18 estudiante mencionan que “el calor pasa de uno a otro hasta igualarse” o que “el caliente pierde calor y el frío gana”. Incluso en algunos casos se habla de intercambio de energía, como cuando un estudiante 6 explica que “ambos intercambian energía para que la temperatura quede la misma”. Estas explicaciones muestran un acercamiento más cercano a la física, aunque todavía se mantienen en un nivel general.

Poniendo en contraste estas respuestas con las que están centradas únicamente en el resultado, aquí empieza a reconocerse la interacción entre los cuerpos como parte del fenómeno. Aunque las explicaciones todavía son generales y no siempre se especifica cómo ocurre la transferencia, ya incorporan relaciones entre los cuerpos involucrados, lo que permite ubicarlas en un nivel más relacional dentro del análisis.

También se observan respuestas en las que se combinan distintas explicaciones. Hay estudiantes que al mismo tiempo que hablan de mezcla, introducen nociones de transferencia o de predominio de uno de los cuerpos. Por ejemplo, el estudiante 13 menciona que “la fría adquiere gran parte de la caliente” o que uno de los cuerpos “domina” sobre el otro. Esto muestra intentos por explicar el fenómeno, pero aún sin una organización clara de las relaciones involucradas.

Estas respuestas muestran que algunos estudiantes comienzan a integrar distintos elementos dentro de una misma explicación, propiedades, procesos, aunque todavía sin una organización completamente estable..

Otro aspecto que aparece con bastante fuerza es la dificultad para diferenciar calor y temperatura. En varias respuestas el calor se asocia con “temperatura alta” o con algo que se siente, mientras que la temperatura se entiende como una forma de medir ese calor. Por ejemplo, algunos estudiantes afirman que “el calor es una temperatura alta” o que “la temperatura mide el calor”. Incluso cuando aparece la explicación referente de energía, no siempre se asocia con la explicación del fenómeno.

Estas explicaciones muestran que, aunque los estudiantes utilizan términos propios del lenguaje de la física, todavía presentan dificultades para diferenciarlos dentro de una explicación del fenómeno. Esto permite identificar que ciertos elementos del modelo científico escolar aparecen de manera parcial, pero aún no logran integrarse de forma consistente en sus explicaciones.

También hay algunas respuestas más puntuales en las que se recurre a otras explicaciones como la transferencia de electrones o cambios de tipo químico. El estudiante 23 por ejemplo, plantea que “se transfieren electrones y por eso cambia la temperatura”, mientras que el estudiante 16 menciona que se trata de un “cambio químico”. Aunque estas explicaciones no son las más frecuentes, muestran la diversidad de referentes que los estudiantes utilizan para intentar comprender lo que ocurre.

Pese a que estas explicaciones no corresponden directamente al fenómeno trabajado, sí permiten identificar que los estudiantes recurren a distintos referentes para intentar darle sentido a la situación.

Lo que se observa es que los estudiantes sí tienen formas de darle sentido a la situación, pero estas explicaciones suelen centrarse en lo que se ve, en lo observable o en lo que “parece que pasa. Al realizar el análisis de esta situación permite identificar los modelos iniciales que logran describir el fenómeno, aunque todavía presentan dificultades a la hora de organizar las relaciones entre variables y procesos. Esto pone en evidencia la necesidad de generar espacios en los que estas explicaciones puedan ponerse a prueba, discutirse y ajustarse, que es justamente lo que se busca a lo largo de la secuencia de modelización.

Análisis del Modelo Inicial de los Estudiantes

El análisis se realizó sobre todo el conjunto de producciones escritas hechas por los estudiantes en el desarrollo de la secuencia. Sin embargo para efectos de presentación y profundidad analítica, en algunos apartados se retoman respuestas representativas que permiten poner como ejemplo las tendencias y niveles de modelización identificados durante el proceso.

A partir de las explicaciones recogidas, es posible reconocer que los estudiantes no solo expresan palabras sueltas, sino que construyen una manera particular de entender lo que ocurre cuando dos cuerpos con diferente estado térmico interactúan.

Esta interpretación surge a partir de elementos que empiezan a repetirse en distintas respuestas, como las ideas de mezcla, transferencia, punto medio o intercambio entre cuerpos. Aunque las explicaciones no aparecen completamente determinadas, sí permiten identificar ciertas repeticiones y concordancias en la manera en que los estudiantes organizan y explican el fenómeno.

En varios casos esta forma de entender el fenómeno se organiza alrededor de una explicación que gira en torno a la mezcla. Los estudiantes explican lo que ocurre a partir del resultado final, señalando que los cuerpos “quedan tibios” o que “llegan a un punto medio”. Desde esta mirada el énfasis no está en lo que pasa durante la interacción, sino en cómo termina. Esto hace que el fenómeno se interprete más como una combinación de estados que como un proceso en el que intervienen relaciones entre los cuerpos.

Al mismo tiempo en algunas respuestas aparece una explicación de que algo pasa de un cuerpo a otro. Se habla de que el calor “se pasa”, “se transmite” o “se intercambia”. Sin embargo, esta explicación no siempre está bien definida. En muchos casos no se precisa qué es lo que se transfiere ni cómo ocurre ese proceso, por lo que la explicación queda en un nivel general. Es decir, se reconoce que hay interacción, pero no se logra organizar claramente cómo se da.

Aunque estas explicaciones todavía presentan incertidumbre sobre qué se transfiere o cómo ocurre ese proceso, y permiten reconocer que hay intentos por explicar mostrando un avance hacia modelos más relacionales, en los que empiezan a aparecer conexiones entre los elementos del fenómeno.

También se nota que las explicaciones suelen centrarse en lo que se observa directamente. Los cambios de temperatura o de estado se describen a partir de lo visible o lo que se percibe, pero no siempre se establecen relaciones entre las condiciones iniciales de los cuerpos y el resultado de la interacción. Esto hace que las explicaciones funcionen para casos puntuales, pero tengan dificultades cuando la situación cambia.

Esto permite identificar que pese a que las explicaciones funcionan para describir situaciones puntuales, todavía presentan dificultades para establecer relaciones mas

consistentes entre las variables del fenómeno y utilizar esas relaciones para explicar nuevos casos o situaciones que se plantean de forma diferente.

Un punto que aparece con fuerza es la confusión entre calor y temperatura. En varias respuestas, ambos términos se usan como si fueran lo mismo o se explican uno con el otro. Esto muestra que, aunque los estudiantes utilizan palabras propias del lenguaje de la física, estas no siempre están integradas dentro de una explicación que dé cuenta del fenómeno.

Esto permite observar que algunos estudiantes usan términos propios del lenguaje de física, aunque sin establecer relaciones entre ellos dentro de la explicación del fenómeno. Por ejemplo, en algunas respuestas se afirma que “la temperatura mide el calor”, lo que muestra que ambos conceptos siguen apareciendo como equivalentes o que son dependientes uno con otro, dificultando la construcción de explicaciones más organizadas sobre la interacción térmica.

Estas explicaciones permiten describir lo que ocurre en términos generales, especialmente cuando se trata de describir el resultado de la interacción. Sin embargo, presenta limitaciones cuando se requiere dar cuenta del proceso, establecer relaciones entre variables o explicar cambio en función de las condiciones de los cuerpos.

Esto se evidencia como por ejemplo, cuando algunos estudiantes logran explicar que “el calor se pasa” entre los cuerpos, pero todavía presentan dificultades para relacionar ese proceso con variables como la cantidad de sustancia o las condiciones iniciales. De esta manera las explicaciones muestran ciertos avances hacia modelos más organizados, aunque aún con relaciones parciales o poco consistentes entre los distintos elementos del fenómeno.

En función de ello más que partir de cero, los estudiantes cuentan con una base desde la cual pueden reorganizar de manera progresiva sus explicaciones sobre el fenómeno.

Esto se observa especialmente en respuestas donde los estudiantes comienzan a reconocer relaciones entre los cuerpos o incorporan condiciones como la cantidad de sustancia, aunque todavía no logren sostener esas explicaciones de manera completamente estable. Por ello más que reemplazar sus ideas iniciales, el análisis permite identificar elementos desde los cuales sus modelos pueden seguir reorganizándose progresivamente.

Tensión y ajuste de los modelos durante la secuencia

A partir de estas formas de explicación se hace necesario identificar en qué momentos de la secuencia estas explicaciones pueden ponerse en duda y empezar a reorganizarse. En otras palabras no se trata de reemplazar lo que los estudiantes dicen al inicio, sino de ver cómo esas explicaciones se van ajustando a medida que se enfrentan a nuevas situaciones. En la Tabla 3 se sintetiza este proceso relacionando algunas de las formas iniciales de explicación con las actividades que las tensionan y los ajustes que se espera que vayan construyendo.

Estas tensiones se reconocen especialmente cuando las explicaciones iniciales de los estudiantes dejan de ser lo suficientes para dar cuenta de nuevas situaciones planteadas durante la secuencia. Por ejemplo, respuestas centradas únicamente en “queda tibio” o “se mezclan” empiezan a presentar limitaciones cuando cambian variables como la cantidad de sustancia o las condiciones iniciales de los cuerpos.

Tabla 3*Ajustes en las explicaciones de los estudiantes durante la secuencia*

Formas iniciales de explicación	Situaciones que las ponen en tensión	Cómo se espera que se vayan ajustando las explicaciones
“queda tibio”, “se mezcla”, “punto medio”	Situación 2: cambio en la cantidad de sustancia	Empezar a notar que el resultado no siempre es el mismo y que depende de cómo están los cuerpos al inicio
“el calor se pasa” (sin mayor explicación)	Situación 3: interacción en diferentes condiciones	Ir precisando mejor qué pasa entre los cuerpos, no solo decir que “se pasa”, sino cómo se relacionan
Explicaciones centradas solo en lo que se ve	Situación 4: comparación de casos similares	Pasar de describir casos sueltos a reconocer que hay comportamientos que se repiten
Confusión entre calor y temperatura	Situación 5: uso de gradientes	Empezar a diferenciar estas dos dentro de la explicación del fenómeno
“equilibrio = punto medio” o “estado quieto”	Actividad 6: situaciones donde no hay cambio visible	Entender que el equilibrio no es solo “quedar igual”, sino que ya no hay intercambio entre los cuerpos

En la Tabla 3 se observa es que estas situaciones no buscan que los estudiantes “cambien” sus modelos de manera inmediata, sino que tengan la posibilidad de ponerlos a prueba y revisarlos a partir de lo que ocurre en cada actividad. Algunas de las explicaciones iniciales se mantienen, otras se reorganizan y se van refinando progresivamente frente a las nuevas situaciones.

La secuencia no se plantea en coherencia con el modelo científico escolar. Buscando favorecer una transición progresiva desde las explicaciones centradas en lo observable a explicaciones más relacionales.

Ya identificadas las situaciones que tensionan las explicaciones iniciales, se hace necesario analizar como estas comienzan a transformarse en los modelos explicativos se de los estudiantes a lo Largo de la implementación.

Transformación de los modelos explicativos de los estudiantes

Una vez desarrollada la secuencia en el aula es necesario analizar las producciones de los estudiantes con el fin de reconocer cómo están dispuestas sus formas de explicación frente a la interacción térmica y qué tipo de ajustes se evidencian a lo largo de las actividades propuestas. Más que identificar respuestas correctas o incorrectas el interés se centra en comprender cómo los estudiantes organizan esas explicaciones, qué relaciones establecen y hasta dónde logran dar cuenta del fenómeno.

En continuidad con la situación inicial planteada en el aula, a partir de la cual se recogieron las primeras explicaciones de los estudiantes, se observa que la mayoría logra construir una forma de entender lo que ocurre cuando dos cuerpos con diferente estado térmico interactúan, aunque no todos lo hacen con el mismo nivel de elaboración.

En términos generales, estas explicaciones se reorganizan alrededor de respuestas que son recurrentes como “queda tibio”, que “se igualan”, que “llegan a un punto medio”. Esa explicación les funciona para responder rápido, pero se queda corta cuando se les pide explicar qué pasó en el proceso, no solo en el final.

Al mismo tiempo, aparece bastante la explicación de que algo se pasa de un cuerpo a otro. Dicen que el calor “se pasa”, “se reparte”, “se distribuye”. No siempre queda claro qué es eso que se pasa ni cómo ocurre y ahí hay vacíos, pero igual se nota que ya están pensando en términos de interacción, no solo de mezcla. Eso ya es un avance frente a lo anterior.

También hay respuestas donde empiezan a incluir más elementos. Sobre todo la cantidad. Varios dicen, en otras palabras, que con más agua el cambio se nota menos y con menos agua se nota más. No todos lo explican igual, pero justamente estas respuestas aparecen. Ahí ya no es solo describir, es intentar explicar por qué pasa lo que pasa.

Ahora no todo se reorganiza tan fácil. Sigue apareciendo la confusión entre calor y temperatura, a veces como si fueran lo mismo, a veces como si uno midiera al otro sin mucha claridad. Y con el equilibrio pasa algo parecido: muchos lo dejan en “quedan iguales” o “ya no pasa nada”, sin entrar mucho en qué significa eso en términos de interacción. Con estas respuestas se ve es que los estudiantes sí tienen explicaciones iniciales, aunque parciales e inestables frente a las tensiones determinadas.

A partir de las formas de explicación que aparecen en las respuestas de los estudiantes, se puede ir viendo que no todos están explicando al mismo nivel. Es decir, aunque hablen del mismo fenómeno, no lo están modelizando de la misma manera y eso se nota en cómo organizan lo que dicen. Estos niveles se identifican teniendo en cuenta los elementos que logran determinar dentro de sus explicaciones, por ejemplo si únicamente describen el resultado final, si reconocen relaciones entre los cuerpos o si incorporan variables como la cantidad de sustancia para justificar lo que ocurre. En función de esto las respuestas permiten reconocer distintos niveles de elaboración dentro de los modelos explicativos construidos por los estudiantes.

En un primer nivel, que se podría llamar más descriptivo, se ubican aquellas explicaciones que se centran casi únicamente en el resultado. Aquí aparecen expresiones como “queda tibio”, “se mezclan” o “llegan a un punto medio”. En este tipo de respuestas no hay mucha elaboración sobre el proceso, más bien se describe lo que pasa al final y

ya. Sirve para dar cuenta de la situación, pero se queda corta cuando uno cambia las condiciones o pide un poco más de explicación. En este nivel se evidencia que las explicaciones se centran en lo que es observable y en el resultado final, sin establecer las relaciones de forma clara entre las condiciones iniciales, las propiedades y el proceso de interacción térmica

Luego se puede identificar un nivel en el que empieza a aparecer una explicación conforme a la relación entre los cuerpos. En estas explicaciones los estudiantes hablan de que el calor “se pasa”, “se reparte” o “se distribuye”. No siempre lo dicen con precisión, y a veces lo dejan como algo medio obvio, pero ya no es solo el resultado, sino que reconocen que hay una interacción. Aquí se ve un avance aunque todavía no se logra organizar bien cómo ocurre ese proceso. En este nivel las explicaciones ya no se centran únicamente en el resultado, sino que empiezan a incorporar relaciones entre los cuerpos involucrados, reconociendo que existe una interacción que produce el cambio, aunque todavía sin una organización completamente estable del proceso.

En un nivel un poco más elaborado algunos estudiantes empiezan a incorporar relaciones entre variables sobre todo la cantidad de sustancia. Por ejemplo, cuando dicen que con más agua el cambio se nota menos, o que en menor cantidad es más evidente. Este tipo de explicaciones ya intenta dar razones, no solo describir. Igualmente, no todos lo hacen de manera consistente. Cabe resaltar que a diferencia del nivel anterior, aquí las explicaciones empiezan a incorporar variables que permiten justificar por qué el resultado cambia entre distintas situaciones, estableciendo relaciones más elaboradas entre las propiedades de los cuerpos y el fenómeno observado, aunque estas relaciones todavía no siempre se mantengan de forma consistente. Por ejemplo cuando algunos estudiantes

explican que “con más agua el cambio se nota menos” o que “depende de la cantidad” intentando de esta manera relacionarlo con condiciones dadas de los cuerpos.

Estos niveles no son rígidos. En varios casos se ve que un mismo estudiante puede dar explicaciones de diferente nivel en diferentes situaciones, demostrando así que la practica de modelización no es de manera lineal ni homogénea.

En base a estos niveles los cuales permiten ver que la modelización no ocurre de golpe, sino que se va construyendo poco a poco. No es perfecto, pero sí deja ver que hay un movimiento en la forma en que están entendiendo la interacción térmica.

Para organizar mejor el análisis de las explicaciones de los estudiantes se proponen algunos niveles de modelización que permiten ver cómo están interpretando la interacción térmica. Estos niveles no son cerrados, sino que buscan dar una idea de las formas en que los estudiantes explican el fenómeno, lo que logran hacer y lo que todavía les cuesta. Estos niveles se construyen a partir de similitudes o respuestas reiteradas identificadas en los estudiantes, teniendo en cuenta la forma en que describen el fenómeno, las relaciones que establecen y las variables que logran incorporar dentro de sus explicaciones. En la Tabla 4 se presenta esta organización a partir de los escritos analizados.

Tabla 4

Niveles de modelización en las explicaciones de los estudiantes

Nivel de modelización	Cómo se ven las explicaciones	Que logran hacer	Qué todavía les cuesta	Ejemplos de estudiantes
Descriptivo	Se centran en el resultado final. Usan explicaciones con mezcla o punto medio. No aparece el	Describen lo que pasa al final de la interacción.	Explicar cómo ocurre el cambio. Relacionar condiciones iniciales.	“queda tibio”, “se mezclan”, “llegan a un punto medio”

	proceso.			
Relacional	Reconocen que hay interacción. Hablan de transferencia o distribución.	Identifican que algo pasa de un cuerpo a otro.	Precisar qué se transfiere y cómo ocurre. Diferenciar calor y temperatura.	“el calor se pasa”, “se reparte”, “se distribuye”
Relacional con variables	Incorporan condiciones como la cantidad de sustancia. Intentan explicar diferencias en resultados.	Relacionan variables y explican por qué cambia el resultado.	Mantener la explicación de forma consistente. Integrar todas las variables del fenómeno.	“con más agua se nota menos”, “depende de la cantidad”, “en menos cantidad es más fuerte el cambio”

Como se ve en la Tabla 4, no es que cada estudiante se ubique de forma fija en un solo nivel. En varios casos mezclan explicaciones o pasan de una forma de explicar a otra dependiendo de la situación. A veces usan una explicación más simple y luego intentan algo más elaborado, pero no siempre lo sostienen del todo. Esto hace ver que la modelización no es un proceso lineal, ni mucho menos inmediato. Más bien se va dando poco a poco con avances, pero también con ciertas dudas o regresos a ideas más iniciales. En algunos momentos logran relacionar variables o pensar en términos de interacción, pero en otros vuelven a centrarse en el resultado.

En ese sentido los niveles que se presentan en la tabla no buscan encasillar a los estudiantes, sino más bien dar una idea de cómo se van configurando sus explicaciones. Es una forma de leer el proceso, no de cerrarlo. Y cabe aclarar eso también muestra que todavía hay cosas que no están del todo claras para ellos, pero que ya hay una base desde la cual se puede seguir trabajando.

A partir de estas transformaciones se hace necesario analizar en qué medida las explicaciones construidas por los estudiantes se aproximan al modelo científico escolar propuesto. Por ellos se revisa cómo empiezan a aparecer elementos como la interacción entre cuerpos, la relación entre variables, las condiciones iniciales y las explicaciones sobre transferencia y equilibrio térmico dentro de sus respuestas. Esto permite identificar no solo los cambios en las explicaciones sino también el grado de acercamiento que logran construir frente al modelo planteado como referente para la investigación.

Análisis de las explicaciones en relación con el modelo científico escolar

A partir de lo que se ha venido analizando en las explicaciones de los estudiantes, también se hace necesario mirar hasta qué punto estas formas de explicar logran acercarse al modelo científico escolar de la interacción térmica que se planteó como referente en este trabajo. No tanto para decir si están bien o mal, sino para ver qué elementos del modelo aparecen, cuáles no, y cómo se van incorporando, o no, a lo largo de la secuencia.

Si se toma como referencia el modelo propuesto, se espera que los estudiantes logren reconocer, por un lado, la interacción entre cuerpos como un proceso y no solo como un resultado. En función de ello varios estudiantes empiezan a dar ese paso, especialmente cuando dejan de hablar solo de “mezcla” y comienzan a decir que algo pasa de un cuerpo a otro. Aunque no siempre lo expliquen bien, ahí ya hay una aproximación a la transferencia de energía.

Ahora bien cuando se mira con más detalle, se nota que ese acercamiento es todavía parcial. Por ejemplo, aunque aparece el hecho de que “el calor se pasa”, no siempre se logra diferenciar con claridad entre calor y temperatura, lo que muestra que

uno de los elementos del modelo (la distinción entre propiedad y proceso) todavía no se consolida del todo. Entonces sí hay un avance, pero no es completo.

Por otro lado, en relación con las propiedades del cuerpo, como la cantidad de sustancia, algunos estudiantes logran incorporarlas en sus explicaciones. Cuando dicen que el resultado depende de la cantidad de agua o que el cambio se nota más en menor cantidad, están reconociendo que no todos los cuerpos responden igual a la interacción. Esto se acerca a lo planteado en el modelo, donde se considera que las propiedades influyen en el resultado, e respuestas donde se identifica que la cantidad de agua influye y no solamente es la acción de mezclar, incorporando de esta manera relaciones entre variables, aunque no siempre logran sostener esa concepción.

En cuanto a las relaciones entre variables, el avance es más irregular. En algunos casos se logran establecer relaciones entre estado inicial y resultado, pero en otros se vuelve a explicaciones más generales o centradas en el resultado. Es decir, la relación aparece, pero no siempre se mantiene. Esto evidenciado en respuestas donde se logra relacionar condiciones iniciales con el resultado, pero en otras actividades retoman la explicación general de que “se igualan” y “queda tibio”.

Finalmente frente al equilibrio térmico, se observa que la mayoría de los estudiantes lo interpreta como un punto medio o como un estado en el que “todo queda igual”. Esto muestra una distancia notable frente al modelo científico escolar, donde el equilibrio se entiende como una condición en la que no hay transferencia neta de energía. Por ello las explicaciones continúan centrándose principalmente en el resultado observable y no en las relaciones que sostienen el proceso de interacción.

Con esto se puede decir que las explicaciones de los estudiantes no coinciden plenamente con el modelo científico escolar, pero sí se aproximan a algunos de sus elementos. Este acercamiento no es uniforme ni estable, más bien se da de manera parcial y en algunos casos intermitente. Aun así, permite ver que la secuencia genera condiciones para que los estudiantes empiecen a construir explicaciones que se van acercando progresivamente al modelo propuesto, aunque todavía queden aspectos por consolidar.

Este acercamiento parcial se reconoce especialmente en respuestas donde los estudiantes comienzan a incorporar relaciones entre interacción, transferencia y cantidad de sustancia, aunque todavía mantienen explicaciones centradas en el resultado final o dificultades para diferenciar conceptos como calor y temperatura. Esto muestra que algunos elementos del modelo científico escolar empiezan a aparecer dentro de sus explicaciones, pero aún no logran integrarse de manera completamente estable.

En función del análisis se hace posible identificar tanto los alcances como las limitaciones que presentan las explicaciones de los estudiantes en el proceso de construcción de sus propios modelos.

Alcances y límites en la construcción del modelo

A partir del análisis de las explicaciones de los estudiantes se puede ver que, aunque no todos llegan al mismo nivel, sí logran construir ciertas explicaciones que les permiten dar sentido a la interacción térmica entre cuerpos. No es que se acerquen al modelo completo, pero sí hay cosas que empiezan a aparecer de forma un poco más clara.

Alcances del Modelo Construido por los Estudiantes

Uno de los alcances más evidentes es el reconocimiento de que hay una interacción entre los cuerpos. En varias respuestas ya no se quedan únicamente en el

resultado, sino que mencionan que algo pasa de un cuerpo a otro, que el calor se transfiere o se reparte. Aunque no siempre lo expliquen acercándose al modelo científico escolar ya está y eso es importante porque permite dejar atrás explicaciones centradas solo en la mezcla.

También se alcanza a ver que algunos estudiantes empiezan a considerar condiciones del sistema, como la cantidad de sustancia. Cuando dicen que con más agua el cambio se nota menos o que en menor cantidad es más evidente, están reconociendo que el resultado depende de cómo están los cuerpos al inicio.

Otro aspecto que se puede destacar es que en algunos momentos, los estudiantes logran ir más allá de describir lo que ven e intentan explicar por qué ocurre. No siempre lo hacen de manera completa, a veces la explicación queda a medio camino, pero ya hay un intento de dar razones, de conectar lo que pasa con ciertas condiciones.

Además el uso de la analogía, aunque no es uniforme en todos, sí aparece como un apoyo para pensar el fenómeno. Algunos estudiantes la usan para organizar lo que dicen, para comparar situaciones o para justificar sus respuestas, aunque en otros casos su uso es más superficial.

Estos elementos muestran que los estudiantes no solo repiten explicaciones concebidas con anterioridad, sino que empiezan a construir explicaciones que, aunque todavía parciales, les permiten acercarse al fenómeno de una manera más estructurada. No es un modelo acabado, claramente no lo es, pero sí hay avances que dan cuenta de un proceso de construcción en curso.

Límites en las Explicaciones de los Estudiantes

Así como se logran ver algunos avances en las explicaciones de los estudiantes, también aparecen varias dificultades que no se resuelven del todo a lo largo de la secuencia. No es que desaparezcan sino más bien se mantienen, a veces un poco más elaboradas, pero siguen ahí, entonces vale la pena miraras con cuidado.

Una de las tensiones más claras tiene que ver con la relación entre calor y temperatura. En varias respuestas estos dos términos se usan como si fueran lo mismo, o se explican uno con el otro sin mucha distinción. A veces dicen que el calor es la temperatura o que la temperatura “mide el calor” sin mayor desarrollo, entonces ahí hay algo que no termina de organizarse bien.

También se mantiene en bastantes casos la explicación de equilibrio como un punto medio o como un estado en el que simplemente “todo queda igual”. Aunque esto puede tener algo de sentido desde lo que observan, se queda corto para explicar el fenómeno en términos de interacción. Es como si el proceso desapareciera y solo quedara el resultado, entonces sí, hay una explicación, pero no alcanza del todo.

Otra dificultad que aparece es que, aunque algunos estudiantes logran relacionar variables como la cantidad de sustancia, no siempre logran sostener esa explicación. Es decir, en un momento dicen que depende de la cantidad, pero luego vuelven a explicaciones más generales o centradas en la mezcla. Entonces hay como un intento pero no siempre se mantiene, se pierde un poco.

Además el uso de la analogía no siempre se aprovecha del todo. Algunos estudiantes la utilizan para apoyar lo que dicen, pero otros la dejan de lado o la usan de

manera muy superficial. Entonces, aunque la herramienta está, no en todos los casos se convierte realmente en un apoyo fuerte para la explicación.

Estas dificultades muestran que el proceso de modelización no es directo ni completamente estable. Hay avances, sí, pero también hay retrocesos o dudas que siguen apareciendo. No es un camino limpio, por decirlo así, sino más bien algo que se va construyendo poco a poco, con explicaciones que se van ajustando, otras que se mantienen, y algunas que todavía no terminan de encajar del todo.

Cómo Usaron la Analogía los Estudiantes

A lo largo de la secuencia, la analogía fue apareciendo en las respuestas de los estudiantes de maneras distintas, no todos la usaron igual ni le sacaron el mismo provecho. En varios casos sí les sirvió para organizar lo que querían decir, como que les daba una base o un apoyo para explicar lo que iba pasando, pero en otros quedó más por encima, como mencionada y ya.

En algunos estudiantes se nota que la analogía les ayudó a relacionar el color con la temperatura o las gotas con el calor, entonces desde ahí intentaban explicar por qué un vaso cambiaba más que otro o por qué al mezclar se llegaba a algo intermedio. No siempre lo hacían con mucha precisión, eso no, pero sí se veía que la analogía les daba una forma de pensar el fenómeno y no solamente de describirlo.

También se alcanza a ver que la analogía les ayudó bastante cuando tenían que comparar casos. Sobre todo, en actividades donde cambiaba la cantidad de agua o la cantidad de colorante, porque ahí varios estudiantes retomaban esa relación para justificar por qué en un caso el cambio era más fuerte o más notorio que en otro. O sea, no era solo mirar el vaso, sino tratar de explicarlo con algo que ya habían venido construyendo.

Ahora, tampoco fue igual en todos. En algunos casos la analogía aparece pero muy superficial, como si solo repitieran que el colorante era el calor o que el tono era la temperatura, pero sin meter eso de verdad dentro de la explicación. Entonces sí la mencionan, pero no siempre les sirve para ir más allá. En ese sentido a veces queda más como referencia que como herramienta real de explicación.

También pasó que algunos estudiantes la usaron de manera muy directa, casi como si la analogía fuera el fenómeno mismo, y ahí se empieza a desdibujar un poco su función. Eso también muestra que la analogía ayuda, sí, pero no se puede dejar sola. Hay que ir la trabajando, ir la conversando, porque si no se vuelve una equivalencia muy literal.

En definitiva se puede decir que la analogía sí tuvo un papel importante en la construcción de las explicaciones, aunque no fue el mismo para todos. En varios casos ayudó a ordenar el modelo, a comparar situaciones y a dar razones, aunque fuera de manera parcial. En otros fue más limitado. En general la analogía dio un apoyo para pensar y reorganizar lo que ocurría en la interacción térmica.

Discusión

A partir de los resultados obtenidos, se puede ver que la secuencia no solo permitió que los estudiantes hablaran del fenómeno, sino que, en varios casos, empezaran a reorganizar la forma en que lo explican. No es un cambio completo ni mucho menos algo cerrado, más bien es un proceso que se va dando poco a poco, con avances, pero también con momentos donde vuelven a explicaciones más iniciales, mostrando que no es tan lineal, así que en este sentido, los resultados permiten dar cuenta del proceso de construcción y transformación de los modelos explicativos de los estudiantes, en concordancia con los objetivos planteados en la investigación

En relación con lo que plantea Couso (2020), se puede decir que aquí no se trata simplemente de si los estudiantes aprendieron o no ciertos conceptos, sino de cómo están construyendo explicaciones sobre la interacción térmica. En ese sentido, lo que aparece en las respuestas no es tanto un “saber correcto”, sino diferentes formas de modelizar el fenómeno, algunas más cercanas al modelo científico escolar planteado y otras más alejadas. Esto se evidencia por ejemplo, cuando pasan de decir que “se mezcla” a intentar explicar que algo se transfiere, aunque no siempre logren mantener esa explicación en todas las situaciones.

Ahora, si se analiza más directamente en relación con el modelo propuesto, se puede ver que hay un acercamiento parcial a varios de sus elementos, se evidencia especialmente en respuestas donde los estudiantes dejan de explicar el fenómeno únicamente como una “mezcla” y comienzan a reconocer que existe una interacción entre los cuerpos. Dejando ver la interacción como proceso, lo cual es importante porque deja de centrarse únicamente en el resultado. Sin embargo, la diferenciación entre calor y temperatura sigue siendo una dificultad persistente, lo que muestra que no todos los componentes del modelo se construyen con la misma facilidad o al mismo ritmo.

En este punto, lo que plantean Gutiérrez (2014) y Tuay (2012) cobra bastante sentido, en cuanto a que los modelos no se adquieren como un todo, sino que se van construyendo de manera progresiva, con elementos que aparecen, se reorganizan y a veces se pierden. En las respuestas de los estudiantes se nota bastante, porque en algunos momentos logran relacionar variables como la cantidad de sustancia, pero luego vuelven a explicaciones más generales, entonces se puede identificar que no siempre se sostiene.

También es importante entender que las dificultades que aparecen no pueden leerse únicamente como errores, sino como formas de explicación que todavía no logran dar cuenta del fenómeno en toda su complejidad. Por ejemplo, la explicación de equilibrio como punto medio sigue apareciendo en varios casos, lo cual muestra una distancia frente al modelo científico escolar, donde el equilibrio se entiende como ausencia de transferencia neta de energía. Aun así, esta explicación no es completamente descartable, sino que funciona como un punto de partida que necesita ser trabajado.

En cuanto a la analogía, los resultados muestran que puede funcionar como una herramienta que facilita la construcción de explicaciones, especialmente cuando se usan para comparar situaciones o justificar diferencias en los resultados. Esto se relaciona con lo planteado por Harrison y Treagust (2006), aunque también se evidencia que su uso no es automático ni homogéneo. En algunos casos se queda en un nivel superficial o incluso literal, lo que limita su potencial dentro del proceso de modelización.

La modelización no ocurre de manera inmediata ni uniforme, sino como un proceso en el que los estudiantes se van acercando al modelo científico escolar de forma progresiva, aunque no siempre estable. Esto permite afirmar que la secuencia no produce un modelo acabado, pero sí genera condiciones para que los estudiantes pongan en juego sus explicaciones, las confronten y en algunos casos, las ajusten en función de nuevas situaciones, lo cual permite afirmar que la secuencia favorece procesos de modelización en el aula, en la medida en que promueve la construcción, uso y revisión de explicaciones por parte de los estudiantes frente a la interacción térmica entre cuerpos.

Conclusiones

A partir del desarrollo de la secuencia y del análisis de las explicaciones de los estudiantes, se evidencia que los estudiantes no parten de cero, sino que cuentan con formas iniciales de explicar la interacción térmica. Estas formas iniciales no desaparecen del todo, se reorganizan, se ajustan, y en algunos casos se vuelven un poco más elaboradas pese a que no siempre se mantengan. En este sentido, estos resultados permiten dar cuenta de la caracterización de los modelos iniciales y de su transformación a lo largo de la secuencia, en coherencia con los objetivos propuestos en la investigación.

El aprendizaje de estos fenómenos no se evidencia únicamente en la apropiación de conceptos, sino en la forma en que los estudiantes logran reorganizar sus explicaciones y como logran utilizarlas para dar cuenta del fenómeno.

En relación con el modelo científico escolar planteado, los resultados muestran un acercamiento parcial por parte de los estudiantes. Algunos de sus elementos comienzan a aparecer, como la explicación de interacción entre cuerpos o la influencia de la cantidad de sustancia, sin embargo, otros aspectos, como la diferenciación entre calor y temperatura o la comprensión del equilibrio térmico, siguen presentando dificultades. Esto permite ver que el modelo no se construye de una vez, sino que se va configurando poco a poco, y no siempre de forma completa.

Se concluye que la modelización, entendida como la construcción y uso de explicaciones, no es un proceso lineal ni inmediato. En varios casos los estudiantes avanzan en sus explicaciones, pero luego vuelven a explicaciones iniciales o generales, mostrando que hay cierta inestabilidad en el proceso. Aun así estos movimientos hacen parte de la construcción del modelo y no deben verse únicamente como retrocesos.

El uso de la analogía, se puede decir que cumplió un papel importante en la construcción de explicaciones, aunque no de la misma manera en todos los estudiantes. En algunos casos permitió organizar explicaciones, comparar situaciones y justificar respuestas, en otros su uso fue más superficial. Esto muestra que la analogía puede ser una herramienta útil, pero que requiere ser acompañada y orientada por el docente.

Por otro lado, se identifican dificultades persistentes, como la tendencia a interpretar el equilibrio térmico como un punto medio o la confusión entre calor y temperatura. Estas dificultades no desaparecen completamente, pero sí se ponen en tensión a lo largo de la secuencia, lo cual abre la posibilidad de seguir trabajándolas desde las propias explicaciones de los estudiantes.

Este trabajo permite concluir que es posible generar condiciones en el aula para que los estudiantes construyan y ajusten sus explicaciones sobre la interacción térmica, aunque este proceso no sea inmediato ni completamente estable. Lo que se logra es poner en movimiento las explicaciones de los estudiantes, permitiendo que se confronten, se ajusten y en algunos casos, se acerquen al modelo científico escolar planteado. Se evidencia que la modelización constituye una vía pertinente para la enseñanza de la física, en la medida en que favorece la construcción, uso y revisión de explicaciones por parte de los estudiantes frente a los fenómenos que estudian.

Finalmente se considera pertinente continuar explorando este tipo de propuestas en otros contextos escolares y fortalecer la articulación entre las analogías cromáticas y formas de representación más abstractas propias de la física escolar. Igualmente futuras investigaciones podrían profundizar en el análisis de cómo los estudiantes reorganizan sus explicaciones a lo largo de procesos más extensos de modelización en el aula.

Recomendaciones

A partir de lo trabajado en la secuencia y de lo que se pudo observar en las explicaciones de los estudiantes, se pueden plantear algunas recomendaciones para el trabajo en el aula, pensando en cómo seguir fortaleciendo este tipo de procesos, porque claramente esto no se cierra aquí, queda abierto requiriendo continuidad en el aula.

En primer lugar, es importante seguir trabajando a partir de situaciones cercanas a los estudiantes, como la que se utilizó en este caso. Este tipo de situaciones permite que los estudiantes se involucren más fácilmente y que puedan dar explicaciones desde lo que ya piensan, en la medida en que estas situaciones facilitan la construcción de explicaciones desde sus propias experiencias (Couso, 2020). Igualmente, no es solo plantear la situación y ya, sino saberla dinamizar, problematizarla, retomarla, volver sobre ella, porque ahí es donde realmente empieza a tener sentido.

También se recomienda dar espacio a que los estudiantes expliquen con sus propias palabras, sin apresurarse a corregir o a dar la “respuesta correcta”. A veces uno como profesor en ejercicio se quiere cerrar rápido las actividades, pero en este tipo de trabajo es clave dejar que las explicaciones circulen, que se confronten entre ellos, que se equivoquen también, porque de ahí salen cosas interesantes, no siempre ordenadas, pero demuestran una evolución de modelo, ya que este proceso hace parte de la construcción progresiva de modelos explicativos (Tuay, 2012).

En relación con el uso de analogías, se sugiere no solo presentarlas, sino acompañar su uso a lo largo de la secuencia. Como se vio, no todos los estudiantes las aprovechan de la misma manera, entonces es importante volver sobre ellas, discutir las, mirar y analizar hasta dónde sirven y también sus límites. Si no se hace ese trabajo,

pueden quedarse en algo muy superficial o tomarse de forma literal. siempre su uso debe ser acompañado y reflexivo (Harrison & Treagust, 2006).

Por otro lado, es necesario seguir trabajando en la diferenciación entre calor y temperatura, ya que esta dificultad aparece de manera recurrente. No basta con definirlos en un momento, sino que es algo que se debe ir retomando en distintas situaciones, conectándolo con lo que los estudiantes van diciendo.

Ya para finalizar se recomienda entender que este tipo de procesos requieren tiempo. La construcción de explicaciones no se da de una vez ni en una sola actividad. Se necesita volver sobre las explicaciones, ponerlas a prueba en distintos contextos, y permitir que se vayan ajustando poco a poco. No es inmediato y eso hay que tenerlo en cuenta en la planificación.

Estas recomendaciones apuntan a seguir fortaleciendo el trabajo con modelización en el aula, entendiendo que no se trata solo de que los estudiantes aprendan conceptos, sino de que puedan construir progresivamente formas de explicar los fenómenos que tengan sentido para ellos, que asimismo puedan ser utilizadas contrastadas y ajustadas en relación con situaciones propuestas.

Referencias

- Bautista, G. (2010). Conocimiento y realidad. Universidad Pedagógica Nacional.
- Couso, D. (2020). Aprender ciencias involucra aprender ideas potentes de la ciencia: La modelización ayuda a la explicación-predicción de fenómenos. En D. Couso, M. R. Jiménez-Liso, C. Refojo & J. A. Sacristán (Coords.), Enseñando ciencia con ciencia (pp. 55–84). Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT) & Fundación Lilly.
- Duit, R. (2009). Bibliografía STCSE: Concepciones de estudiantes y profesores sobre la educación científica. *Kiel, Alemania: Universidad de Kiel*.
- Gentner, D. (1983). Structure-mapping: A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, 7(2), 155–170. https://doi.org/10.1207/s15516709cog0702_3
- Gutiérrez, R. (2014). Lo que los profesores de ciencias conocen y necesitan conocer acerca de los modelos: Aproximaciones y alternativas. *Bio-grafía*, 7(13), 37–66
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2006). Teaching and learning with analogies. En J. K. Gilbert (Ed.), *The science of science education* (pp. 11–24). Springer.
- Universidad Nacional Autónoma de México. (2016). El uso de modelos visuales para la enseñanza de la temperatura y el calor en secundaria.
- Universidad Nacional de Colombia, Grupo de Investigación en Enseñanza de las Ciencias. (2017). Dificultades en la enseñanza y aprendizaje de la termodinámica en educación media.
- Tuay-Sigua, R. N. (2012). El papel de los modelos en la práctica científica. *Revista Científica*, 16(2), 109–117.

Anexos

Anexo A. Guía del aula

Situación 1. Construcción inicial del modelo de interacción térmica Se plantea una situación en la que un cuerpo recibe adiciones progresivas de colorante, generando cambios en su tonalidad. Los estudiantes describen y explican lo que ocurre, con el propósito de identificar sus explicaciones iniciales sobre el proceso.

Situación 2. Influencia de la cantidad de sustancia Se trabajan dos casos con diferente cantidad de agua a los que se les agrega la misma cantidad de colorante. Los estudiantes comparan los resultados y explican por qué no ocurre lo mismo en ambos. Con esto se busca que empiecen a tener en cuenta que no todo depende de lo que se hace, sino también de las características del cuerpo.

Situación 3. Interacción térmica entre cuerpos de distinta cantidad Se propone mezclar dos cuerpos con diferente cantidad de agua y distinto estado inicial. Antes de hacerlo, los estudiantes plantean lo que creen que va a pasar y luego explican el resultado. Aquí se empieza a ver cómo relacionan lo que ocurre con las condiciones iniciales.

Situación 4. Interacción térmica entre cuerpos de igual cantidad Se plantea una situación similar pero ahora con cuerpos que tienen la misma cantidad de agua. Los estudiantes comparan con lo que ocurrió antes y ajustan sus explicaciones. Esto permite que vayan encontrando regularidades en el fenómeno.

Situación 5. Representación de estados mediante gradientes Se construye una serie de vasos con diferentes tonalidades, manteniendo la misma cantidad de agua. A partir de esto, los estudiantes organizan, comparan y explican los diferentes estados. La

idea es que puedan ver el cambio como algo gradual y no solo como algo que “pasa o no pasa”.

Situación 6. Equilibrio térmico Se presenta una situación en la que dos cuerpos con la misma cantidad de agua y el mismo estado se ponen en contacto sin que se observe cambio. Los estudiantes deben explicar por qué ocurre esto, retomando las explicaciones que han venido construyendo durante la secuencia.

Anexo B. Guía del aula

El trabajo en el aula se fue dando a partir de varias actividades donde la idea no era llegar de una a la respuesta “correcta”, sino más bien que los estudiantes fueran diciendo cómo entendían lo que estaba pasando. Entonces, al inicio no se dieron definiciones ni nada muy formal, más bien se arrancó con situaciones para ver qué decían ellos.

El punto de partida fue algo muy sencillo, una bebida caliente en el aula. A partir de la pregunta de qué se podía hacer para enfriarla más rápido, salieron respuestas como soplar, dejarla quieta o echarle algo frío. Cuando se les pedía explicar por qué, muchos decían cosas como que “se mezcla”, “se enfría porque sí” o que “queda en un punto medio”, como muy general, sin entrar mucho en qué pasaba realmente.

A partir de ahí se empezaron a hacer otras actividades donde ya no solo era mirar, sino intentar explicar. En varias ocasiones se les preguntaba qué cambió, por qué pasó eso o si en otro caso pasaría lo mismo, pero muchas respuestas seguían siendo parecidas, como que “se reparte” o “todo se mezcla”, sin diferenciar mucho entre situaciones.

Cuando se cambió la cantidad de agua en los montajes, ahí sí algunos empezaron a notar que no daba igual en todos los casos. Eso hizo que la explicación de que “todo queda en la mitad” ya no cuadrara tanto. Igual, no todos lograban mantenerla cuando pasaban a otra situación, como que a veces volvían a lo mismo de antes.

Más adelante se insistió bastante en que compararan lo que pasaba en distintos casos, no solo quedarse con uno. En algunos momentos empezaron a decir cosas como que “depende de la cantidad” o que “algo pasa de uno a otro”, pero no siempre lo sostenían, entonces como que iban y venían en la explicación.

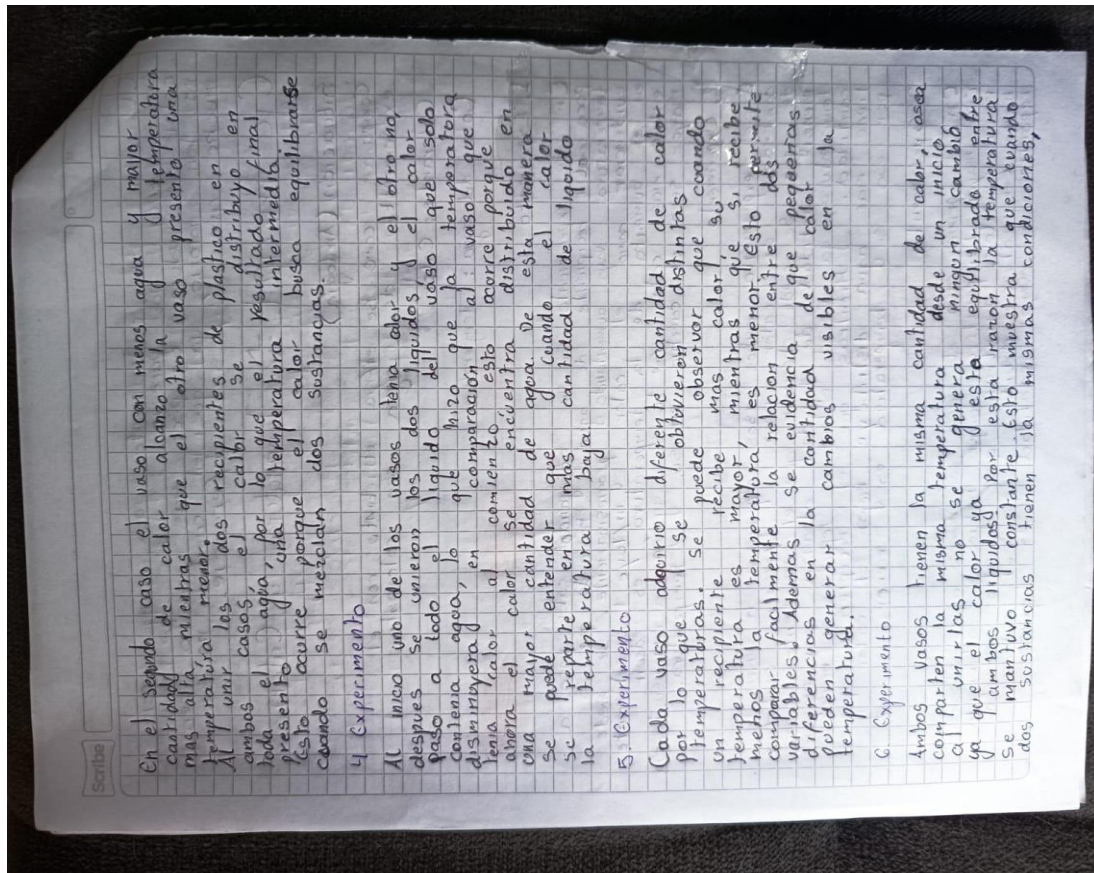
El tema del color se usó como una forma de ayudar a ver los cambios, pero sin decirles desde el inicio que era una analogía ni nada así. Más bien, con preguntas como qué representaba ese cambio o por qué un color se veía más fuerte que otro, algunos lo usaban para explicar mejor, pero otros solo lo dejaban en que “se ve diferente” y ya.

En la última parte con lo del equilibrio, varios seguían diciendo que “no pasa nada” cuando no se veía cambio. Pero en algunos casos ya empezaban a decir que pronto sí estaba pasando algo, solo que no se notaba, aunque no lo tuvieran tan claro.

Durante toda la secuencia, las preguntas iban más a que explicaran, compararan y pensarán lo que estaban diciendo, no tanto a darles la respuesta. Eso permitió ver que sus explicaciones no cambian de una, sino que se van moviendo poco a poco, a veces avanzan y otras veces vuelven a lo mismo, pero igual se van ajustando con lo que van viendo.

Anexo C. Respuestas Estudiantes

Las producciones incluidas en los anexos corresponden a respuestas representativas utilizadas durante el proceso de análisis. Estas fueron seleccionadas porque permiten evidenciar distintos niveles de modelización, formas de explicación y reorganización de los modelos explicativos observados a lo largo de la secuencia.



Experimento - Relación Calor y Temperatura

• Observación inicial

Los gotas de colorante significan el "calor", el cual aumenta la temperatura, por otro lado, la "temperatura" es la cantidad de agua y cómo se distribuye el calor dentro de ella (cada gota equivale hipotéticamente a 10 gramos).

→ y aumenta el tono del color mediante aumento del nivel de temperatura y temperatura = tono del color

Actividad

1. En un vaso con $1/2$ de agua, aplicar color hasta que sea necesario (de 10° en 10°)

R1/1: A medida que se aplica calor al vaso, la temperatura va aumentando, hasta que en un punto máximo de aumento por el tiempo en que permanece en el calor, el agua queda con la misma temperatura que el color aplicado, ejemplo, le aplicamos 50°

2. Con dos vasos, $1/2$ con distinta cantidad de agua ($1/4$ y $3/4$), agregar dos gotas de colorante en cada vaso

R1/2: al aplicar la misma cantidad de calor, la misma cantidad de tiempo (20° en 2 segundos), se aumentará más la temperatura, pues hay menos energía para las moléculas viajar, y generan más energía más rápido, por lo

El color queda prácticamente igual, aunque por un momento nos parece que el color se volvió un poco más oscuro pero no ha notorio, ya que el cambio no es mucho que se que el cambio no es

Cje Principal $\rightarrow$ Temperatura y Color

Situación (Analogía)

Comparar como se enfria el limo con el experimento de agua con colorante.

Colorante: Color

Color del agua: Temperatura

1. Experimento

En este experimento se va adquiriendo color poco a poco a un recipiente de agua, haciendo que la temperatura vaya aumentando progresivamente. Se puede evidenciar como el color influye directamente en el aumento de la temperatura, es decir entre mas color se le agregue a una sustancia mayor sera el cambio en su temperatura.

2. Experimento

En el experimento ambos vasos adquieren la misma cantidad de calor para el recipiente con menor cantidad de liquido se alcanza una mayor temperatura, ya que el color se reparte en menor cantidad. Y mientras que el recipiente que tiene mas agua distribuye mejor el calor y por eso su temperatura es menor.

3. Experimento

En el primer caso el vaso con menos agua alcanza una mayor temperatura, aunque habia y adquirido menos calor, mientras que el otro vaso se reparte en mayor cantidad de liquido.

Cuando se mezclaron los dos vasos se obtuvo un color mas claro que en los experimentos anteriores, perdiendo intensidad en la colorimetría. Se evidencio un cambio de color inmediato, distribuyéndose de manera uniforme.

3. Experimento

Se usaron cuatro vasos de plastico con la misma cantidad de agua, en cada vaso agregamos diferentes cantidades de gotas de colorante.



Se evidencia que cada vaso tiene un tono de color diferente de mas oscuro a mas claro y pues esto depende de la cantidad de gotas de colorante.

+ Oscuro Mas gotas de colorante

- Claro Menos gotas de colorante

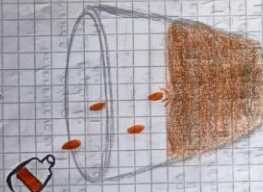
6. Experimento

En dos vasos con la misma cantidad de agua y la misma cantidad de colorante se una la unir para saber que pasa en esta solución.



1. Experimento

- Se llena un vaso de plástico hasta la mitad con agua. Después empezamos a agregar gotas una por una, observamos hasta que oculta algo en esta solución homogénea.



- Se pudo observar que el colorante al momento de caer, dejaba un rastro hasta que con la ayuda del lápiz se pudo disolver como se ve en el dibujo, y el cambio de color es más notorio que el colorante se disuelve hasta que el color al agua más gotas, al A medida que se agregaban más gotas, el color se volvió más intenso y uniforme en todo el vaso.

2. Experimento

- Utilizamos dos vasos, a los cuales les vamos a agregar $\frac{1}{4}$ de agua y dos gotas de colorante a cada vaso.

Se evidencia que no hay una igualdad en la colorimetría, el vaso de menor cantidad presenta un color más intenso, mientras que el vaso con mayor cantidad es de un color más claro.



Teniendo en cuenta la información del parrafo anterior, al haber menos agua el color se nota más ya que se reparte o se disuelve en menos cantidad que en el vaso con mas agua.

3. Experimento

En dos vasos de plástico vamos a agregar las siguientes cantidades, en el primero $\frac{3}{4}$ de agua y en el segundo $\frac{1}{4}$ al vaso con $\frac{3}{4}$ de agua le agregamos dos gotas de colorante y al de menos agua le agregamos media gota. Finalmente unimos los dos vasos en uno.

Hipótesis:

El vaso de menos agua aunque no se note mucha la diferencia va a hacer más oscuro que el vaso con más agua. Al momento de unirse se van a demostrar en disolución ya que al principio va a ver una tonalidad más clara y al final va a tomar un color más oscuro.



mayor cantidad de color, al ser una temperatura mas elevada de ambos compuestos, al ubicar los dos hacemos que haya un cambio y aumento de agua y color general debido a que aumentamos de forma mas la cantidad general provocando la regulación de temperatura generalmente en todo el cuerpo agua en todos los compuestos.

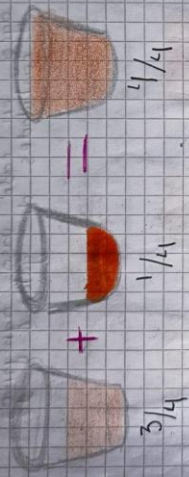
4) Actividad: 2 vasos con la misma cantidad de agua, uno con 1 gota de colorante y otro con solo agua. Finalmente unimos.

planteamiento

En este experimento ^{de observación} Actividad una de la gota que se agrega a un solo vaso de agua se representa en forma de color, al unir los 2 vasos mantenemos el colorante pero incrementamos la cantidad de agua, al haber mayor cantidad de agua ocurre que hay menor concentración de colorante y una distribución mucho mas lenta, haciendolo mas extensa, la temperatura general disminuye hasta quedar-se por completo, así podemos concluir que entre mayor cantidad de agua, mas extensa es su distribución y mas se baja (regula) el calor.

Cuando unimos los dos vasos se unieron mas rapido de lo pensado y el color entre ellos se intensifico obteniendo un color intermedio tirando un poco a oscuro en nuestra solución homogénea.

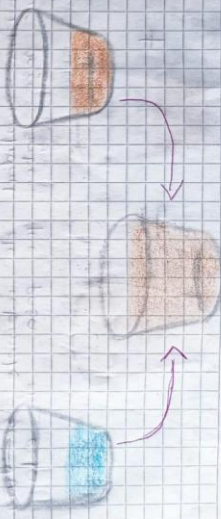
A hora van hacer las mismas cantidades de agua pero intercambiarnos la cantidad de gotas de colorante.



El color final que se obtuvo fue mas oscuro que el anterior. Al momento de unir los dos vasos se conservo un equilibrio entre los dos localidades de color y bajo un poco la intensidad que se tenia en el vaso de 1/4 de agua.

Experimento

Usamos dos vasos con la misma cantidad de agua (hasta la mitad). A uno de los dos vasos le vamos a agregar una gota de colorante, y ya despues en uno de los



5) Actividad: Únicamente un vaso y una gota de colorante, se divide a otro vaso con el mismo nivel de agua para vasos de nueva.

Planteariento

Aquí no hay cambios en cuantidades de colorante y agua, pero se se observa que al volver a unir los dos vasos en uno solo, los piracitos que el color se puede dividir y volver a adorar desde que sea la misma cantidad de compuestos, así que la temperatura siempre sea constante por la regulación térmica inmediata.

6) Actividad: 4 vasos, mismo nivel de agua y desde 1 hasta 4 gotas de forma progresiva.

En esta última actividad observamos de forma clara el comportamiento que a mayor gota, mayor el calor y como se mantiene la cantidad de agua los cambios son más notorios así representando una temperatura más elevada evidenciado en el tono y de forma gradual. Ignora a los diferentes cambios progresivos de color por eso, por último se observa como se regula la temperatura variando la cantidad proporcional de colorante. Fin

2) Actividad: 2 vasos de agua uno con $1/4$ y otro con $3/4$, a ambos se le agregan 2 gotas de colorante.

Planteariento

En vaso con $1/4$ se le agrega la misma cantidad de colorante (color) que el vaso con $3/4$, entonces con $1/4$ al haber menor ~~agua~~ (agua) el calor se disipa más rápido y está mucho más concentrado en este mismo, en cambio el vaso con $3/4$ al tener mayor ~~agua~~ (agua) el calor se disipa mucho más lento y se va a concentrar mucho menos, podemos concluir que la temperatura en $1/4$ es mayor a la del vaso con $3/4$ por la diferencia de ~~agua~~.

3) Actividad: 2 vasos, $1/4$ con media gota de colorante y $3/4$ con 2 gotas de colorante, finalmente unidos, de nuevo usamos $1/4$ y $3/4$ pero $1/4$ con 2 gotas y $3/4$ con media gota de colorante y unidos.

Planteariento

Iguamente al caso anterior el vaso con menor cantidad de agua va a contener mayor concentración y por ende

Anexo D. Imágenes

En este anexo se presentan algunas imágenes correspondientes a las actividades desarrolladas durante la secuencia de modelización. Las fotografías permiten contextualizar las situaciones experimentales y los recursos utilizados durante la implementación.

