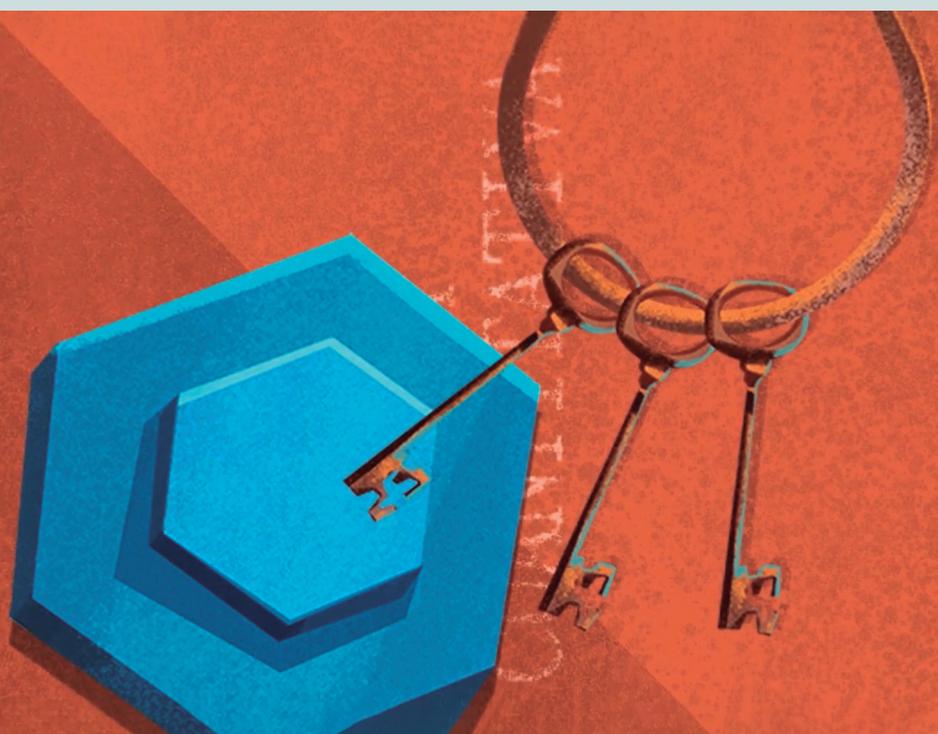


# Conocimiento didáctico del contenido científico en clave de las prácticas educativas

Mariana Tafur Arciniegas  
Marisol Lopera Pérez  
Carolina María González Velásquez  
Sergio Andrés Castaño Cano  
Adriana María Soto Zuluaga  
(compiladores)



**CONOCIMIENTO DIDÁCTICO DEL  
CONTENIDO CIENTÍFICO EN CLAVE  
DE LAS PRÁCTICAS EDUCATIVAS**

**PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA**

**Presidente de la República de Colombia**

Gustavo Francisco Petro Urrego

**MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL**

**Ministro de Educación Nacional**

José Daniel Rojas Medellín

**Viceministro de Preescolar, Básica y Media**

Óscar Sánchez Jaramillo

**Directora de Calidad para la Educación**

**Preescolar, Básica y Media**

Liliana María Sánchez Villada

**Subdirectora de Fomento de Competencias**

Lady Marcela Cascavita

**Coordinadora Formación de Docentes**

**y Directivos**

Claudia Gladys Pedraza Gutiérrez

**MINISTERIO DE CIENCIA,**

**TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN**

**Ministra de Ciencia, Tecnología e Innovación**

Yesenia Olaya Requene

**Líder Equipo Humanidades y**

**Ciencias Sociales**

**Dirección de Gestión de Recursos**

**para la CTeI**

Milena del Carmen Rodríguez Cárdenas

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES**

**Rectora Universidad de los Andes**

Raquel Bernal Salazar

**Decano Facultad de Educación**

Jorge Baxter

**Investigador principal del proyecto**

**“La Investigación en la Escuela y el Maestro Investigador en Colombia”**

Hernando Bayona-Rodríguez

26 de noviembre del 2020 - 4 de septiembre del 2022

**Investigadora principal del proyecto**

**“La Investigación en la Escuela y el Maestro Investigador en Colombia”**

Nancy Palacios Mena

22 de septiembre del 2022 - 26 de noviembre del 2022

**Coordinadora del proyecto**

Leonor Delgado Vanegas

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA**

**Rector Universidad Autónoma de Bucaramanga**

Juan Camilo Montoya Bozzi

**INSTITUTO PARA LA INVESTIGACIÓN EDUCATIVA Y**

**EL DESARROLLO PEDAGÓGICO (IDEP)**

**Directora IDEP**

Cecilia Rincón Verdugo

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA ITM**

**Rector Institución Universitaria ITM**

Alejandro Villa Gómez

**CONOCIMIENTO DIDÁCTICO DEL  
CONTENIDO CIENTÍFICO EN CLAVE  
DE LAS PRÁCTICAS EDUCATIVAS**

**Mariana Tafur Arciniegas  
Marisol Lopera Pérez  
Carolina María González Velásquez  
Sergio Andrés Castaño Cano  
Adriana María Soto Zuluaga  
(compiladores)**

**Universidad de los Andes  
Institución Universitaria ITM**

Nombre: Tafur Arciniegas, Mariana, compiladora. | Lopera Pérez, Marisol, compiladora. | González Velásquez, Carolina María, compiladora. | Castaño Cano, Sergio Andrés, compilador. | Soto Zuluaga, Adriana María, compiladora.

Título: Conocimiento didáctico del contenido científico en clave de las prácticas educativas / Mariana Tafur Arciniegas, Marisol Lopera Pérez, Carolina María González Velásquez, Sergio Andrés Castaño Cano, Adriana María Soto Zuluaga (compiladores)

Descripción: Bogotá : Universidad de los Andes, Facultad de Educación, Ediciones Uniandes ; Medellín : Institución Universitaria ITM, 2024. | XXXVIII, 313 páginas: ilustraciones ; 17 × 24 cm.

Identificadores: ISBN 978-958-798-506-1 (rústica) | 978-958-798-507-8 (*e-book*)

Materias: Prácticas de la enseñanza | Ciencias naturales - Enseñanza | Innovaciones educativas

Clasificación: CDD 371.3-dc23

SBUA

Primera edición: agosto del 2024

© Mariana Tafur Arciniegas, Marisol Lopera López, Carolina María González Velásquez, Sergio Andrés Castaño Cano y Adriana María Soto Zuluaga

© Universidad de los Andes, Facultad de Educación  
Ediciones Uniandes  
Carrera 1.ª n.º 18A-12, bloque Tm  
Bogotá, D. C., Colombia, Colombia  
Teléfono: 601 339 4949, ext. 2133  
<http://ediciones.uniandes.edu.co>  
[ediciones@uniandes.edu.co](mailto:ediciones@uniandes.edu.co)

© Institución Universitaria ITM  
Sello Editorial ITM  
Calle 75 n.º 75-101  
Medellín, Colombia  
Teléfono: 604 440 5100 ext. 5197  
<http://catalogo.itm.edu.co>  
[fondoeditorial@itm.edu.co](mailto:fondoeditorial@itm.edu.co)

ISBN: 978-958-798-506-1

ISBN *e-book*: 978-958-798-507-8

DOI: <http://doi.org/10.51573/Andes.9789587985061.9789587985078>

Corrección de estilo: Miguel Ángel Pineda Cupa

Diagramación: Luz Samanta Sabogal

Diseño de cubierta: Julio Mauricio Raigosa Álvarez

Ilustración de cubierta: Felipe Rodríguez Rodríguez

Impresión:

Imageprinting Ltda.

Carrera 27 n.º 76-38

Teléfonos: 601 631 1350 - 601 631 1736

Bogotá, D. C., Colombia

Impreso en Colombia – *Printed in Colombia*

Universidad de los Andes | Vigilada Mineducación.

Reconocimiento como universidad: Decreto 1297 del 30 de mayo de 1964.

Reconocimiento de personería jurídica: Resolución 28 del 23 de febrero de 1949, Minjusticia.

Acreditación institucional de alta calidad, 10 años: Resolución 582 del 9 de enero del 2015, Mineducación

Institución Universitaria ITM | Vigilada Mineducación. Reconocimiento de carácter académico: Resolución 6190 del 21 de diciembre del 2005, Mineducación. Reconocimiento de personería jurídica: Decreto 180 del 25 de febrero de 1992, Minjusticia. Renovación acreditación institucional de alta calidad, 8 años: Resolución 013595 del 24 de julio del 2020, Mineducación

Todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida ni en su todo ni en sus partes, ni registrada en o transmitida por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electro-óptico, por fotocopia o cualquier otro, sin el permiso previo por escrito de la editorial.

# Contenido

LISTA DE RECURSOS GRÁFICOS	IX
INTRODUCCIÓN	XV
Marisol Lopera Pérez	
Carolina María González Velásquez	
Sergio Andrés Castaño Cano	
Mariana Tafur Arciniegas	
Adriana María Soto Zuluaga	
CAPÍTULO 1. CAMBIO CONCEPTUAL DE LA CREENCIA DE ÍMPETU EN ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS BASADO EN LA LECTURA DE UN TEXTO REFUTACIONAL	1
Alexander Bonilla Castro	
Carlos Uribe Gartner	
CAPÍTULO 2. MODELIZACIÓN CON FUNCIONES DESDE EL ENFOQUE DE LAS SITUACIONES DIDÁCTICAS DE BROUSSEAU	33
Andrés Fernando Mosquera Díaz	
Wilberg Córdoba Rentería	
CAPÍTULO 3. MODELIZACIÓN DE MEZCLAS HOMOGÉNEAS: UNA EXPERIENCIA DIDÁCTICA EN LA EDUCACIÓN MEDIA	61
Martha Elizabeth Arias Villamizar	
Carlos Andrés Colorado Henao	
Nelcy Giraldo Buitrago	
CAPÍTULO 4. TRABAJOS PRÁCTICOS EN EL APRENDIZAJE DE LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS	91
Dora Magaly García Ibarra	

CAPÍTULO 5. LA LECTURA Y LA ESCRITURA EN CLASE DE FÍSICA COMO ESTRATEGIAS DE APRENDIZAJE: ¿QUÉ Y CÓMO SE APRENDE CUANDO SE ESCRIBE?	111
Norma Constanza Sáenz Briñez	
CAPÍTULO 6. PROPUESTA DIDÁCTICA PARA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE FÍSICA POR INVESTIGACIÓN DIRIGIDA	147
Adriana del Pilar Vega Pinzón	
CAPÍTULO 7. ¿ES POSIBLE ENSEÑAR FÍSICA SIN MATEMÁTICAS? UNA PROPUESTA DESDE LA DINÁMICA DE SISTEMAS	179
Mónica Alarcón Rodríguez	
CAPÍTULO 8. APROXIMACIÓN A LA REFLEXIÓN Y LA REFRACCIÓN DE LA LUZ EN EDUCACIÓN PRIMARIA POR MEDIO DE LA METODOLOGÍA DE APRENDIZAJE ACTIVO	211
Ruth Yalena Zuleta Torres	
CAPÍTULO 9. ESTUDIO DE LA DIMENSIONALIDAD DEL FORCE CONCEPT INVENTORY MEDIANTE UN ANÁLISIS FACTORIAL CON MATRIZ DE CORRELACIÓN TETRACÓRICA	227
Alexander Bonilla Castro Fabián Ernesto Bravo Reyes	
CAPÍTULO 10. LA REGULACIÓN METACOGNITIVA EN SITUACIONES-PROBLEMAS PARA EL APRENDIZAJE DEL CONCEPTO DE DISOLUCIÓN QUÍMICA EN ESTUDIANTES DE EDUCACIÓN MEDIA	249
Eduin Pacheco Méndez	
CAPÍTULO 11. INNOVACIÓN CON V DE GOWIN: UNA APUESTA PARA EL APRENDIZAJE DE CONCEPTOS CIENTÍFICOS	269
Beatriz Eugenia Mosquera Machado	
SOBRE LOS AUTORES	305

# Lista de recursos gráficos

## Figuras

Figura 1.1. Modelo del conocimiento profesional y habilidades del profesor que incluye el CDC	XVII
Figura 1.2. Elementos que configuran el Conocimiento Didáctico del Contenido	XXIV
Figura 1.3. Representación cartográfica de las investigaciones incluidas en este libro	XXVI
Figura 1.1. Componentes base de un texto refutacional	4
Figura 1.2. Espacio modelo que representa los tres estados de conocimiento	8
Figura 1.3. Posibles casos relativos al uso de los modelos mentales M1, M2 y M3	10
Figura 1.4. Representación gráfica del Model Analysis	11
Figura 1.5. Esquema del modelo de los tres almacenes de memoria	13
Figura 1.6. Resultados del modelo de estimación generados mediante el pretest y el posttest en el curso de Física	21
Figura 1.7. Representación gráfica de los cambios cognitivos generados en el curso de Física	23
Figura 2.1. Fases de la investigación	40
Figura 2.2. Algunas respuestas en los diferentes momentos de trabajo	47
Figura 2.3. Resolución de momentos 2 de la secuencia didáctica en el caso 1	48
Figura 2.4. Ubicación de las parejas ordenadas en el plano	49
Figura 2.5. Resolución del momento 1, por el caso 2	50
Figura 2.6. Resolución del momento 2, por el caso 2	50
Figura 2.7. Representaciones gráficas del momento 2, por el caso 2	51
Figura 2.8. Respuestas del caso 3 sobre el enunciado propuesto	52
Figura 2.9. Interpretación de una función de manera algebraica, tabla de valores y gráfica	53
Figura 3.1. Definición del modelo científico Onepsi, de acuerdo con Gutiérrez (2014)	68

Figura 3.2. Fases, objetivos y actividades de la secuencia didáctica	71
Figura 3.3. Modelos construidos. Estructura del modelo científico Onepsi planteado por Gutiérrez (2014)	73
Figura 4.1. Proceso de investigación acción	96
Figura 4.2. Red que ilustra la categoría <i>concepto</i> en el pretest generado con ATLAS.ti (versión 7.0)	100
Figura 6.1. Teoría del cambio conceptual de Claret (2000)	153
Figura 6.2. Proceso de actividades pedagógicas para resolución de problemas propuesto por Claret (2000)	153
Figura 6.3. Relación entre las fases de la investigación, las etapas del modelo y los momentos de la clase	157
Figura 6.4. Actividad 13 del plan-guía de actividades	164
Figura 7.1. Bucle de retroalimentación n.º 1 relacionado con la población de conejos	183
Figura 7.2. Bucle de retroalimentación n.º 2 relacionado con la población de conejos	184
Figura 7.3. Las cuatro fases de la investigación basada en diseño	188
Figura 7.4. Elementos de la clase de Física	189
Figura 7.5. Diseño para la clase de Física	192
Figura 7.6. Pensamiento interrelacionado caso 1	203
Figura 7.7. Pensamiento interrelacionado caso 2	204
Figura 7.8. Bucle relacionado con la discusión entre pares	205
Figura 7.9. Bucle relacionado con las formas de trabajo en la clase	205
Figura 8.1. Ciclo de aprendizaje PODS	213
Figura 10.1. Diseño metodológico	258
Figura 11.1. Variable independiente: V de Gowin	274
Figura 11.2. Variable dependiente: la comprensión del concepto de cambio químico	275
Figura 11.3. Diagrama V de Gowin dosificado	286
Figura 11.4. Progresión-análisis a partir de una rúbrica: primera creación de la V de Gowin	287
Figura 11.5. Progresión-análisis de estructuración y síntesis: segunda creación de la V de Gowin	288
Figura 11.6. Progresión-análisis de cierre. Tercera y última creación de la V de Gowin	291

## Gráficas

Gráfica 3.1. Contraste de resultados KPSI aplicado al iniciar y al finalizar la secuencia didáctica	81
---	----

Gráfica 7.1. Tasa de reproducción de una población de conejos	182
Gráfica 7.2. Dinámica poblacional de una especie	185
Gráfica 8.1. Resultados de la prueba final con preguntas equivalentes a la prueba diagnóstica	218
Gráfica 8.2. Resultados de la prueba final con preguntas de profundización	218
Gráfica 8.3. Comparativo de respuestas correctas en el pretest y el postest	219
Gráfica 8.4. Comparativo de respuestas correctas por grupo de estudiantes en el pretest y el postest	220
Gráfica 11.1. Valoración del desempeño de los estudiantes con respecto al concepto de cambio químico (en porcentajes)	294
Gráfica 11.2. Valoración de las percepciones de los estudiantes con respecto a la intervención de la V de Gowin (en porcentajes)	297

## Imágenes

Imagen 2.1. Concepto de los casos sobre lo que entienden por relación	43
Imagen 2.2. Respuesta de uno de los casos que reconoce qué tipo de relación es una función	44
Imagen 2.3. Componentes evaluados en las pruebas Saber de noveno grado (2015)	44
Imagen 2.4. Componentes evaluados en las pruebas Saber de noveno grado (2015)	45
Imagen 4.1. Guía de laboratorio “Introducción a las ondas”	108
Imagen 5.1. Cuadernillos como artefacto para escribir en clase de Física	126
Imagen 5.2. Sección “¿Qué pienso?” del cuadernillo de Física	127
Imagen 5.3. Sección “Consulta” del cuadernillo de Física	129
Imagen 5.4. Sección “Glosario” del cuadernillo de Física	129
Imagen 5.5. Sección “Texto final” del cuadernillo de Física	131
Imagen 5.6. Libros digitales de “Lectura científica”	135
Imagen 6.1. Evidencia fotográfica del desarrollo de la actividad 13 por parte de los estudiantes	165
Imagen 11.1. Diario científico	281
Imagen 11.2. Diario de campo	282
Imagen 11.3. Situación de aprendizaje 1: ¿cómo identificar un cambio químico través de situaciones cotidianas? ¿Cómo justificar la observación de un fenómeno?	286
Imagen 11.4. Primera coevaluación: el concepto de cambio químico	289

## Tablas

Tabla I.1. Proyectos Pedagógicos Obligatorios (Decreto 1075 de 2015 y Decreto 1860 de 1994)	XIX
Tabla 1.1. Clasificación de las opciones de respuesta correspondiente a las ocho preguntas equivalentes del FCI que indagan por la relación fuerza-movimiento	6
Tabla 2.1. Etapas de la TSD, descriptores por nivel y descriptores separador para E y SD	42
Tabla 2.2. Categorización de los resultados de los casos 1 al 4 al presentar (E)	45
Tabla 2.3. Categorización de los resultados de los casos 1 al 4 al presentar situaciones didácticas	54
Tabla 3.1. Contexto de la población participante	69
Tabla 3.2. Cuestionarios de la secuencia didáctica de acuerdo con cada fase	70
Tabla 3.3. Mezcla homogénea: categorías de análisis	73
Tabla 3.4. Aprendizaje colaborativo. Subcategorías de análisis	74
Tabla 3.5. Fragmento del Modelo Escolar inicial (MEi)	76
Tabla 3.6. Fragmento del Modelo Científico Escolar Logrado (MCEL)	78
Tabla 3.7. Fragmento del Modelo Curricular (MCu)	82
Tabla 3.8. Fragmento de las transformaciones de los modelos estudiantiles sobre una mezcla homogénea	83
Tabla 3.9. Resultados del cuestionario tipo escala Likert	85
Tabla 3.10. Diario de campo. Fragmentos relacionados con el aprendizaje colaborativo	86
Tabla 5.1. Preguntas de los textos científicos publicados en los libros digitales de la clase de Física	136
Tabla 5.2. Criterios de evaluación de los textos científicos presentados por los estudiantes	137
Tabla 6.1. Competencia, aprendizaje y evidencia para la temática “Energía mecánica”	151
Tabla 6.2. Estructura del desarrollo del tema en el plan-guía de actividades	155
Tabla 6.3. Resultados del pretest y postest en la competencia de uso comprensivo del conocimiento científico	160
Tabla 6.4. Resultados del pretest y el postest en la competencia de explicación de fenómenos	161
Tabla 6.5. Resultados del pretest y el postest en la competencia de indagación	162
Tabla 6.6. Resultados del pretest y el postest: resolución de problemas basados en el trabajo científico	163
Tabla 6.7. Resultados de una de las evidencias de aprendizaje para las tres competencias en la implementación de la propuesta	167

Tabla 6.8. Errores conceptuales y aprendizajes que se promovieron antes y después de la implementación de la propuesta	170
Tabla 6.9. Microanálisis del desarrollo de una situación-problema basada en las etapas del trabajo científico	172
Tabla 7.1. Estructura de las preguntas planteadas	198
Tabla 8.1. Resultado del porcentaje de respuestas correctas obtenidas por cada grupo de estudiantes (ganancia de Hake)	221
Tabla 8.2. Resultado del porcentaje de estudiantes que contestaron correctamente cada una de las preguntas (índice de dificultad)	222
Tabla 9.1. Relación de los conceptos de mecánica abordados en el FCI con las opciones de respuesta correctas	232
Tabla 9.2. Carga de preguntas asociadas a la dimensión 1, generada por el análisis factorial exploratorio desarrollado	234
Tabla 9.3. Carga de preguntas asociadas a la dimensión 2, generada por el análisis factorial exploratorio desarrollado	236
Tabla 9.4. Carga de preguntas asociadas a la dimensión 4, generada por el análisis factorial exploratorio desarrollado	236
Tabla 9.5. Carga de preguntas asociadas a la dimensión 5, generada por el análisis factorial exploratorio desarrollado	237
Tabla 9.6. Carga de preguntas asociadas a la dimensión 6, generada por el análisis factorial desarrollado	238
Tabla 9.7. Carga de preguntas asociadas a la dimensión 7, generada por el análisis factorial exploratorio desarrollado	239
Tabla 9.8. Carga de preguntas asociadas a la dimensión 8, generada por el análisis factorial exploratorio desarrollado	240
Tabla 10.1. Niveles explicativos sobre naturaleza corpuscular de la materia	256
Tabla 10.2. Momentos de la unidad didáctica	259
Tabla 10.3. Comparación de los planes elaborados en los tres momentos	264
Tabla 11.1. Secuencia de actividades de la unidad problémica investigativa	279
Tabla 11.2. Instrumento de recolección de respuestas sobre afirmaciones del KPSI	284
Tabla 11.3. Ejemplo 1	284
Tabla 11.4. Ejemplo 2	285
Tabla 11.5. Segunda coevaluación: metodología de aprendizaje V de Gowin	289
Tabla 11.6. Distribución de los participantes por sexo	292
Tabla 11.7. Categorización de desempeños	292
Tabla 11.8. Desempeño del grupo de tratamiento en pretest	292
Tabla 11.9. Desempeño del grupo control en pretest	293
Tabla 11.10. Desempeño del grupo control en postest	293

Tabla 11.11. Desempeños del grupo tratamiento en postest	293
Tabla 11.12. Percepciones del grupo control sobre V de Gowin en pretest	296
Tabla 11.13. Percepciones del grupo de tratamiento sobre V de Gowin en pretest	296
Tabla 11.14. Percepciones del grupo de tratamiento sobre la V de Gowin en postest	296
Tabla 11.15. Percepciones del grupo control sobre la V de Gowin en postest	296

# Introducción

Marisol Lopera Pérez

Carolina María González Velásquez

Sergio Andrés Castaño Cano

Mariana Tafur Arciniegas

Adriana María Soto Zuluaga

El producto académico que aquí se presenta está inscrito en el proyecto “La investigación en la escuela y el maestro investigador en Colombia”, del cual se derivó una colección de dieciséis libros que buscan promover la investigación educativa, su socialización y la excelencia docente. En particular, esta obra presenta las aproximaciones de docentes que laboran en diversos contextos sociodemográficos del país y que comparten el propósito de dinamizar los procesos de enseñanza, aprendizaje y evaluación de las ciencias naturales, desde reflexiones y acciones transformadoras e innovadoras para la educación básica, media y universitaria.

Este texto introductorio consolida una reflexión sobre la educación en ciencias cuya primera parte está enfocada en la conceptualización sobre los conocimientos de los profesores que recurre a diversos referentes teóricos y a una perspectiva histórica y epistemológica en clave del desarrollo profesional. Luego se realiza un análisis temático de los once capítulos escritos por docentes-investigadores asociados a la práctica e innovación didáctica en el aula; de manera puntual, son propuestas que vinculan estrategias como la modelización, el Aprendizaje Basado en Proyectos, la alfabetización y la investigación escolar, todas ellas en el ámbito de educación básica media y universitaria, así como relacionadas de forma directa con el conocimiento didáctico del contenido en y para la enseñanza y aprendizaje de las ciencias naturales. A manera de cierre, se exponen las perspectivas actuales y futuras de la educación en ciencias, como también las implicaciones de la transformación y la innovación educativa.

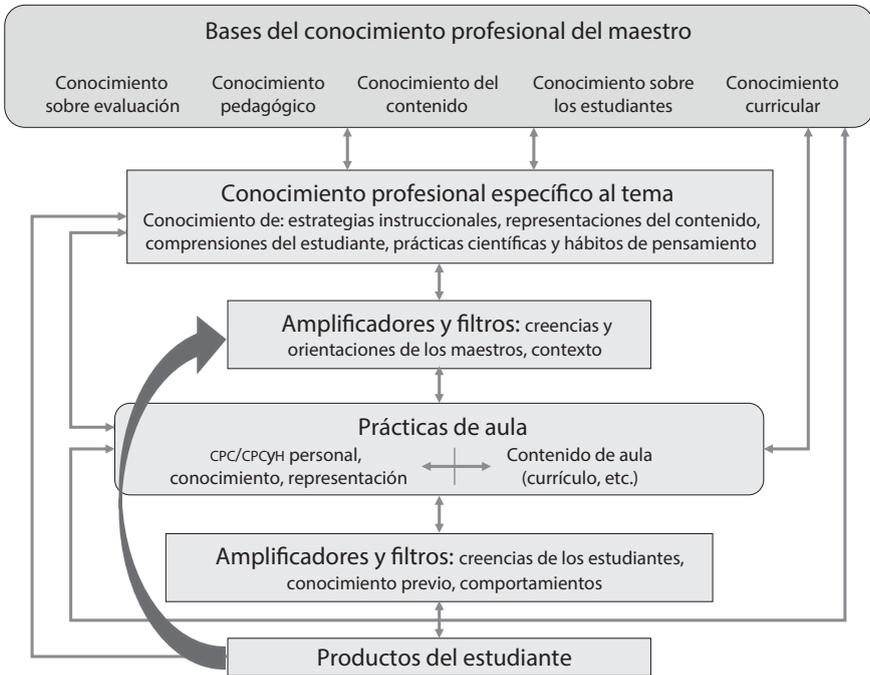
Esta producción académica es la plataforma para visibilizar propuestas pedagógicas e investigativas que emergen de la reflexión y problematización de

los docentes en sus contextos educativos, y pueden convertirse en referentes y en fuente de inspiración o como sistema de apoyo para la toma de decisiones de diferentes actores educativos. En este sentido, la gama amplia de posicionamientos y propuestas se presenta en clave de la amalgama de conocimientos y saberes profesionales de los docentes de ciencias naturales y se vincula con la perspectiva teórica del conocimiento didáctico del contenido. Esta mirada posibilita una reflexión sobre las bases que le dan sustento y a la luz de un enfoque que alude al carácter surgido del trabajo y que articula diferentes dimensiones (cognitiva, afectiva/emocional y procedimental).

Los resultados evidenciados en cada uno de los trabajos realizados con los estudiantes suponen la implementación de estrategias metodológicas por parte de los maestros en el marco de la didáctica general y de las didácticas específicas para cada una de las disciplinas. El desarrollo de competencias referidas a las ciencias naturales en su dimensión lógica, ética y estética permitió configurar en cada una de las propuestas el concepto de formación integral, que devela no solo la necesidad de la apropiación de las culturas científicas por parte de los estudiantes, sino del desarrollo del pensamiento crítico en contexto: estudiantes con capacidad para tomar posturas críticas no solo frente a los problemas propios que propone en su desarrollo cada disciplina, sino también frente a los problemas de la vida y del contexto social en el cual están inmersos. La práctica como experiencia fundamental para el aprendizaje de los fenómenos ondulatorios; la articulación a los procesos de aprendizaje de las ciencias a través de la modelización; la resolución de problemas por investigación dirigida en el marco del desarrollo de competencias en ciencias; la regulación metacognitiva como estrategia para el aprendizaje de conceptos en ciencias; la implementación de estrategias de aprendizaje como la V de Gowin; el cambio conceptual, y la lectura y la escritura como estrategias para el desarrollo de aprendizajes científicos plantean un escenario que permite no solo preguntarse por el cómo aprenden los estudiantes, sino también en cómo enseñan los maestros.

Es posible evidenciar que las diversas aproximaciones desarrolladas por los docentes en la escuela remiten a la comprensión que estos poseen con relación al conocimiento didáctico del contenido (CDC) —definición y adaptación del *pedagogical content knowledge* (PCK)—, propuesto ampliamente por Gees Newsome en su modelo (véase la figura I.1). La comprensión del modelo permite

Figura 1.1. **Modelo del conocimiento profesional y habilidades del profesor que incluye el CDC**



Fuente: tomado de Gess-Newsome *et al.* (2017).

fortalecer las estrategias pedagógicas y didácticas que el maestro propone en cada una de sus experiencias para configurar los procesos de mejoramiento curricular, ya que le aportan elementos de reflexión sobre la práctica y le permiten ampliar su visión sobre la escuela y el aula.

En este sentido, el CDC es una estructura en la cual los docentes configuran su subjetividad enriqueciendo su relación con el conocimiento disciplinar y las estrategias de enseñanza y aprendizaje en función del contexto y las necesidades de sus estudiantes. Por lo tanto, las propuestas de investigación en la escuela cobran sentido en función de la formación y el desarrollo profesional del maestro. Según Gess-Newsome *et al.* (2017), los elementos conceptuales presentes en este modelo y su interacción como propuesta de reflexión en y sobre la acción, permiten alcanzar con éxito el diseño e implementación de propuestas curriculares en ciencias naturales pertinentes y con un potencial didáctico significativo. A su vez, este proceso fortalece el CDC canónico, que tiene como

referente el Proyecto Educativo Institucional (PEI), para migrar a través de la reflexión a un potenciamiento del CDC individual o personal, y así mejorar las prácticas de aula y las construcciones curriculares.

### **Las propuestas de investigación escolar y su impacto en la gestión escolar: Proyecto Educativo Institucional**

En Colombia, todas las instituciones educativas deben diseñar y ejecutar un PEI. Esta es una herramienta de gestión escolar con la que la comunidad educativa delimita la forma como una institución “ha decidido alcanzar los fines de la educación definidos por la ley, teniendo en cuenta las condiciones sociales, económicas y culturales de su medio” (Decreto 1075 de 2015, art. 2.3.3.1.4.1). Este proyecto debe responder a los desafíos que presenta la sociedad y a los elementos que deben configurar en función de la formación el ser humano que la sociedad necesita (Secretaría de Educación de Medellín y Universidad de Antioquia, 2016).

En este sentido, la escuela tiene la responsabilidad de formar personas capaces de resolver problemas complejos en contexto, desarrollar habilidades comunicativas, aprender a usar las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) y desarrollar una capacidad crítica frente a las problemáticas socioambientales relevantes. El PEI no es un documento inerte. Todo lo contrario, debe entenderse y vivirse como un proceso en constante evolución, que se adapta a las cambiantes demandas sociales y educativas, así como a la normatividad que se va desarrollando para el sector y manteniendo siempre su pertinencia.

Cada una de las apuestas por el desarrollo de competencias en ciencias naturales de los estudiantes, contenidas en las aproximaciones que maestros de Colombia presentan en este libro, marcan el camino para consolidar una posibilidad de integración curricular en las instituciones educativas. Como oportunidad, debe aprovecharse en el marco de la gestión del PEI, específicamente en los procesos de construcción, actualización e implementación del aspecto 05 referido al plan de estudios y los criterios de evaluación y promoción (Decreto 1075 de 2015). Las apuestas por la investigación en el aula no pueden desligarse de las propuestas de desarrollo de competencias contenidas en cada uno de los

planes de área, es decir, que en cada una de las mallas curriculares se puedan articular estas propuestas de investigación de forma sistemática y no lineal.

La potencialidad que presenta cada una de estas aproximaciones realizadas por los maestros con sus estudiantes, como ejercicio de flexibilización curricular, debe aprovecharse en las instituciones educativas. Estas pueden servir como macroproyectos que permitan articular los proyectos pedagógicos obligatorios (véase la tabla I.1), mediante la consolidación de marcos metodológicos comunes con propuestas de cronogramas de actividades conjuntos, con una fundamentación teórica y normativa que permita responder a los objetivos trazados en el proyecto de investigación conjuntamente con los planteados en el proyecto pedagógico obligatorio.

**Tabla I.1. Proyectos Pedagógicos Obligatorios (Decreto 1075 de 2015 y Decreto 1860 de 1994)**

N.º	Proyectos, cátedras o programas	Normatividad	Nivel de aplicación
1	Proyecto pedagógico: El estudio, la comprensión y la práctica de la constitución y la instrucción cívica	Ley 115 de 1994, Ley 1013 de 2006, Ley 1029 de 2006	Preescolar, Básica, Media, CLEI
2	Proyecto pedagógico: El aprovechamiento del tiempo libre, el fomento de las diversas culturas, la práctica de la educación física, la recreación y el deporte formativo	Ley 1029 de 2006, Ley 934 de 2004, Ley 181 de 1995	Preescolar, Básica, Media, CLEI
3	Proyecto pedagógico: La protección del ambiente, la ecología y la preservación de los recursos naturales	Ley 1029 de 2006, Decreto 1743 de 1994	Preescolar, Básica, Media, CLEI
4	Proyecto pedagógico: La Educación para la justicia, la paz, la democracia, la solidaridad, la confraternidad, el cooperativismo y en general la formación de los valores humanos	Ley 1029 de 2006	Preescolar, Básica, Media, CLEI
5	Proyecto pedagógico: La educación sexual	Ley 1029 de 2006, Resolución 3353 de 1993, Ley 1620 de 2013, Ley 1098 de 2006	Preescolar, Básica, Media, CLEI

*Continúa...*

N.º	Proyectos, cátedras o programas	Normatividad	Nivel de aplicación
6	Proyecto pedagógico: La educación en tránsito y seguridad vial	Ley 1503 de 2011, Ley 769 de 2002, Directiva Ministerial 013 de 2003	Preescolar, Básica, Media, CLEI
7	Cátedra de emprendimiento	Ley 1014 de 2006, Guía 39 MEN	Preescolar, Básica, Media, CLEI
8	Cátedra de estudios afrocolombianos	Ley 70 de 1993, Circular 023 de 2010 del MEN, Decreto 1122 de 1998, Decreto 1860 de 1994, Ley 1098 de 2010	Preescolar, Básica, Media, CLEI
9	Proyecto pedagógico: Estudio de la Constitución y la democracia (50 horas)	Ley 0107 de 1994	Media, CLEI
10	Proyecto pedagógico: Prevención integral de la drogadicción	Decreto 1108 de 1994, Ley 1566 de 2012, Decreto 120 de 2010, Ley 1098 de 2006	Básica, Media, CLEI
11	Cátedra escolar de teatro y artes escénicas	Ley 1170 de 2007	Básica, Media, CLEI
12	Cátedra de la paz	Ley 1732 de 2014, Decreto 1038 de 2015	Básica, Media, CLEI
13	Proyecto pedagógico: Servicio social de los estudiantes	Decreto 1860 de 1994, Directiva Ministerial 4210 de 1996, Ley 115 de 1994	Media, CLEI
14	Proyecto pedagógico: Prevención y atención de desastres y emergencias	Directiva Ministerial 13 de 1992, Resolución 7550 de 1994	Preescolar, Básica, Media, CLEI
15	Programa de Educación Económica y Financiera	Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014, Ley 1450 de 2011, Ley 115 de 1994	Preescolar, Básica, Media, CLEI
16	Enseñanza de la historia	Ley 1874 de 2017	Preescolar, Básica, Media, CLEI
17	Proyecto pedagógico: Escuela de Padres y Madres de Familia y Cuidadores	Ley 2025 de 2020	Preescolar, Básica, Media, CLEI

Fuente: elaboración propia.

## Los conocimientos y las reflexiones de los docentes de ciencias naturales

*Solemos decir que el profesor del siglo XXI tiene que enseñar lo que no sabe. Ahí empieza la innovación. Lo primero que tienen que hacer es desaprender, olvidar los métodos pedagógicos tradicionales.*

Peter Senge (MIT)

Shulman (1986) fue un pionero en conceptualizar e investigar sobre el CDC como la amalgama de conocimientos que determina la práctica de los docentes para así definir tres categorías fundamentales. En primer lugar, está el conocimiento del contenido (*subject matter knowledge*, SMK), definido como “la cantidad y la organización del conocimiento per se en la mente del profesor” (p. 210). En segundo lugar, el conocimiento pedagógico del contenido (*pedagogical content knowledge*, PCK, hoy reconocido como el conocimiento didáctico del contenido en los países iberoamericanos), el cual es uno de los grandes aportes atribuidos a Shulman por los investigadores en didáctica y se basa en el conocimiento de las formas de comunicación del contenido, en cuanto a “las formas de representación más útiles, las analogías más poderosas, así como los ejemplos, expresiones” (p. 212). En tercer lugar, el conocimiento curricular (*curricular knowledge*, CK), que hace referencia al “rango completo de programas diseñados para la enseñanza de asignaturas y tópicos concretos en cierto nivel” (p. 213).

Otros autores como Ball *et al.* (2008) han dinamizado las definiciones de Shulman y han generado taxonomías que describen los conocimientos de los docentes, lo cual resulta determinante para cualquier ejercicio investigativo. En este sentido, el CDC hace referencia al conocimiento de diferentes estrategias didácticas, enfoques y mecanismos de secuenciación de actividades que pueden ser utilizados. Shulman (1986) se refiere a “los tópicos que más regularmente se enseñan en un área, las formas más útiles de representación de las ideas, las analogías más poderosas, ilustraciones, ejemplos, explicaciones y demostraciones, y, en una palabra, la forma de representar y formular la materia” (p. 9).

Clermont *et al.* (1993; 1994) investigaron el CDC en profesores de química tanto en demostraciones como en procesos de enseñanza. Por su parte, la transformación y evolución del CDC fue estudiada por Gess-Newsome y Lederman (1993), quienes consideraron los profesores de biología y los patrones de profesionalización. Asimismo, las múltiples investigaciones que sobre este tema se llevan a cabo en enseñanza de la física se anclan a tópicos o núcleos temáticos específicos; por ejemplo, sobre el calor y la temperatura (Magnusson y Krajcik, 1993); la energía (Mellado, 1998); las fuerzas (Halim y Meerah, 2002), temas de interés en la enseñanza de la física en secundaria y bachillerato.

En relación con el desarrollo profesional y la búsqueda de su contribución en los mejoramientos de calidad en el ejercicio docente, el CDC no puede ser ajeno al contexto general de la visión que debe coincidir con un maestro que investiga, que reflexiona de manera permanente en su práctica y que a su vez busca tejer alternativas para fortalecerla a través del ejercicio de escritura. Los profesores, como conocedores de sus prácticas en el aula, están llamados de manera permanente a generar condiciones de desarrollo sobre su quehacer, en su rol de tomadores de decisiones y en virtud de su labor para construir criterios que demarcan su trabajo pedagógico y didáctico en el aula y que conciben alternativas para la transformación como agentes sociales de cambio.

Por lo tanto, cuando se concibe la figura de los docentes en su identidad profesional, serán sus conocimientos, saberes, habilidades, disposiciones, fundamentaciones y construcciones los que le permitirán recrear las mejores condiciones para optimizar su propio desarrollo de forma activa y propositiva. Ante esto, autores como Cochran-Smith y Lytle (2009) plantean que “la idea de emplear los resultados de las investigaciones en las aulas de clase está ligada a programas de desarrollo profesional y estrategias de profesionalización docente, al mejoramiento escolar y curricular procurando cambios estructurados y organizados” (p. 4). Así, asumir un escenario de posibilidad para la investigación en la escuela dinamiza no solo el desarrollo de actividades metodológicas, sino que permite una mirada diferencial sobre la praxis y el rol docente como un práctico reflexivo.

Asimismo, Schoonmaker (2007) considera que la clave para que la investigación encuentre su camino consiste en que los docentes diseñen cuidadosamente los planes de estudio con materiales de acompañamiento que permitan

ayudar a los profesores en la toma de decisiones acertadas entre las estrategias probadas. Esto implica la capacidad de formular acciones que demanden esfuerzos sobre la práctica y las propuestas de aula que permitan el ejercicio de la pregunta sobre la enseñanza en el marco de las condiciones para el aprendizaje, es decir, pensar en el uso adecuado de las estrategias para lograrlo.

Dicho lo anterior, se puede exaltar el papel fundamental de la investigación educativa en perspectiva conducente al desarrollo profesional, que se sustenta en diversas fuentes (Cochran-Smith y Lytle, 2009; Hiebert, Gallimore y Stigler, 2002; Kennedy, 1997; Lüdke, 2005; Miretzky, 2007; Schoonmaker, 2007). En este sentido, se concibe al maestro como líder innovador, poseedor de herramientas conceptuales y pedagógicas frente a su quehacer y cotidianidad.

Así que este tema de estudio, tras un proceso de expansión y trasposición, llega a las lindes de la didáctica de las ciencias experimentales con investigadores como Talanquer (2004), quien ha contextualizado y conceptualizado en profundidad acerca de esta cuestión. De igual forma, estudios como el de Sanders *et al.* (1993) fueron interpretados en términos de conocimiento pedagógico del contenido en lugar de solo conocimiento disciplinar; además, los autores concluyeron que el conocimiento pedagógico proporciona un marco para la enseñanza que debe ser complementado por el conocimiento del contenido y el conocimiento del contenido pedagógico cuando los maestros enseñan dentro y fuera de su área científica.

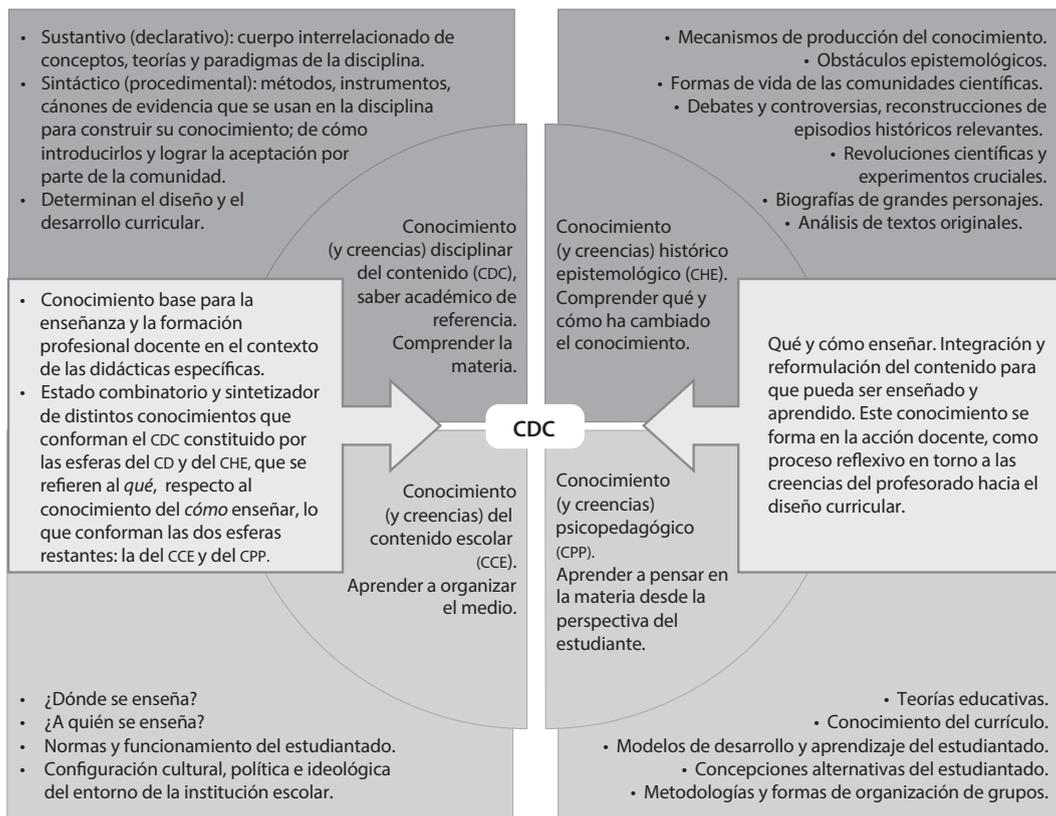
En este sentido, la concepción de un docente investigador de su praxis ha sido bien documentada y expuesta en múltiples escenarios y contextos, lo que ha posibilitado conocer no solo la producción intelectual de la práctica educativa, sino que le ha conferido un lugar a la figura del profesor en su deber como un profesional de la educación y conocedor de su trabajo. Se trata de un docente dispuesto a reflexionar y a generar espacios para divulgar su saber pedagógico y didáctico a instancias de la educación básica, media y universitaria en el ámbito colombiano.

Ahora bien, en el contexto iberoamericano, se han propuesto reflexiones que permitieron la evolución y adaptación del CDC. Investigadores de la comunidad académica vinculada a la didáctica de las ciencias desarrollaron un marco de referencia en torno al CDC (Ariza, 2020; Fonseca, 2014; Garriz *et al.*, 2008; Mora y Parga, 2017; Parga y Moreno, 2017). Para algunos autores el CDC resulta de la

traducción literal del PCK; para otros tiene una marca identitaria propia de las reflexiones particulares en España y Latinoamérica. Además, la definición y descripción de rasgos y categorías del CDC, en comparación con el PCK, suelen tener algunas diferencias. En particular, Mora y Parga (2017) consideran el CDC un sistema complejo que surge de la interacción de cuatro categorías: los conocimientos de lo disciplinar, lo psicopedagógico, lo contextual y lo metadisciplinar. Dichas relaciones son descritas en la figura 1.2.

En concordancia con lo anterior, Parga y Mora (2017) consideran que el CDC es un sistema complejo que se basa en criterios propios de estos sistemas (por ejemplo, la no linealidad o las fluctuaciones). Estos criterios, que hacen parte de los elementos del CDC, como lo son el profesorado y su formación o experiencia

Figura 1.2. Elementos que configuran el Conocimiento Didáctico del Contenido



Fuente: tomado de Parga y Moreno (2017).

previa, el contexto y momento en el que sucede el aprendizaje, las personas que aprenden y sus interacciones, hacen que haya una alta sensibilidad a los cambios, lo que lleve a evoluciones y adaptaciones continuas.

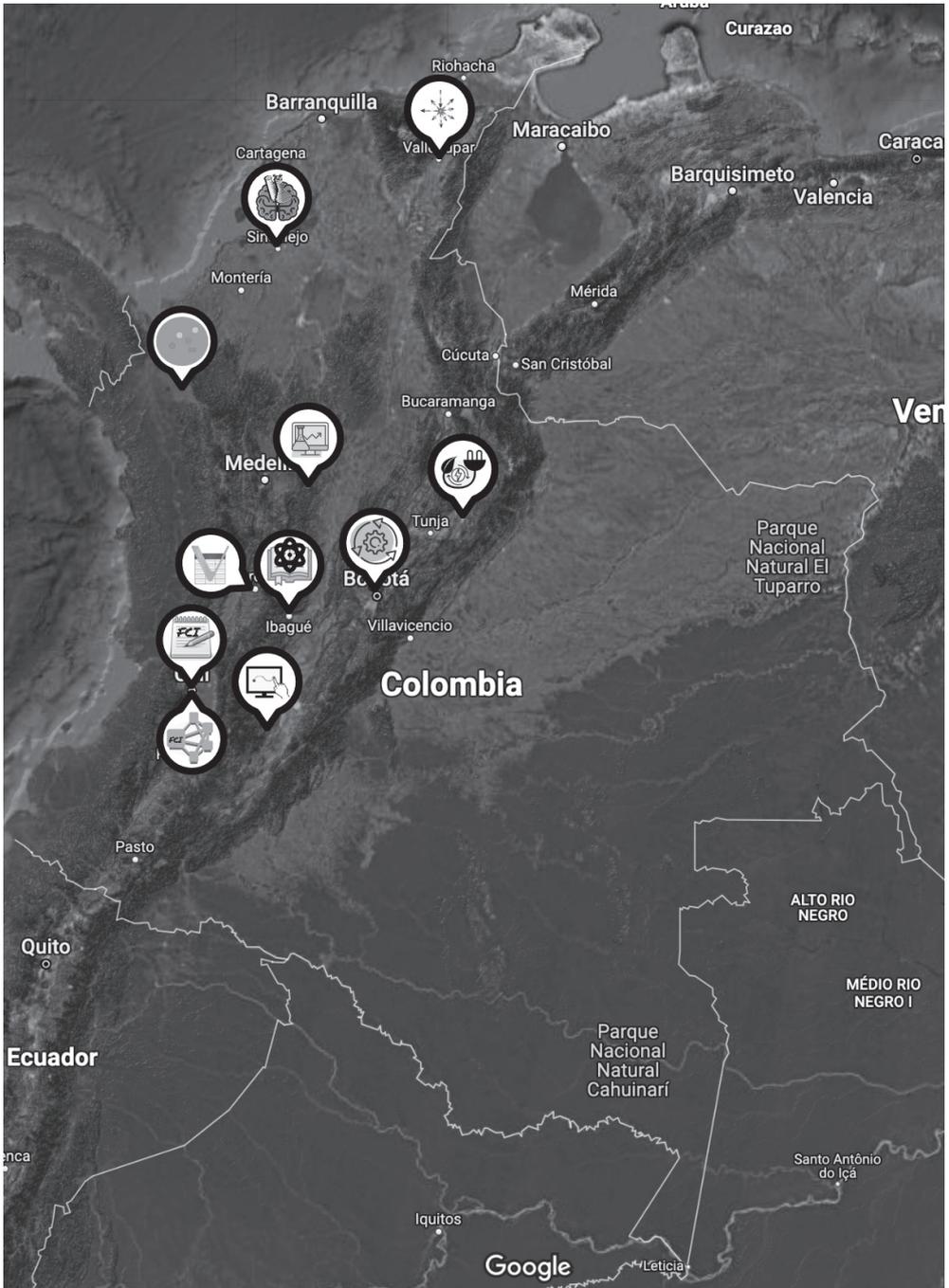
Por su parte, Bolívar (2005), a partir de sus profundas reflexiones sobre el CDC, considera que entre sus componentes se han resaltado también las concepciones, los valores y las creencias de lo que significa enseñar una materia determinada en un nivel y un contexto específicos. A modo de marco organizativo o mapa conceptual, el CDC estaría en la base de la toma de decisiones curriculares sobre los materiales y medios, objetivos que se proponen en sus clases, las tareas apropiadas que realizan y los criterios y formas que emplean para evaluar el aprendizaje. Cada profesor con experiencia, con respecto a los noveles, tiene orientaciones valorativas determinadas en su enfoque didáctico de los contenidos, que explican el sentido de su enseñanza (Bolívar, 2005).

Así que los manuscritos de los docentes que se incluyeron en este libro dan cuenta de profusas reflexiones y conceptualizaciones vinculadas con categorías conceptuales ya referidas por el conocimiento didáctico del contenido, además por aspectos y referentes cercanos a la visión y adaptación que ofrece el marco conceptual que define el CDC, tales como referentes y asuntos relativos a lo metadisciplinar. Así, estos aspectos son sensibles a las características de los contextos educativos, a las dinámicas socioculturales, políticas, económicas y ambientales, los cuales, según Valbuena (2007), son particulares del CDC.

### **Análisis temático de las propuestas de investigación y profundización de los docentes de ciencias**

A través de un proyecto como el que hoy se compila en este libro, fue posible reconocer e identificar, de manera multidimensional y en virtud del CDC, una buena producción de escritos y experiencias de los docentes que participaron de forma activa en esta iniciativa. Es decir, están latentes algunas dimensiones reflexivas en el área, evidenciadas en los trabajos propuestos. Esta compilación presenta en particular y de manera profusa las propuestas que emergen de la reflexión y la práctica docente, vinculadas con la amalgama de conocimientos que derivan del CDC de los docentes de ciencias naturales en contextos educativos particulares (véase la figura 1.3).

Figura 1.3. Representación cartográfica de las investigaciones incluidas en este libro



Fuente: elaboración propia.

Se destaca que las once propuestas son estudios y aproximaciones singulares, cuyos resultados no aspiran a la generalización. Dichas apuestas están ubicadas en escenarios educativos diversos; se desarrollaron con estudiantes de diferentes niveles y ciclos educativos; trascienden los abordajes meramente conceptuales; atienden el principio de diversidad funcional y cultural; asimismo, se comprometen con reflexiones disciplinares, curriculares y psicodidácticas.

En primera instancia, algunos docentes se identifican con los procesos de modelización sobre diferentes temas vinculados con la enseñanza de la física, química y biología, en los que el conocimiento se configura a través de la evolución de los modelos y las representaciones. Tales herramientas están conectadas a su vez con los procesos de cognición y en interacción social. Los siguientes capítulos son ejemplo de lo anterior.

“Cambio conceptual de la creencia de ímpetu en estudiantes universitarios basado en la lectura de un texto refutacional y medido con el Force Conceptual Inventory y el Model Analysis” analiza modelos mentales basados en la lectura refutacional y el inicio del cambio conceptual de la clase, lo que contribuye a desestabilizar el dominio del modelo mental abordado. Esta es una propuesta particular para estudiantes universitarios.

Por su parte, “Modelación con funciones desde el enfoque de Situaciones Didácticas de Brousseau” se plantea como una iniciativa de investigación orientada a mejorar la comprensión del concepto de función en los estudiantes del grado noveno. “Modelización de mezclas homogéneas. Experiencia didáctica en la educación media” aborda la experiencia de los estudiantes de décimo grado de tres instituciones educativas oficiales del oriente antioqueño sobre mezclas homogéneas y la relación entre sus componentes, a partir del análisis de situaciones cotidianas.

Estas propuestas se vinculan con una perspectiva de interés en y para la didáctica de las ciencias, como se puede apreciar en Salomon (1992) cuando refiere a un análisis del tipo de asociaciones en el desarrollo de habilidades cognitivas y las formas de ser transferibles. Se trata entonces de identificar el desarrollo e incidencia en las formas de concebir los procesos desarrollados en la ciencia y la tecnología, sus usos, símbolos y lenguajes en la estructura cognitiva de quienes los usan.

Con base en lo anterior, cerrar las brechas y tender puentes entre los conocimientos de la ciencia con el lenguaje escolar son acciones imperativas, así

como también lo son el acercamiento con los dispositivos y el uso de mecanismos y herramientas para su divulgación en tiempos de hiperconectividad. Así, se atiende al hecho de que existen también sitios en los cuales el uso de la tecnología o el acceso a recursos y espacios digitales son más restringidos o hasta nulos, lo cual se vive y percibe diferente con las ideas de Grisales (2018), quien considera la importancia de masificar la información a través de medios virtuales a fin de crear herramientas para su uso frecuente.

Entre tanto, autores como Mendible y Ortiz (2007) señalan que la modelación matemática se presenta como un centro de interés didáctico, ya que permite establecer importantes relaciones entre situaciones contextuales y admite identificar enfoques y metodologías asociados a los modelos como aquellos que han sido bien documentados en multiplicidad de investigaciones. A su vez, estos han demarcado una de las líneas de desarrollo más prolija de las didácticas específicas en ciencias y matemáticas.

En segunda instancia, está latente la preocupación por la metacognición y autorregulación en el proceso de enseñanza, aprendizaje y evaluación. En esa perspectiva encontramos los siguientes capítulos: “Estudio de la dimensionalidad del Force Conceptual Inventory mediante un análisis factorial con matriz de correlación tetracórica”; este refiere el uso de la prueba Force Concept Inventory (FCI) con un grupo de estudiantes universitarios para determinar la prevalencia de ideas científicas o intuitivas relacionadas con el concepto de fuerza. El texto “Innovación con V de Gowin: una apuesta para el aprendizaje de conceptos científicos” muestra cómo las comprensiones de un grupo de estudiantes de básica secundaria se desarrollan sobre el concepto de cambio químico gracias al uso de una herramienta de enseñanza-aprendizaje.

En “La regulación metacognitiva en situaciones problema para el aprendizaje del concepto disoluciones químicas en estudiantes de educación media” se aborda un análisis sobre procesos metacognitivos en la enseñanza y el aprendizaje de conceptos científicos cuando median situaciones o problemas en el aula, así como la regulación metacognitiva en situaciones o problemas para el aprendizaje del concepto *disoluciones químicas*. “¿Es posible enseñar física sin matemáticas? Una propuesta desde la dinámica de sistemas” sugiere la implementación de una propuesta de aula que contemple los principios cualitativos de la dinámica de sistemas, con énfasis en priorizar el análisis cualitativo y la comprensión de los fenómenos sobre el manejo de las ecuaciones. “Aproximación a

la reflexión y refracción de la luz en educación primaria usando la metodología de aprendizaje activo” presenta una propuesta didáctica para la exploración de los conceptos de reflexión y refracción de la luz al involucrar la metodología de aprendizaje activo en estudiantes de tercer grado de educación primaria.

Desde este punto de vista, documentar las experiencias y pasar de la reflexión a la consolidación de los procesos de sistematización en virtud de la investigación se constituyen en piezas claves porque se ajustan a las necesidades de los lugares, contextos y territorios como una forma de interlocución con lo vivo, lo simbólico y lo poderoso de la palabra. Esto es posible por las complejas redes cognitivas para procesar y permitir la conjugación del conocimiento, el saber y la experiencia, a fin de configurar un sistema para los aprendizajes. Estos textos comentados presentan una serie de relaciones que interpelan las nociones, los conceptos y los procedimientos para las comprensiones metanalíticas de contenidos asociados a la química y a la física, para así implementar propuestas didácticas diseñadas en el aula y las cuales posicionan resultados que son de interés para el escenario de la investigación sobre estas cuestiones, ya que pueden emplearse en los contextos próximos de los educadores de la geografía colombiana.

Lograr la comprensión conceptual de los procedimientos es fundamental para los procesos metacognitivos. Autores como Kampourakis (2014); Gelman y Legare (2011); Grotzer y Mittlefehldt (2012); Joshua y Dupin (2005); Malmberg *et al.* (2015), y Saab *et al.* (2012) identifican la necesidad de desarrollar conocimientos y habilidades metacognitivas para que los estudiantes se puedan apropiar de aquellos modelos científicos que son contraintuitivos para ellos. Asimismo, lograr el desarrollo de estas intervenciones supone una posibilidad de indagación y de perspectiva para continuar con procesos de innovación de las prácticas educativas y que no solo se gesten como un compendio de actividades, sino que se conviertan en complejos procesos de implementación de cambios y construcciones para optimizar ese desarrollo de capacidades metacognitivas en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias y las matemáticas.

Los resultados que se derivan de estas intervenciones, diseños y propuestas didácticas evidencian la posibilidad de favorecer actitudes de progresión conceptual de los contenidos. Además, promueven un posicionamiento en torno a espacios para el aprendizaje en ambientes que vinculan diferentes áreas, como también el desarrollo de procesos de argumentación y comprensión de

los símbolos y signos usados en ecuaciones y otras formas de representación del lenguaje científico. Por otro lado, algunas propuestas de los docentes reflexionan sobre el diseño, la aplicación y la valoración de estrategias didácticas relacionadas con modelos didácticos constructivistas y metodologías activas. Estas propuestas se enfocan en el proceso de enseñanza-aprendizaje desde la perspectiva del estudiante, su aprendizaje y el desarrollo de sus competencias científicas. Este enfoque se presenta en los siguientes capítulos: en “La lectura y escritura en clase de Física como estrategias de aprendizaje: ¿qué y cómo se aprende cuando se escribe?” se expone la implementación de una estrategia didáctica que involucra como herramientas esenciales la lectura y la escritura; leer para explorar y conocer sobre un fenómeno físico como eje fundamental para el aprendizaje. “Trabajos prácticos en el aprendizaje de los fenómenos ondulatorios” presenta un análisis sobre la contribución de los trabajos prácticos al aprendizaje de los fenómenos ondulatorios en estudiantes de educación secundaria. Detalla la ejecución de los trabajos prácticos de campo y de laboratorio, así como el funcionamiento y la formación de las ondas como perturbaciones que transmiten energía de un lugar a otro. “Propuesta didáctica para resolución de problemas de física por investigación dirigida: un enfoque para desarrollar las competencias científicas en estudiantes de secundaria” ilustra los cambios en el desarrollo de las competencias científicas evaluadas por el Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación Superior (Icfes). Analiza la resolución de problemas de física por investigación dirigida, trabajada con estudiantes de décimo grado, y su relación con desarrollo de las capacidades para comprender conceptos y teorías, construir explicaciones de fenómenos físicos y con ello entender que desde los procesos de investigación se construyen explicaciones sobre el mundo natural.

Estas estrategias se fundamentan en que los niños y los jóvenes del siglo XXI requieren del apoyo de docentes que aborden cuestiones relevantes para este momento histórico, que relacionen, comprendan y dimensionen los problemas y procesos que fueron heredados del siglo anterior y que son inherentes a la vida y a la complejidad de los desafíos actuales. Por ello, se considera aún más que necesario que las contribuciones didácticas diseñadas por parte de los maestros y maestras evolucionen con estas realidades y ello permita el desarrollo de capacidades y habilidades para enfrentarlas en este milenio. En ese sentido, las metodologías activas privilegian el lugar protagónico que tienen los estudiantes

en el proceso de aprendizaje, ya que —visto desde sus orígenes— el uso de recursos, estrategias, métodos y procedimientos para acercar a los estudiantes al conocimiento genera su participación activa y gesta nuevas contribuciones reflexivas desde y para la escuela.

De tal suerte que se busca que estos aportes diriman y refuercen los procesos de investigación en la escuela, así como involucren de manera asidua herramientas disruptivas que logren nuevas formas de potenciar aprendizajes significativos y consecuentes con el desarrollo de competencias científicas y tecnológicas, necesarias para afrontar los retos y demandas actuales. Para lo cual resulta necesario formular preguntas, cuestionar la realidad e identificar escenarios posibles para traducir —a un lenguaje aprehensible y dinámico— los procesos tecnocientíficos, pues estas acciones, además de generar un acercamiento bien fundamentado de su praxis, propician el asombro y el disfrute por el conocimiento, con tareas asociadas al uso de estrategias didácticas en formas que impliquen e interpelen la realidad de los estudiantes de manera permanente.

Finalmente, los diseños metodológicos identificados en los capítulos de este libro se compaginan con los enfoques más comunes en investigación educativa, ya que se presentan con criterios que demarcan métodos útiles para abordar sus problemas y lograr consolidar los avances significativos en las intervenciones diseñadas e implementadas con bases epistemológicas y didácticas.

### **Perspectivas actuales y futuras de la educación en ciencias: retos para la transformación y la innovación educativas**

*Para cada edad, una reliquia: un telar, un automóvil, la PC, una impresora 3D. L'Encyclopédie fue la señal de su período, catalogando y concretando los límites entre las disciplinas, que surgieron del “largo siglo XVIII” de la Ilustración. Durante el siguiente cuarto de milenio, permanecemos adoctrinados a los shibboleths de esta reliquia, operando dentro de discretos silos de pensamiento. En los albores del nuevo milenio, apareció el meme “antidisciplinario”, que nos sacó de la sombra de Aristóteles y nos introdujo en una nueva “Era del Enredo”.*

Nery Oxman (MIT)

El desarrollo científico actual demanda transformaciones importantes en los procesos educativos. En particular, a la enseñanza de la física, la química y la biología se le demanda adaptarse al acelerado ritmo evolutivo de los sistemas conceptuales, desde los cuales se desdibujan y pierden relevancia los límites entre los dominios de conocimiento establecidos en periodos anteriores bajo epistemes de fragmentación. En este sentido, problemas como la desigualdad, la pobreza, el deterioro ambiental progresivo, los levantamientos y estallidos sociales cuestionan las estructuras dogmáticas de la disciplinariedad y hacen un llamado para atender la complejidad del mundo a través del vínculo de conocimientos y la superación de contenidos. Estos hechos llaman la atención sobre los temas, las situaciones y los retos de la humanidad que implican cambios en los sistemas sociales, culturales y biofísicos.

En ese sentido, la ciencia que se enseña y se comparte desde la escuela debe ser sensible frente a la que se consolida en la actualidad. La bio y nanotecnología, la ciencia de los datos, las realidades mixtas, la cuántica y la neurociencia están señalando cambios fundamentales en la forma de entender y transformar el mundo, que de ninguna manera están aislados de la realidad de los niños y los jóvenes, por lo que presionan pasivamente al docente y a la escuela.

Por otra parte, como se evidencia en las propuestas de los docentes que participaron en el proyecto “La investigación en la escuela y el maestro investigador en Colombia”, las metodologías activas están revolucionando las didácticas específicas, cuestionan el currículo compartimentado, los roles tradicionalmente asumidos por el sistema educativo transmisionista, así como los ambientes de enseñanza, aprendizaje y evaluación, y finalmente, el uso de los materiales y los resultados (Hasni *et al.*, 2016; López-Alegría y Fraile, 2023; Solbes *et al.*, 2013). Además, permiten proyectar procesos fundamentados en problemas reales y soluciones mediadas por la tecnología, se priorizan los procesos y el desarrollo de actividades por encima de los contenidos, los cuales posibilitan la conexión de saberes —transdisciplinariedad—, el trabajo colaborativo, así como el desarrollo de habilidades y competencias básicas para el mundo moderno.

Entre estas metodologías activas se destacan algunas de mayor tradición como el aprendizaje basado en problemas y el aprendizaje basado en proyectos; otras pueden ser la indagación/investigación escolar, o más recientes como el aprendizaje basado en retos o el aprendizaje basado en el servicio. Las metodologías activas además se caracterizan, según Johnson *et al.* (2000), por vincular

el contexto; potenciar el trabajo en equipo, la cooperación; consolidar saberes con sentido, y aprender desde el descubrimiento. Asimismo, posibilitan experiencias de aprendizaje que parten de la conexión afectiva-emocional.

En la didáctica de las ciencias, las propuestas de alfabetización científica consideran que todos los ciudadanos deben recibir una educación integral y pertinente, que les permita entender el mundo, solucionar problemas cotidianos, valorar el aporte de la ciencia a la sociedad y, además, que posibilite ejercer plenamente sus derechos, participar y tomar decisiones. Así que perspectivas como Ciencia, Tecnología y Sociedad, además vinculadas con el Ambiente (CTSA) (García-Carmona *et al.*, 2014), y los problemas o asuntos sociocientíficos —también llamados socialmente vivos—, ofrecen un contexto de aprendizaje y actitudes, fundamentado en problemas reales, complejos y cercanos para los estudiantes, las familias y, en general, las comunidades académicas (Hodson, 1993). Diferentes autores consideran que los problemas sociocientíficos son en sí mismos una oportunidad para comprender la naturaleza de las ciencias (Sadler *et al.*, 2004; Zeidler *et al.*, 2002) y potenciar el desarrollo de argumentos (Erduran y Jiménez-Aleixandre, 2007).

En contraste, algunas reflexiones e investigaciones se trazan preguntas más disruptivas que permiten relacionar la educación en ciencia con la formación ciudadana y la educación para la paz, lo cual resulta sensible con la justicia social en clave del reconocimiento y garantía de derechos, especialmente de comunidades vulnerables o socialmente excluidas. De la misma manera, la perspectiva de género es un asunto ineludible, tal como lo mencionan Manassero y Vázquez-Alonso (2003) y Kerkhoven *et al.* (2016).

En este sentido, se suscribe en consenso que la ciencia es una actividad de construcción humana, que debe ser humanizada y que además es fundamental para configurar comprensiones, debates, reflexiones y conversaciones en torno a su deber ser y a cómo se equipara con el logro de una cultura científica. Se trata de una ciencia apostada para la comprensión de la realidad líquida, mutable y equiparable a las condiciones del ser humano, como producto de su ingenio y de su capacidad para generar una comprensión multidimensional del mundo.

Asimismo, podría entenderse que el ecosistema vinculado a la innovación en educación en ciencias se desarrolla, evoluciona y se adapta a través de la exploración de nuevos escenarios formativos, mediante la interacción con actores

sociales y el compromiso con la reflexión y aporte a la resolución de los grandes retos que convocan la humanidad en su dimensión ecológica, social, económica y política. Los fundamentos de la educación ambiental en el marco de los Objetivos para el Desarrollo Sostenible (ODS), la educación basada en indagación o la emergente y popular educación STEM-STEAM, los laboratorios vivos o las estrategias vinculadas con el pensamiento de diseño, el papel del docente, la formación inicial y durante la vida, son miradas disruptivas que trascienden las formas tradicionales y los discursos hegemónicos, las cuales proponen al docente como sujeto político el trabajo en red, la formación entre pares y la investigación para la innovación.

De manera asertiva se encuentran vinculadas a las referencias documentales actuales una gran cantidad de experiencias que afirman y develan, a su vez, lo que maestros investigan en la escuela y lo que van vinculado a lo largo de sus conclusiones. Se destacan diseños que exponen la mirada desde su experiencia de aula; propuestas de intervención didáctica que revisten un abordaje hacia la comprensión de conceptos; desarrollo de capacidades en lenguaje; implicaciones en el aprendizaje metacognitivo; concesión del rol activo y participativo del estudiante, y otros elementos adicionales que hacen parte de la mirada y los componentes pedagógicos.

Por otro lado, el paradigma de la innovación ha traído consigo una serie de cuestionamientos a las formas tradicionales de vivir y educar. Algunos consideran que es imprescindible el desarrollo de tecnologías que trascienden de la mirada instrumental al procesamiento de datos, la generación de ideas y la co-creación de estrategias que transformen los problemas en oportunidades. Sin embargo, cabe preguntarse: ¿qué se entiende por innovación en el campo la educación en ciencias? Algunos consideran que otros aspectos también se deben vincular a procesos innovadores en la educación científica; por ejemplo, la atención a la diversidad funcional, la priorización de la calidad, la inclusión de la diversidad cultural —en un país heterogéneo como Colombia—, la vinculación con temas relevantes para el contexto, el trabajo colaborativo e interdisciplinar.

Sin embargo, es necesario contrastarlos con las posibilidades que arguye esa conexión indeleble con la realidad de la inmersión de y para la cultura y alfabetización en ciencia y tecnología. No solo por sus formas de ser comunicada, sino también por las maneras en que es producida, razón por la cual la innovación

en educación —y ella avizorada en el marco de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias y las matemáticas— se entrecruza con la naturaleza de los conocimientos y saberes propios de los maestros. Así se legitima el rol docente como traductor de ese lenguaje y los procedimientos rigurosos de la ciencia, para así dar cabida a las experiencias didácticas y a las formas de acentuarlas en la escuela, una apuesta que cruza la frontera casuística para ser sistematizada y llevada a la práctica de forma reflexiva.

## Referencias

- Ariza, L. G., Parga, D. L. y Rodríguez, R. (2021). Conocimiento didáctico del contenido y su relación con la producción del conocimiento químico. En *Itinerarios de la Investigación Educativa y Pedagógica* (pp. 13-20). Universidad Pedagógica Nacional.
- Ball, D. L., Thames, M. H., y Phelps, G. (2008). Content knowledge for teaching: What makes it special? *Journal of Teacher Education*, 59(5), 389-407. <https://doi.org/10.1177/0022487108324554><https://doi.org/10.1177/0022487108324554>
- Bolívar, A. (2005). Conocimiento didáctico del contenido y didácticas específicas. *Profesorado. Revista de currículum y formación del profesorado*, 9(2), 1-39.
- Clermont, C. P., Krajcik, J. S. y Borko, H. (1993). The influence of an intensive inservice workshop on pedagogical content knowledge growth among novice chemical demonstrators. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(1), 21-43. <https://doi.org/10.1002/tea.3660300104>
- Clermont, C. P., Borko, H., y Krajcik, J. S. (1994). Comparative study of the pedagogical content knowledge of experienced and novice chemical demonstrators. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(4), 419-441. <https://doi.org/10.1002/tea.3660310409>
- Cochran-Smith, M. y Lytle, S. (2009). The teacher research movement: A decade later. *Educational Researcher*, 28(7), 15-25.
- Decreto 1075 del 2015 (mayo 26), por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Educación. Ministerio de Educación Nacional. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=77913>
- Erduran, S. y Jiménez-Aleixandre, M. P. (2007). Argumentation in science education: An overview. En S. Erduran y M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in science education: Perspectives from classroom-based research* (pp. 3-27). Springer.

- Fonseca, G. (2014). El PCK en profesores de biología: Aportes y limitaciones. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (Extra). <https://doi.org/10.17227/01203916.3370>
- García-Carmona A., Criado A. M. y Cañal P. (2014) ¿Qué educación científica se promueve para la etapa de primaria en España? Un análisis de las prescripciones oficiales de la LOE. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(1), 139-157.
- Garriz, A., Nieto, E., Padilla, K., de María Reyes-Cárdenas, F. y Velasco, R. T. (2008). Conocimiento didáctico del contenido en química. Lo que todo profesor debería poseer. *Campo Abierto. Revista de Educación*, 27(1), 153-177.
- Gelman, S. A. y Legare, C. H. (2011). Concepts and folk theories. *Annual Review of Anthropology*, 40, 379-398.
- Gess-Newsome, J. y Lederman, N. G. (1993). Preservice biology teachers' knowledge structures as a function of professional teacher education: A year-long assessment. *Science Education*, 77(1), 25-45.
- Gess-Newsome, J., Taylor, J. A., Carlson, J., Gardner, A. L., Wilson, C. D. y Stuhlsatz, M. A. M. (2017). Teacher pedagogical content knowledge, practice, and student achievement. *International Journal of Science Education*, 41(7), 944-963.
- Grisales, M. (2018). Uso de recursos TIC en la enseñanza de las matemáticas: retos y perspectivas. *Entramado*, 14(2), 198-214.
- Grotzer, T. y Mittlefehldt, S. (2012). The role of metacognition in students' understanding and transfer of explanatory structures in science. En A. Zohar y Y. Dori (Eds.), *Metacognition in science education. Trends in current research* (pp. 79-99). Springer.
- Halim, L., y Meerah, S. M. M. (2002). Science trainee teachers' pedagogical content knowledge and its influence on physics teaching. *Research in Science & Technological Education*, 20(2), 215-225.
- Hasni, A., Bousadra, F., Belletête, V., Benabdallah, A., Nicole, M. C. y Dumais, N. (2016). Trends in research on project-based science and technology teaching and learning at K-12 levels: A systematic review. *Studies in Science Education*, 52(2), 199-231.
- Hiebert, J., Gallimore, R. y Stigler, J. (2002). A knowledge base for the teaching profession: What would it look like and how can we get one? *Educational Researcher*, 31(5), 3-15.
- Hodson, D. (1993). In search of a rationale for multicultural science education. *Science Education*, 77(6), 685-711.
- Joshua, S. y Dupin, J. (2005). *Introducción a la didáctica de las ciencias y la matemática*. Colihue.

- Johnson, D. W., Johnson, R. T. y Smith, K. A. (2000). Constructive controversy: The educative power of intellectual conflict. *Change: the magazine of higher learning*, 32(1), 28-37.
- Kampourakis, K. (2014). *Understanding evolution*. Cambridge University Press.
- Kennedy, M. M. (1997). The connection between research and practice. *Educational Researcher*, 26(7), 4-12.
- Kerkhoven, A. H., Russo, P., Land-Zandstra, A. M., Saxena, A., y Rodenburg, F. J. (2016). Gender stereotypes in science education resources: A visual content analysis. *PLoS ONE*, 11(11), 1-13.
- López-Alegría, F. y Fraile, C. (2023). Metodologías didácticas activas frente a paradigma tradicional. Una revisión sistemática. *FEM. Revista de la Fundación Educación Médica*, 26(1), 5-12.
- Magnusson, S. y Krajcik, J. S. (1993, abril). *Teacher knowledge and representation of content in instruction about heat energy and temperature* [ponencia]. Annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Atlanta, Estados Unidos.
- Malmberg, J., Järvelä, S., Järvenoja, H. y Panadero, E. (2015). Promoting socially shared regulation of learning in CSCL: Progress of socially shared regulation among high- and low-performing groups. *Computers in Human Behavior*, 52, 562-572.
- Manassero, M. A. y Vázquez Alonso, Á. (2003). Los estudios de género y la enseñanza de las ciencias. *Revista de Educación*, (330), 251-280.
- Mellado, V. (1998). The classroom practice of preservice teachers and their conceptions of teaching and learning science. *Science Education*, 82(2), 197-214.
- Mendible, A. y Ortiz, J. (2007). Modelización matemática en la formación de ingenieros. La importancia del contexto. *Enseñanza de la Matemática*, 12-16(Extra), 133-150.
- Mora, W. M. y Parga, D. L. (2017). El modelo unificador TPK&S: algunas similitudes y diferencias con el CDC-complejo, en el profesorado de ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, (Extra), 103-108.
- Parga, D. L. y Mora, W. M. (2017). El CDC en química: una línea de investigación y de relaciones con la práctica docente. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, (Extra), 97-102.
- Parga, D. L., y Moreno, W. F. (2017). Conocimiento didáctico del contenido en química orgánica: Estudio de caso de un profesor universitario. *Revista Electrónica Educare*, 21(3), 1-21.

- Saab, N., van Joolingen, W. y van Hout-Wolters, B. (2012). Support of the collaborative inquiry learning process: Influence of support on task and team regulation. *Metacognition and Learning*, 7(1), 7-23.
- Sadler, T. D., Chambers, F. W. y Zeidler, D. L. (2004). Student conceptualizations of the nature of science in response to a socioscientific issue. *International Journal of Science Education*, 26(4), 387-409.
- Salomon, G. (1992). Las diversas influencias de la tecnología en el desarrollo de la mente. *Journal for the Study of Education and Development*, 15(58), 143-159.
- Sanders, L. R., Borko, H. y Lockard, J. D. (1993). Secondary science teachers' knowledge base when teaching science courses in and out of their area of certification. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(7), 723-736.
- Schoonmaker, F. (2007). One size doesn't fit all: Reopening discussion of the research-practice connection. *Theory into Practice*, 46(4), 264-271.
- Secretaría de Educación de Medellín y Universidad de Antioquia. (2016). *Guía metodológica para la construcción, actualización e implementación del Proyecto Educativo Institucional (PEI)*. Municipio de Medellín.
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.
- Shulman, L. S. (2005). El saber y entender de la profesión docente. *Estudios Públicos* (Centro de Estudios Públicos, Chile), (99), 195-224.
- Solbes, J., Domínguez-Sales, M. C., Fernández-Sánchez, J., Furió, C., Cantó, J. R. y Gisasola, J. (2013). ¿El profesorado de física y química incorpora los resultados de la investigación en didáctica? *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, (27), 155-178.
- Valbuena Ussa, E. O. (2007). *El conocimiento didáctico del contenido biológico: estudio de las concepciones disciplinares y didácticas de futuros docentes de la Universidad Pedagógica Nacional (Colombia)* [tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid]. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/56360>
- Zeidler, D. L., Walker, K. A., Ackett, W. A. y Simmons, M. L. (2002). Tangled up in views: Beliefs in the nature of science and responses to socioscientific dilemmas. *Science Education*, 86(3), 343-367.

# Capítulo 1. Cambio conceptual de la creencia de ímpetu en estudiantes universitarios basado en la lectura de un texto refutacional\*

Alexander Bonilla Castro

Carlos Uribe Gartner

El aprendizaje de algunos conceptos físicos en ocasiones es obstaculizado por falsas creencias. Desde los años ochenta se ha estudiado el potencial de la lectura de textos refutacionales cortos para transformar falsas creencias simples. Estos textos intentan establecer un conflicto cognitivo en el contexto de una falsa creencia y ofrecer una idea alternativa plausible. Estas investigaciones concluyen al unísono que el uso de este tipo de textos es uno de los medios escritos más eficaces para lograr cambios conceptuales. Sin embargo, el impacto de estos es bajo cuando se abordan en el contexto de creencias robustas o modelos mentales, los cuales se arraigan fuertemente en el sistema cognitivo. Este capítulo reporta los resultados de una investigación doctoral desarrollada en el año 2016 con estudiantes universitarios, cuya tesis establece que el abordaje de modelos mentales basada en la lectura refutacional debe incorporar un texto más denso. Esta investigación integró un curso de lenguaje y otro de física en un ambiente de clase convencional basado en la lectura de un texto expositivo refutacional extendido para transformar el modelo mental de ímpetu (relación fuerza-movimiento). En el estudio del impacto del texto expositivo refutacional extendido se utilizó el Force Concept Inventory y el Model Analysis. Los resultados muestran que la lectura del texto expositivo refutacional extendido fomentó el inicio del cambio conceptual de la clase, lo que contribuyó a desestabilizar el dominio del modelo mental abordado.

\* Para citar este capítulo: <http://doi.org/10.51573/Andes.9789587985061.9789587985078.1>

## Introducción

En la actualidad, la educación en ciencias naturales es uno de los principales puntos de las agendas gubernamentales que reconocen que esta es de importancia vital para el desarrollo de las sociedades. Sin embargo, existe una preocupación generalizada por el éxito limitado de los esfuerzos que se realizan en los distintos ámbitos y niveles.

Los estudios sobre la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias realizado por Michelene Chi (2008) sugieren tres casos. En el primero, los estudiantes no han tenido relación con los fenómenos y conceptos que deben aprender. De allí que no hayan elaborado conocimientos previos al respecto. Por lo tanto, la enseñanza se establecerá por adición. En el segundo y tercer caso, los estudiantes tienen relación con los fenómenos y conceptos que se pretenden enseñar. Así, en el segundo caso, los estudiantes construyen ideas parciales de los conceptos; en consecuencia, la enseñanza será por completación. Entre tanto, en el último caso, los estudiantes construyen ideas completas y estables, pero distorsionadas. De esta manera, la enseñanza será por cambio conceptual.

Existen dos niveles de falsas creencias a saber: simples y robustas (o modelos mentales). Estas se distinguen por sus características funcionales y por el arraigo en el sistema de valores y creencias de las personas.

## Falsas creencias y modelos mentales

Por lo general, las creencias simples se heredan de la cultura mediante la tradición oral o el uso de dispositivos electrónicos. Un ejemplo de este tipo de creencias es la que considera que los camellos tienen agua en sus jorobas. Esta creencia no es funcional, no permite resolver problemas prácticos o cotidianos. Entre tanto, los modelos mentales son el resultado de la interacción con la naturaleza, la sociedad y la escuela (Pozo y Gómez, 1998). Estas afectan la manera como los estudiantes interpretan lo que se les enseña. Los modelos mentales se originan cuando varias creencias simples se articulan para responder a situaciones relevantes de los sujetos, como, por ejemplo, considerar que la fuerza se comunica de un cuerpo a otro por contacto, y que cuando esta se acaba, se detiene.

El constructo *modelo mental* es polisémico. Para efectos de esta investigación asumiremos que los modelos mentales son representaciones analógicas

(conserva la estructura de lo representado), dinámicas y generativas, elaboradas durante ciertas demandas cognitivas. Los modelos mentales pueden manipularse inconscientemente para generar explicaciones causales de los fenómenos físicos y hacer predicciones sobre los cuerpos y sus estados en el universo (Vosniadou, 1994).

Según Pozo y Gómez (1988), los modelos mentales residen en el nivel de análisis más profundo del sistema cognitivo: la memoria permanente. De allí la dificultad para acceder a ellos. Entre tanto, en el primer nivel de análisis se encuentran las respuestas situacionales diseñadas *ad hoc* para responder a las tareas o situaciones a las que se enfrentan los individuos. Estas respuestas son metodológicamente más accesibles para los sujetos e investigadores. Estos autores advierten que la mayoría de las investigaciones, cuyo objeto de estudio han sido las ideas previas de los estudiantes, indagan por respuestas situacionales y las asumen como modelos mentales.

Los procesos de aprendizaje fundamentados en la transformación de los modelos mentales son muy complejos y requieren acciones conscientes y deliberadas por parte del docente. Las personas se aferran fuertemente a dichos modelos mentales dada la economía cognitiva que permiten, pues son resistentes al cambio. El proceso de transformación inicia cuando el modelo mental disponible para responder a una demanda cognitiva resulta ineficaz. Este hecho cataliza la búsqueda de otro modelo en el sistema cognitivo del sujeto; de no encontrarlo, combinará modelos y en algunos casos podría incorporar elementos de modelos mentales nuevos generados a partir de los aprendizajes fomentados por la instrucción, la lectura, la discusión, entre otros aspectos.

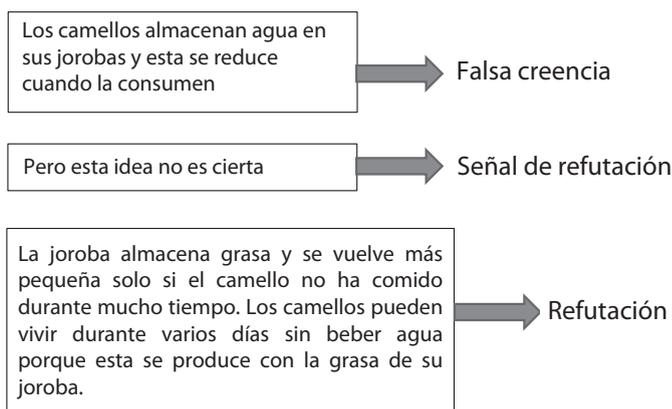
La coexistencia de distintos modelos mentales (algunos contradictorios entre sí) en el sistema cognitivo permite dar respuesta a un mismo fenómeno en el que uno de ellos es dominante (Criado y Cañal, 2003). Además, el desarrollo y uso de estos conocimientos son sensibles a los contextos (Bao y Redish, 2006). Por lo tanto, el cambio conceptual de estos conocimientos es un proceso complejo que admite el ajuste a los modelos mentales o la creación de nuevos; estos cambios pueden reemplazar potencialmente a los “viejos” o coexistir.

Ahora bien, bajo la premisa de que los libros son uno de los recursos didácticos más utilizados alrededor mundo, diversos autores desde finales de los años ochenta se interesaron por el campo de la investigación sobre la lectura,

específicamente por el efecto cognitivo que genera la lectura de textos refutacionales en estudiantes que poseen creencias ingenuas relacionadas con fenómenos físicos y biológicos (Gordon y Rennie, 1987; Hynd y Avermann, 1986; Maria y Johnson, 1990; entre otros). Un texto refutacional es un material instruccional escrito que intenta establecer conflicto cognitivo en el contexto de una creencia ingenua y ofrecer una idea alternativa plausible que contribuya al cambio de dicha creencia. Según Tippett (2010), los textos refutacionales están estructurados básicamente por tres componentes a saber: una falsa creencia, la señal de refutación y la refutación que incluye un argumento científico aceptado (véase la figura 1.1).

Luego de tres estudios complementarios que establecieron el estado del arte de varias décadas de investigaciones sobre el impacto de la lectura de los textos refutacionales, en el contexto del cambio conceptual de falsas creencias (Guzzetti *et al.*, 1992; Guzzetti, 2000; Tippett, 2010), se determinó que el uso de estos textos es más efectivo y duradero que otras estrategias didácticas tradicionales (conferencias, lectura de textos no refutacionales, laboratorios, entre otros). La dependencia de las habilidades lingüísticas del lector y el acompañamiento del docente en el proceso de lectura de los textos refutacionales son factores determinantes para el cambio conceptual. Del mismo modo, se encontró que la efectividad de estos textos es potenciada por la tipología textual expositiva y por la incorporación de actividades que recrean los fenómenos estudiados.

Figura 1.1. **Componentes base de un texto refutacional**



Fuente: adaptada de Tippett (2010).

Finalmente, se identificó que el uso de textos refutacionales es muy limitado en las aulas de ciencias.

Dos características generalizadas de estos estudios son, por un lado, el abordaje de falsas creencias simples, cuya modificación no altera el sistema global de creencias de los sujetos, tal como el ejemplo de los camellos (figura 1.1); por el otro, la baja validez ecológica, dado que el grueso de los estudios se han desarrollado en condiciones controladas de laboratorio.

Este objeto de estudio se encuentra vigente y es de gran interés para los entes gubernamentales, investigadores y docentes de ciencias en general, dado que el libro de texto continúa siendo uno de los recursos didácticos más utilizados en las aulas, con la posibilidad de potenciarlo con el formato refutacional. Así pues, los aportes que se pueden hacer a este campo de investigación son variados, como, por ejemplo, fortalecer el estudio del impacto de la lectura de los textos refutacionales en el contexto de falsas creencias robustas (modelos mentales) y en condiciones reales de clase para atribuir mayor validez ecológica a estas investigaciones.

La presente investigación se enmarca en los estudios realizados por Bao y Redish (2006), quienes se interesaron por representar y evaluar la dinámica de la transformación de algunos modelos mentales relacionados con conceptos físicos. Utilizaron el test de selección múltiple denominado Force Concept Inventory (en adelante FCI) para activar los modelos mentales objeto de estudio, así como el Model Analysis para representar analítica y gráficamente los resultados. En efecto, la identificación del estado de conocimientos de los estudiantes en el marco de los modelos mentales y el impacto de las intervenciones para sus transformaciones requiere de instrumentos de evaluación especializados. El FCI indaga por los conceptos subsidiarios del movimiento y la fuerza, lo que permite reconocer la dominancia o coexistencia de los modelos asociados a estos conceptos.

### **Force Concept Inventory (FCI)**

Este test es producto de una extensa investigación cualitativa. Evalúa los conceptos de fuerza y movimiento, sus relaciones y demás conceptos subsidiarios mediante seis dimensiones conceptuales (cinemática, primera ley de Newton,

segunda ley de Newton, tercera ley de Newton, principio de superposición y tipos de fuerza); así, emplea preguntas cotidianas que no requieren ningún cálculo (Budini *et al.*, 2019). La incorporación de distractores derivados de las creencias ingenuas más comunes y el uso de preguntas equivalentes hacen de esta prueba un potente instrumento de evaluación. Los conjuntos de preguntas equivalentes son aquellas que indagan por un mismo concepto en diferentes contextos. Cada distractor está asociado a un modelo mental específico (véase la tabla 1.1).

El rendimiento de un estudiante puede ser sensible al contexto de la situación planteada. Los distractores son potentes si logran activar uno o varios modelos mentales, lo cual afecta la toma de decisiones de los estudiantes al igual que la presencia de imágenes, el orden de los distractores o las preguntas anteriores en la prueba. De forma similar, la ponderación de la prueba respecto a la nota final del curso (examen final, parcial o *quiz*), el momento en el que se evalúa o si la prueba fue anunciada o no, son elementos que pueden supeditar el desempeño de los estudiantes. Estas situaciones y otras más se consideran formas de sensibilidad al contexto en las que un estudiante responde de manera diferente a preguntas equivalentes (Stewart *et al.*, 2007).

De allí que el FCI permita identificar el estado de conocimientos de los estudiantes con información didáctica clave; desafortunadamente estos hallazgos no han logrado transformar su uso por parte de docentes e investigadores, que en general continúan utilizando el FCI de manera global e interpretando

**Tabla 1.1. Clasificación de las opciones de respuesta correspondiente a las ocho preguntas equivalentes del FCI que indagan por la relación fuerza-movimiento**

Pregunta	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
5	a, b	c, d, e	
11	a, d	b, c	e
13	d	a, b, c	e
17	b	a, d	c, e
18	a, b	c, d, e	
25	c	b, d, e	a
26	e	a, b, c	c, d
30	a, c	b, d, e	

Fuente: elaboración propia.

dicotómicamente los resultados (Bao, 1999). En efecto, una adecuada interpretación de los resultados del FCI debe hacer uso de toda la información didáctica que este provee; para ello se requiere de un instrumento especializado, como lo es el Model Analysis.

### **Model Analysis**

Tradicionalmente, el estado de conocimiento de los estudiantes se ha descrito mediante el uso de escalas determinísticas numéricas o alfabéticas en las que se asigna un único valor para cada estudiante. Sin embargo, estas valoraciones distan de la realidad cognitiva del estudiantado, dado que el aprendizaje es iterativo, presenta avances y retrocesos, se generan dudas, máxime cuando el aprendizaje se fundamenta en el cambio conceptual. De allí que los resultados de la evaluación sean susceptibles a los momentos en los que se implementa, al número de preguntas que indagan por un mismo concepto (preguntas equivalentes) y a los contextos utilizados.

Los conjuntos de preguntas equivalentes que componen el FCI son los que permiten la activación y posterior reconocimiento de los diferentes modelos mentales disponibles para responder a las demandas cognitivas planteadas. Por ende, las interpretaciones deterministas no logran procesar adecuadamente esta valiosa información. Entre tanto, el Model Analysis calcula la probabilidad de activación de estos modelos mentales, pues configura el estado de conocimiento mediante la distribución de probabilidades de activación (Bao, 1999).

El desempeño de cada estudiante se ubica en uno de tres casos posibles: estado puro, mixto o confuso (Bao, 1999). En el primero, las respuestas a las preguntas equivalentes se apoyan en un único modelo mental (modelo dominante no necesariamente correcto). En el segundo, se utilizan varios modelos (correctos e incorrectos) de forma inconsistente. Entre tanto, en el estado confuso no existe claridad de los modelos que utiliza; al parecer las respuestas no son producto de la reflexión sino del azar. Este caso requiere de una entrevista en profundidad que permita identificar el sustento de las respuestas dadas; en algunos casos este tipo de respuestas se presentan cuando el estudiante ha puesto en duda sus creencias (conflicto cognitivo), hecho que demuestra un avance significativo hacia el aprendizaje esperado. Es importante mencionar

que por lo general el grueso de la clase se encuentra en un estado mixto en el que se utilizan distintos modelos de forma indiscriminada.

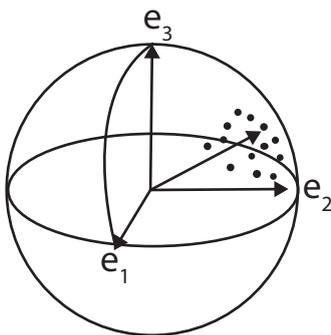
Un requisito clave para la implementación de Model Analysis es la clasificación de todas las opciones de respuesta del FCI en tres grandes grupos de modelos mentales: newtonianos ( $M_1$ ), ingenuos ( $M_2$ ) y nulos o mezcla ( $M_3$ ). Estos tres modelos representan diferentes tipos de razonamientos. El FCI tiene ocho preguntas equivalentes que indagan por la relación fuerza-movimiento. Estas se involucran tres modelos físicos (véase la figura 1.2).

Estos tres modelos ( $M_1$ ,  $M_2$  y  $M_3$ ) pueden ser representados con tres vectores ortogonales,  $e_1$ ,  $e_2$  y  $e_3$  (como se ve en la figura 1.2), definidos como los vectores del modelo de estado de conocimiento (Bao, 1999). Para modelar las respuestas de los estudiantes mediante los vectores base ( $e_1$ ,  $e_2$  o  $e_3$ ), estas se clasifican según la tabla 1.1. Cada respuesta se transforma en un vector de dimensión  $1 \times 3$ : ( $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ ). Por ejemplo, si un estudiante escoge la opción “a” para responder la pregunta 5, esta se transforma en el vector (1, 0, 0). Luego, los ocho vectores se suman para obtener un vector de respuesta del modelo general para cada estudiante.

Vale la pena destacar que el sustento matemático del Model Analysis se fundamenta en una densa estructura algebraica, concretamente algebra lineal, por lo cual no lo abordaremos en toda su extensión.

Se define un “espacio modelo” que representa todos los posibles estados de conocimiento de cada estudiante mediante los vectores posición:

Figura 1.2. **Espacio modelo que representa los tres estados de conocimiento**



Fuente: adaptado de Bao (1999).

$$U_k = \sqrt{q_{1k}}, \sqrt{q_{2k}}, \sqrt{q_{3k}}^T \tag{1}$$

El valor de la probabilidad de uso de cada conjunto de modelos mentales  $M_1$ ,  $M_2$  y  $M_3$ , para el  $k$ -ésimo estudiante, se define como:

$$q_{ik} = n_{ik} / m \tag{2}$$

cuyas coordenadas son números positivos que se ubican en el primer octante (véase figura 1.2). Las probabilidades  $q_1, q_2, q_3, \dots, q_w$  conforman el vector “Q”:

$$Q = q_1 \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + q_2 \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + q_3 \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \frac{1}{m} \left[ n_{1k} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + n_{2k} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + n_{3k} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \right] \tag{3}$$

Los tres  $n_{ik}$  indican las frecuencias de uso de los tres conjuntos de modelos. Luego, se aplica el producto externo entre el vector  $U_k$  y  $U_k^T$ ; ( $U_k \otimes U_k^T$ ). La matriz resultante  $M_k$  se conoce como “matriz densidad” del  $k$ -ésimo estudiante.

$$M_k = \frac{1}{m} \begin{bmatrix} n_{1k} & \sqrt{n_{1k}n_{2k}} & \sqrt{n_{1k}n_{3k}} \\ \sqrt{n_{1k}n_{2k}} & n_{2k} & \sqrt{n_{2k}n_{3k}} \\ \sqrt{n_{1k}n_{3k}} & \sqrt{n_{2k}n_{3k}} & n_{3k} \end{bmatrix} \tag{4}$$

Los valores de la diagonal principal representan las probabilidades de uso de cada conjunto de modelos mentales. Los elementos fuera de la diagonal muestran las confusiones entre modelos coexistentes. Para establecer la matriz densidad de la clase, se calcula el promedio de todas las matrices  $M_k$ . Para un grupo con  $N$  estudiantes tenemos:

$$D = \frac{1}{N \cdot m} \sum_{k=1}^N \begin{bmatrix} n_{1k} & \sqrt{n_{1k}n_{2k}} & \sqrt{n_{1k}n_{3k}} \\ \sqrt{n_{1k}n_{2k}} & n_{2k} & \sqrt{n_{2k}n_{3k}} \\ \sqrt{n_{1k}n_{3k}} & \sqrt{n_{2k}n_{3k}} & n_{3k} \end{bmatrix} \tag{5}$$

Dependiendo de cómo los estudiantes utilizan diferentes modelos, la matriz densidad de clase puede mostrar diferentes patrones. En este sentido, existen

Figura 1.3. Posibles casos relativos al uso de los modelos mentales  $M_1$ ,  $M_2$  y  $M_3$ 

$$\begin{array}{ccc} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 0,5 & 0 & 0 \\ 0 & 0,3 & 0 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 0,5 & 0,2 & 0,1 \\ 0,2 & 0,3 & 0,1 \end{pmatrix} \\ \text{Caso A} & \text{Caso B} & \text{Caso C} \end{array}$$

Fuente: tomado de Bao y Redish (2006, p. 9).

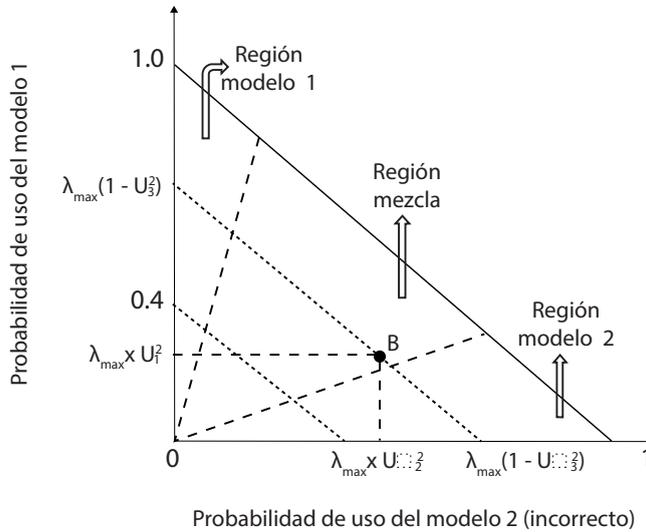
tres casos para la matriz D (véase la figura 1.3): el primero se establece cuando toda la clase utiliza consistentemente el mismo conjunto de modelos. Este caso es muy poco probable. En el segundo caso, la clase se divide en tres subgrupos donde cada uno utiliza coherentemente un conjunto de modelos mentales. El tercer caso es el más común; en este la clase utiliza varios modelos y son inconsistentes en su uso.

Para discriminar y explicar esta compleja información, los autores proponen calcular los valores y vectores propios de la matriz D, a través de rigurosos y extensos argumentos matemáticos. Bao (1999) demuestra que las magnitudes relativas de los valores propios miden la homogeneidad al interior de la clase (véase el apéndice de Bao y Redish, 2006). Cuando un valor propio  $\lambda_1$  es suficientemente alto, el grupo es lo suficientemente homogéneo (recuérdese que en la matriz densidad, al ser una matriz de traza y determinante 1, sus valores propios suman 1) como para considerar que comparten cierto estado de conocimiento que a menudo son una mezcla de los estados puros representados en los casos A, B y C.

Los estados de conocimiento también pueden ser representados por un punto B en un espacio probabilístico 2D (véase la figura 1.4), cuyas coordenadas corresponden a los elementos de la diagonal de la matriz densidad de la clase. Sin embargo, esta representación ignora completamente la incoherencia de uso de los diferentes modelos mentales representado por los elementos no diagonales de la matriz D.

El vector propio con el mayor valor contiene las características dominantes de los vectores de cada estudiante (en adelante nos referiremos a este vector como vector propio principal). Entre tanto, los vectores propios adicionales

Figura 1.4. Representación gráfica del Model Analysis



Fuente: adaptado de Bao y Redish (2006).

actúan como “correcciones” de las características menos dominantes, que no están representadas por el estado primario. En consecuencia, el vector propio principal permite evaluar adecuadamente la estructura del estado de conocimiento general de la clase.

Por otra parte, el Model Analysis requiere un marco referencial sobre la cognición que le permita procesar la información obtenida del FCI. Bao (1999) propone triangular tres campos de investigación: estudios fenomenológicos del comportamiento en contextos educativos, estudios de respuestas para diseñar estructuras cognitivas fundamentales e investigaciones sobre la estructura de funcionamiento cerebral.

Por ejemplo, para una matriz densidad cuyo valor propio máximo es  $= 0,8$  con vector propio correspondiente, resultaría  $= (0,40, -0,91, -0,09)$ . De acuerdo con los autores del Model Analysis, la probabilidad de la clase para utilizar modelos mentales newtonianos que permitan responder las preguntas equivalentes referidas a la relación fuerza-movimiento, se puede calcular como  $= 0,8 \times (0,40)^2 \approx 0,13$ . Del mismo modo, la probabilidad para que la clase utilice modelos ingenuos para responder al conjunto de preguntas equivalentes planteados se puede calcular como  $= 0,80 \times (-0,91)^2 \approx 0,66$ . En cuanto al conjunto

de modelos confusos ( $M_3$ ), la probabilidad es  $= 0,80 \times (0,09)^2 \gg 0,006$ , lo cual es insignificante. Nótese que la suma de las tres probabilidades anteriores es menor que 1, lo que implica que estas no forman un conjunto completo. De hecho, las probabilidades procedentes del segundo y tercer vector propio no se han tenido en cuenta, dado el alto valor que presenta el primer vector propio (vector principal). En consecuencia, el vector propio indica la existencia de un modelo mental con una alta tendencia de activación por parte de la clase, al contestar un conjunto de preguntas equivalentes que indagan por un concepto específico. Bao y Redish (2006) consideran que estos vectores propios adicionales son “la corrección de las características menos populares que no exhiben el estado primario” (p. 9). Debido a la omisión de estas “correcciones”, las probabilidades del modelo de estimación son inferiores a lo que se calcula a partir de una división directa del número de estudiantes que eligen un conjunto de modelos determinados por el número total de casos. Esto es cierto en general, a excepción de algunos casos extremos en los que, por ejemplo, todos los estudiantes utilizan consistentemente siempre el mismo modelo. Debido a que el modelo de estimación tiene en cuenta el tipo de inconsistencias, la matriz de densidad de clase completa muestra generalmente los elementos fuera de la diagonal distintos de cero.

### **Modelo de cognición**

Lei Bao y Edward Redish (2006), conscientes de la multiplicidad de modelos sobre la cognición desarrollados en cada uno de los anteriores campos de investigación, se apoyaron en aspectos avalados por las tres áreas. Este modelo de cognición presenta tres elementos claves: la naturaleza del almacenamiento y el acceso a los elementos del conocimiento en la memoria; cómo esto se relaciona con la dependencia del contexto, y cómo se pueden representar y evaluar estas características del aprendizaje (Bao y Redish, 2006). En líneas anteriores se abordaron los dos últimos elementos. A continuación, desarrollaremos el primero.

#### ***Memoria operativa y a largo plazo***

Un aspecto primordial y crítico para la enseñanza y el aprendizaje duradero es la memoria, específicamente la permanente o a largo plazo. La memoria es un

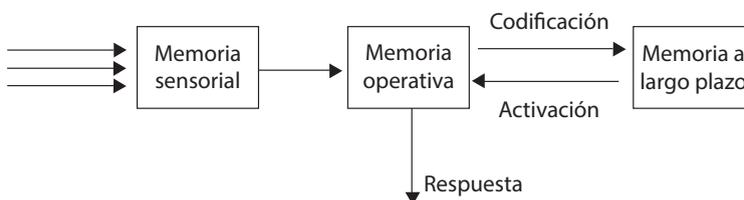
elemento complejo, compuesto por diversos sistemas interdependientes (sensorial, operativa y a largo plazo).

Dichos sistemas presentan diferentes capacidades de almacenamiento y funciones en el sistema cognitivo humano (Baddeley, 1997). De ahí que esta investigación se interese no solo por aquello que saben los estudiantes, sino también por el acceso a ese conocimiento y el tipo de contextos que los activan. Aquí se usa la expresión “elemento de conocimiento” para referirnos a una unidad de conocimiento que no contiene partes de componentes evidentes, es decir, que no es reducible. Esto podría ser una creencia o un simple procedimiento.

Algunos principios como los presentados por Baddeley describen brevemente características de la memoria, las cuales pueden contribuir a una mejor comprensión de las respuestas de los estudiantes. El esquema de la memoria representado en la figura 1.5 es análogo a un computador, formado por tres memorias: una sensorial a corto plazo que responde a los estímulos del medio a través de los sentidos, los cuales permiten la captura de información. Allí encontramos, por ejemplo, la memoria visual (icónica), sonora y la del tacto, en otras palabras, cada sentido tiene su propia memoria. Cuando la información es atendida por el sujeto, es codificada para pasar a la memoria operativa o de trabajo, en la que se encuentran los contenidos con los cuales pensamos.

Esta memoria no almacena mucha información; cuando esto pasa se sobrecarga y los procesos se ralentizan. Finalmente, por procesos de sinapsis, la información es recodificada registrándose en la memoria a largo plazo. La información acumulada en esta última memoria se encuentra en estado latente; cuando es solicitada por el sistema cognitivo pasa a la memoria operativa y allí se van a generar respuestas a la demanda cognitiva.

Figura 1.5. Esquema del modelo de los tres almacenes de memoria



Fuente: adaptado de la teoría de Baddeley (1997).

La memoria a largo plazo es asociativa y productiva. La activación de un elemento de conocimiento suele conducir, con cierta probabilidad, a la activación de otros elementos asociados. La activación y asociación de elementos de conocimiento son dependientes del contexto. Lo que se activa y las activaciones posteriores dependen del contexto, tanto externo como interno (Bao y Redish, 2006).

## Metodología

Teniendo en cuenta la naturaleza de los datos, esta investigación adopta un paradigma dialéctico con enfoque mixto (Shannon-Baker, 2015). Los datos obtenidos en este estudio provienen desde ambos enfoques (cualitativo y cuantitativo), a saber: tareas individuales y grupales, evaluaciones escritas, comprensión de lectura y entrevistas. Autores como Forni y Grande (2020) sugieren triangular por fuente y metodología, a través de análisis cualitativos y cuantitativos dada su articulación productiva viable.

Por lo anterior, este estudio emplea una metodología de investigación de perspectiva mixta enmarcada en el paradigma dialéctico por estudio de caso. Es un método de gran relevancia para establecer y comprender en profundidad el impacto de la intervención mediada por el texto expositivo refutacional extendido (TERE). Para ello, se realiza un proceso de indagación que combina el análisis de contenido, la teoría fundamentada (Estrada *et al.*, 2020) y el Model Analysis (Bao, 1999).

Los datos generados en el curso de Física se analizan con dos intenciones. La primera fue monitorear el estado de los aprendizajes desarrollados en el curso de Lenguaje. La segunda fue intentar reconocer la influencia del formato de refutación en los argumentos de los estudiantes. Para ello, se replica el análisis realizado a las producciones escritas desarrolladas en el curso de Lenguaje (excluyendo la categoría que hace alusión a la referencia del autor, pues es irrelevante) y se incorpora el rastreo de los componentes del texto refutacional (exposición de la idea por refutar, marca de refutación y presentación de la idea alternativa).

Es importante anotar que este método restringe las generalizaciones, pues estas deben ser remitidas exclusivamente al caso investigado en el contexto

local e inmediato. El nivel de aproximación a los entornos del mundo real relativamente representativos que se pretenden describir conlleva gradualmente a la superación de las barreras contextuales.

### **Participantes**

En esta investigación participaron 37 estudiantes (35 en el curso de Lenguaje, 30 de ellos en el curso de Física con 2 estudiantes nuevos) de tercer a octavo semestre de las carreras de Ingeniería, Física y Licenciatura en Matemáticas y Física de la Universidad del Valle (Cali, Colombia). Estos alumnos pertenecen a estratos socioeconómicos 2, 3, 4 y 5. La mayoría reside en zonas rurales de la ciudad de Cali; un bajo porcentaje en zonas rurales aledañas. El 78 % de los estudiantes provienen de colegios públicos cuya promoción de lectura era deficiente, tal como lo muestran los resultados de la encuesta.

### **Intervención**

El propósito fundamental del curso de Lenguaje fue contribuir al desarrollo de las diferentes competencias lingüísticas que potencian la comprensión lectora basada en el texto *La transformación en la explicación y la comprensión del movimiento: desde la concepción aristotélica hacia la newtoniana*, diseñado por el investigador Carlos Uribe (2010). Lo anterior implicó el abordaje de la lengua en su doble dimensión: como objeto y como medio para acceder a mayores niveles de dominio conceptual. Se trata, en última instancia, de contribuir al mejoramiento del uso de la lengua escrita en las futuras prácticas académicas y profesionales de los estudiantes, particularmente la que respecta a la lectura del TERE en el contexto del curso de Física. Alcanzar ese propósito requiere, por una parte, abordar la lengua a través de los procesos de lectura relacionados con el aprendizaje de la física, dando respuesta a las siguientes preguntas: ¿cómo comprender textos que traten conceptos de esta disciplina? ¿Qué los caracteriza? ¿Qué diferencias tienen con los demás textos académicos?

El curso se enfocó en la elaboración de una reseña del TERE para enfatizar en el nivel de conciencia y control que ejercen sobre sus propios procesos de aprendizaje. Para ello, primero, se planteó una encuesta con preguntas abiertas

para identificar hábitos y estrategias de lectura. Los resultados de esta se dieron a conocer a cada uno de los estudiantes con la intención de generar expectativas de aprendizaje que favorecieran el mejoramiento de la lectura y el cambio conceptual de la falsa creencia.

Entre tanto, el propósito principal del curso de Física fue contribuir a la transformación de los modelos mentales referidos a la relación fuerza-movimiento mediante la lectura de un texto expositivo reputacional extendido, para así cumplir con los objetivos planteados en el currículo del programa al cual pertenecen los estudiantes. Estos deben abordar cuatro campos conceptuales de la física fundamental: cinemática, dinámica, trabajo y energía. Puesto que el modelo mental objeto de estudio de esta investigación (relación fuerza-movimiento) hace parte de una compleja red conceptual, su adecuado abordaje requiere de la intervención de los demás conceptos que lo integran. En consecuencia, este estudio se desarrolla en los campos conceptuales de la cinemática y la dinámica. Vale la pena destacar que la cinemática es el estudio del movimiento sin tener en cuenta qué lo produce; por su parte, la dinámica estudia el movimiento teniendo en cuenta las fuerzas que lo producen. Como se puede evidenciar, el estudio del movimiento es transversal para estos dos campos conceptuales, y la fuerza le da sentido al campo conceptual de la dinámica. De ahí que la intervención se contextualice en esos dos campos conceptuales a fin de abordar los conceptos de marcos de referencia, posición, velocidad, aceleración, masa, peso, gravedad y las leyes de Newton, en los diferentes sistemas de representación gráfica y analítica.

### **Instrumentos**

El estudio utilizó distintas herramientas de investigación en los diferentes momentos de la intervención. Previo al curso de Lenguaje se realizó una encuesta demográfica. Luego, se utilizó la taxonomía SOLO y la rejilla de evaluación de textos escritos diseñada por Arciniegas y López (2012) para categorizar los niveles de escritura de los estudiantes en los dos cursos. Al finalizar el curso de Lenguaje se implementó una entrevista estructurada para contrastar los resultados obtenidos. Esta entrevista se realizó a una tercera parte del grupo (8 estudiantes) seleccionados al azar. La pregunta en cuestión corresponde al ítem 1

del segundo parcial en el que se evaluaron aspectos de dinámica. Este ítem se enmarca en un contexto ideal (sin aire), para lo cual se solicita analizarlo en tres distintos momentos: ¿qué fuerzas actúan sobre una pelota de béisbol luego de ser bateada (desprecie la resistencia del aire; ¿debe describir la dirección, el sentido y la naturaleza de cada fuerza presente?); (1) antes de alcanzar el punto más elevado de su trayectoria; (2) justo cuando alcanza el punto más elevado de su trayectoria, y (3) después de haber alcanzado el punto más elevado de su trayectoria.

El FCI fue implementado como pretest (n = 34 estudiantes) y posttest (n = 32 estudiantes) del curso de Física. La población de estudiantes que contestaron esta prueba no es constante en los dos momentos, dado que en esta investigación intervinieron estudiantes en cursos reales de formación, lo cual implica que algunos estudiantes, después de matricular el curso de Física, lo cancelaron. Este hecho contribuye a una mayor validez ecológica, pues esta es la realidad de las universidades colombianas (muchos estudiantes no siguen el p<sup>é</sup>nsu<sup>m</sup> de los programas académicos, además se presenta deserción académica por diversos motivos). El proceso de codificación deductiva que asiste la teoría fundamentada se desarrolló en ambos cursos mediante el programa ATLAS.ti, para categorizar los textos escritos de los estudiantes fundamentados en el texto expositivo reputacional extendido.

## Resultados y análisis

Los resultados al finalizar el curso de Lenguaje, aunque en proceso de consolidación, fueron variados. Los estudiantes explicitaron estrategias de tipo *cognitivo* y *metacognitivo*. Las primeras se relacionan directamente con el conocimiento y permiten el *logro cognitivo*; por lo tanto, son todos aquellos procedimientos que adelanta el lector durante el procesamiento de un texto para adquirir, elaborar, organizar y utilizar información. En las respuestas se identificaron estrategias de este tipo:

Ahora estoy en la capacidad de identificar lo que el autor quiere decir, la idea principal. (E2)

Logré obtener un nuevo léxico y así puedo al realizar la lectura, entender. (E1)

Tengo en cuenta la bibliografía. (E1)

Efectivamente, el anterior estudiante presentó avances importantes en los procesos de comprensión lectora, pues logró identificar la macroestructura textual y empezó a reconocer la microestructura de los textos que lee.

En lo relativo al segundo tipo de estrategias, las *metacognitivas*, estas son las que garantizan que el proceso de lectura sea eficaz. Cuando el lector no solo sabe qué lee, sino que controla cómo lo hace, planea, supervisa y evalúa constantemente su lectura antes, durante y después. Este aspecto fue destacado por los estudiantes en sus respuestas y consideramos que es una ganancia en su proceso de aprendizaje. Algunos segmentos que evidencian esto se muestran a continuación:

Planeación:

Si, ahora antes de empezar a leer el texto completo leo los títulos, subtítulos y las primeras oraciones de cada párrafo para así saber de qué voy a leer. (E1)

Supervisión:

Realizo una mejor lectura de los textos (pasos para leer). (E2)

Sí, antes leía aceleradamente y no entendía la lectura, ahora leo cuidadosamente. Ya me tomo el tiempo necesario para no solo leer sino comprender. (E3)

Algunos estudiantes resaltaron cómo el curso fortaleció sus *procesos de construcción del conocimiento* en su disciplina, lo cual evidencia que el haber leído y reflexionado sobre textos propios de la Física les permitió mayor claridad en algunos conceptos y teorías de su carrera. Por ejemplo, dos estudiantes afirmaron que:

El curso de lenguaje fue importante, especialmente porque el secreto de la física es saber tanto leer como escribir los conceptos situaciones y modelaciones aún más que la algoritmia matemática. (E4)

El curso de lenguaje me dio la perspectiva cualitativa de la física, me dio a conocer el sentido y el por qué de los conceptos ya formalizados. (E5)

Lo anterior muestra un impacto positivo en la formación de los estudiantes en el curso de Lenguaje. No solo en aspectos formales de la lengua, sino también en conceptos propios de su carrera. Entre tanto, los resultados obtenidos en el

curso de física evidencian una característica generalizada en las respuestas de los estudiantes relacionada con los párrafos introductorios, pues no retoman la pregunta, lo que hace que los textos no sean autocontenidos. De igual manera, se presentó un alto número de respuestas que responden a los cuestionamientos en un solo párrafo, inclusive para contestar aquellas preguntas que integran dos o más interrogantes, sin establecer la relación que estas ameritan; así, por ejemplo, en la primera pregunta el concepto de aceleración, aunque puede derivarse de la primera ley de Newton y aparece explícitamente en la segunda ley, hace que este concepto permita relacionar ambas leyes. Este hecho puede ser evidenciado en la respuesta del estudiante E6 a la pregunta 1: “Es cierta porque dice que tiene que haber una fuerza neta actuando para que cambie, si hay una fuerza se acelera, para que se acelera debe actuar una fuerza neta sobre él, diferente de cero para que ocurra esta aceleración”.

El argumento presentado en la primera línea alude al concepto de fuerza neta, pero no se condiciona en términos del equilibrio de fuerzas, hecho que debilita dicho argumento. Al parecer no es un simple olvido, pues al inicio de la segunda línea se afirma que “si hay una fuerza se acelera”. Esta frase carece de una marca que enfatice en la existencia de una *única* fuerza, además la sintaxis de esta frase puede dar lugar a ambiguas interpretaciones; por ejemplo, asumir que la fuerza es el ente que se acelera. La siguiente frase, que debería tener la función de complemento, en realidad redundante en el mismo argumento, lo que condiciona la sumatoria de fuerzas diferente de cero; sin embargo, la redacción aún presenta errores.

Un caso extremo se presenta con la respuesta de E7 para abordar la pregunta 1, cuyo texto, además de ser muy limitado, no logra responder la pregunta en toda su extensión. De hecho, se constituye en una afirmación, más que en una respuesta: “La segunda ley si es una condición necesaria” (E7).

La respuesta más extensa para pregunta 1 la redactó E8:

No es cierta, ya que la primera ley del movimiento establece la condición necesaria para que no exista aceleración, debido a la inercia que es la resistencia que tiene un cuerpo a cambiar su estado de movimiento, bien sea en reposo o con velocidad constante, en estos casos no existe la aceleración. (E8)

Como se puede observar en el anterior texto, no existen líneas introductorias que contextualicen la respuesta. A pesar de que la respuesta no es correcta, la extensión de este texto es apropiada. La interpretación de la primera ley es muy rígida, pues no le permite deducir el papel de la aceleración en diferentes perspectivas. Ahora bien, el consecuente “[...] debido a la que es la resistencia que tiene un cuerpo a cambiar su estado de movimiento” es ambiguo, puesto que podría hablar de la aceleración o de la primera ley.

Los resultados muestran en general que existen avances importantes en la extensión y estructuración de los textos escritos por parte de los estudiantes, ya que la cantidad de párrafos es acorde con la intención del acto de habla en la mayoría de los escritos. De igual manera, los niveles de argumentación incrementaron al pasar de una fuerte tendencia de argumentos uniestructurales a niveles de estructuración relacional. No obstante, el 46% del grupo aún presenta problemas de redacción.

En cuanto a las actividades de lectura, el grupo coincidió en que haber leído el texto de física propuesto y escribir una reseña sobre este ayudó a comprenderlo mejor. Resaltaron además que la lectura de las reseñas sobre temáticas similares, antes de pasar a la escritura de la propia, les sirvió para modelarla. En las actividades de escritura señalaron la realización del resumen, pues les permitió ser selectivos con la información que retomaron del texto y pensar en la construcción de los diferentes párrafos. Además, la reescritura de las reseñas les permitió una mejor elaboración de esta (este punto se une con el primer descriptor en el que se rescata el acompañamiento de la docente). Aluden nuevamente a que mejoraron su empleo del lenguaje, en cuanto al uso de sinónimos y conectores para evitar repetir palabras; al respecto, una estudiante indicó: “Esta fue la actividad que más me sirvió [la elaboración de la reseña] porque pude mejorar: redacción, uso del lenguaje y citación bibliográfica”.

Una idea generalizada en el grupo es que para leer bien es necesario escribir bien. Para los estudiantes, la retroalimentación fue clave en la construcción del conocimiento, pues en sus respuestas indicaron que tanto los comentarios del docente como los de sus compañeros les ayudaron a concientizarse de sus dificultades y a superarlas. En el terreno de la educación a este tipo de reflexiones se les llama actividades metaverbales, cuyo propósito se enfoca en la adquisición de conocimientos formales respecto al funcionamiento de la lengua

(elementos discursivos y lingüísticos). Además, se caracteriza por un distanciamiento y una objetivación del lenguaje que se está usando para mirarlo críticamente. Las estrategias metaverbales pueden considerarse como estrategias metacognitivas porque exigen reflexión consciente, control y regulación del proceso de aprendizaje.

Ahora bien, dado que los resultados del pretest y postest para el curso de lenguaje son muy similares, solo se analizarán los resultados correspondientes al curso de Física. La matriz densidad de clase se muestra en la figura 1.6 con su valor mayor y sus vectores correspondientes.

La suma de las probabilidades no es igual a 1 porque la matriz densidad se ha aproximado por el término de la expansión espectral dominante:

$$D = \sum_{\mu=1}^3 \sigma_{\mu}^2 V_{\mu} \otimes V_{\mu}^T \approx \sigma_1^2 V_1 \times V_1^T \tag{6}$$

Como se discutió en la sección del marco teórico referido al Model Analysis, este se configura en una forma útil para identificar el cambio en la activación y el uso entre dos modelos mentales, es decir, la elaboración de la representación. En general, el valor propio más grande puede proporcionar una medida de la consistencia de la población.

Como se puede observar en la figura 1.6, los valores propios para los modelos de estados de clase correspondientes a los modelos nulos en el pretest y postest

Figura 1.6. **Resultados del modelo de estimación generados mediante el pretest y el postest en el curso de Física**

Matriz densidad de clase	$\begin{pmatrix} 0,268 & 0,261 & 0,064 \\ 0,261 & 0,665 & 0,117 \\ 0,074 & 0,117 & 0,066 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0,289 & 0,260 & 0,034 \\ 0,260 & 0,677 & 0,081 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0,605 & 0,273 & 0,033 \\ 0,273 & 0,375 & 0,029 \end{pmatrix}$
Valor propio dominante	<b>0,818</b>	<b>0,817</b>	<b>0,789</b>
Vector propio principal	$\begin{pmatrix} 0,444 \\ 0,889 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0,444 \\ 0,889 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0,830 \\ 0,550 \end{pmatrix}$
Probabilidad de activación de los modelos mentales	$P_1 = 0,15$ $P_2 = 0,63$	$P_1 = 0,16$ $P_2 = 0,65$	$P_1 = 0,54$ $P_2 = 0,24$

Fuente: elaboración propia con base en un TERE.

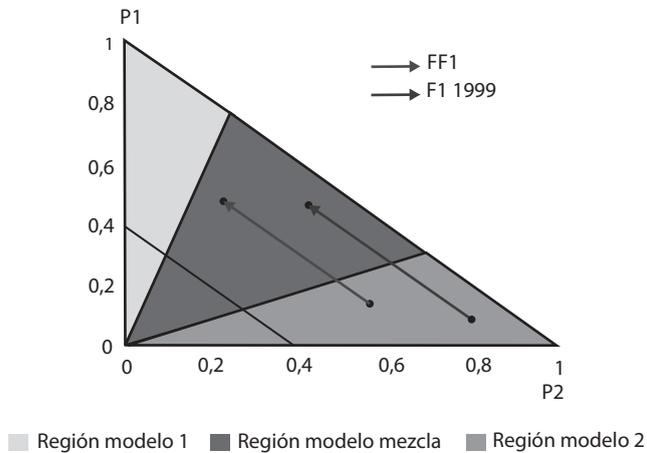
son muy pequeños, lo que indica que la mayoría de los estudiantes activan y utilizan este tipo de modelo mental en una baja proporción. En ese sentido, el espacio de modelo definido por Bao y Redish logra representar muy bien esta población.

Entre tanto, el modelo de estado de clase principal (representados con el mayor valor propio) para el pretest con un valor de 0,817, al ser este relativamente grande (cercano a 1), establece que el grupo presenta una alta homogeneidad. Por tanto, el modelo de estado de clase principal por sí solo puede dar una descripción bastante buena de la clase; en este caso, un alto porcentaje de los estudiantes activan y utilizan el modelo mental ingenuo para responder preguntas que involucran la relación fuerza-movimiento, es decir, que antes de la instrucción la clase consideraba en general que todo cuerpo que se mueve posee una fuerza en la misma dirección del movimiento.

Además, este hecho permite establecer que la influencia de la lectura de los capítulos uno y dos del TERE en el curso de Lenguaje logró fomentar el desarrollo de competencias y habilidades lingüísticas en los estudiantes, así como iniciar el proceso de reconceptualización del modelo mental en cuestión. Sin embargo, el modelo de estado de clase, después de la intervención desarrollada en el curso de Física, muestra que la probabilidad de activación y uso de los modelos mentales nulos se conservó en un valor muy bajo (véase la figura 1.6); no obstante, la activación de los modelos mentales newtonianos pasó de 0,444 a 0,830, y los ingenuos de 0,889 a 0,550. El Model Analysis representa este avance mediante un punto que inicialmente (pretest) se ubicó en la región de los modelos mentales ingenuos, y luego este se estableció en la región de estados mezcla, muy cerca de la región de los modelos newtonianos  $M_1$  (véase la figura 1.7).

En consecuencia, al finalizar el curso de Física se encontró que el grupo de estudiantes, al responder preguntas que involucran la relación fuerza-movimiento en general, activan y utilizan los modelos newtonianos aproximadamente en un 54%; mientras que los modelos mentales ingenuos son usados aproximadamente en un 24%. Dado que el modelo de estado de clase final se ubicó en la región de estados mezcla, el Model Analysis atribuye este hecho a los distintos procesos de aprendizaje de los estudiantes que conforman el grupo, los cuales se materializan en la reconceptualización del modelo mental objeto de estudio de esta investigación.

Figura 1.7. Representación gráfica de los cambios cognitivos generados en el curso de Física



Fuente: elaboración propia.

Este resultado proporciona una evidencia que valida el tratamiento de la dependencia del contexto con la representación de los modelos de estado mezcla de una población. También demuestra que el conjunto de las ocho preguntas equivalentes del FCI, que cuestionan la relación fuerza-movimiento, están bien diseñadas y son apropiadas para la evaluación del conocimiento conceptual de los estudiantes, en lo relativo a la dependencia del contexto.

## Discusión

Este estudio proporciona evidencias de interés para la investigación y enseñanza de la física en distintas direcciones. Una de ellas está relacionada con la dependencia del contexto para la activación y el uso de los modelos mentales disponibles para responder a situaciones derivadas de la relación fuerza-movimiento. Este hecho valida uno de los presupuestos teóricos del Model Analysis, en el que se considera que el estado de conocimiento de las personas no debe ser representado con un valor fijo (determinista), puesto que esta valoración es una imagen minúscula de la realidad cognitiva del sujeto.

No obstante, los estados de conocimiento oscilan en un rango de posibilidades relativamente estable, repercutidos por una instrucción efectiva. Por tanto,

la investigación y la enseñanza deben incorporar en sus agendas el efecto de los distintos contextos en el desempeño y la toma de decisiones de los estudiantes, para así analizar el tipo de estrategias que podrían apoyar la enseñanza y el aprendizaje de los conceptos subsidiarios de la relación fuerza-movimiento físicos.

Como se ha dicho, el proceso de aprendizaje relacionado con la reconceptualización de creencias ingenuas robustas implica grandes cambios, entre ellos, abandonar en contextos específicos la activación de un modelo mental por otro. Este proceso conlleva a una búsqueda de un modelo mental que logre dar respuesta a la demanda cognitiva; si el modelo buscado no se encuentra en el conjunto disponible para este tipo de situaciones, el sistema cognitivo combinará modelos y, en algunos casos, podría incorporar elementos de modelos mentales nuevos generados a partir de aprendizajes fomentados por la instrucción, la lectura o la discusión.

Lo anterior confirma el fenómeno que Linder (1993) denomina “dispersión conceptual”, el cual se refiere a la coexistencia de distintos modelos mentales en el sistema cognitivo de los sujetos, en el que, en muchos casos, uno de ellos es dominante. Según Maloney y Siegler (1993), al interior del sistema de creencias elaboradas para abordar cierto tipo de situaciones se generan tensiones entre aquellas que se contraponen, no solo después de la instrucción, momento en que los estudiantes pueden mantener al mismo tiempo una visión científica e intuitiva de un mismo fenómeno (de hecho, un número alto de estudiantes no se percatan de la similitud de las preguntas equivalentes cuando se enfrenta al FCI), sino también antes de la instrucción. Allí los sujetos pueden albergar diversas creencias alternativas contradictorias sobre un mismo concepto y que compiten entre sí; de ahí el término *competición conceptual* (Maloney y Siegler, 1993).

Este tipo de investigaciones desarrolladas en los contextos de la cinemática y la dinámica requieren de instrumentos de evaluación especializados acordes con los presupuestos teóricos y metodológicos. Es por ello que el FCI y el Model Analysis se complementan convenientemente, pues se consolidan como herramientas claves para el establecimiento del estado de conocimiento de los estudiantes y la medición de la efectividad de la instrucción. Sin duda, el aprendizaje a través de la lectura de un TERE para transformar un modelo mental demanda

competencias y habilidades lingüísticas altamente desarrolladas; de lo contrario, la estrategia se puede convertir en parte del problema. En este orden de ideas, futuras investigaciones pueden abordar este interrogante: ¿qué impacto puede tener en el cambio conceptual, la lectura de un TERE en un lector que no ha desarrollado las competencias lingüísticas necesarias?

Los resultados evidencian que las competencias y habilidades lectoras y escritoras que el grupo en general desarrolló en el curso de lenguaje fueron puestas en acción en el curso de física. En este sentido, es necesario que futuras pesquisas confirmen el efecto de los textos expositivos refutacionales extendidos en cursos de física que incorporen la formación lectora y escritora de los contenidos de esta disciplina, en contextos reales de clase. Esto requiere que los docentes e investigadores que direccionan el curso sean sensibles a los elementos lingüísticos que configuran un lector y escritor competente, es decir, que más allá de ser un buen lector y escritor, debe ser consciente de los procesos que contribuyen a la formación de lectores y escritores competentes.

Además, es muy común que los contenidos de física sean secuenciados con base en la experiencia de expertos disciplinares, cuyas propuestas curriculares responden a la lógica de la disciplina y que jerarquizan los contenidos por el nivel de importancia dentro de la estructura, es decir, que un concepto abordado en primera instancia facilita el entendimiento del segundo. No obstante, autores como Corcoran *et al.* (2009) proponen estructurar la enseñanza teniendo en cuenta los resultados de las investigaciones educativas sobre cómo aprenden los estudiantes, así como consideran la existencia de conceptos que son más fáciles de aprender que otros.

Un esfuerzo por integrar el análisis de contenido disciplinar con los resultados de la investigación educativa en el contexto de la planeación curricular se materializa en las llamadas progresiones de aprendizaje (Duncan y Rivet, 2013; Duschl *et al.*, 2011). En este sentido, futuras investigaciones podrían analizar la progresión de aprendizaje que subyace al FCI, lo cual potencia la jerarquización de las diferentes opciones de respuesta de esta prueba. De esta manera, las interpretaciones dicotómicas que a menudo se realizan para analizar los resultados del FCI obtendrían más información didáctica pertinente, para así aproximarse un poco más al estado real de conocimiento de los estudiantes.

Por último, la literatura constructivista de los años ochenta y noventa está saturada de amplias intervenciones prácticas destinadas al cambio conceptual,

con resultados desalentadores (Bello, 2004). Tal vez la prolongación injustificada del rechazo de la “enseñanza por la narración” a todo tipo de comunicación verbal, incluido el material impreso, cegó a muchos investigadores ante la posibilidad de que el procesamiento profundo del texto diseñado cuidadosamente podría tener un papel clave en el cambio conceptual. Pero para poder hacer tal aseveración, sería necesario acumular estudios similares de este tipo en variados escenarios educativos auténticos, tanto en el contexto de la relación de fuerza y movimiento como en otros contextos que involucren creencias ingenuas robustas.

## Conclusiones

El propósito principal de esta investigación es establecer el efecto cognitivo que produce la lectura de un TERE en el cambio conceptual de la creencia robusta de ímpetu en un grupo de estudiantes universitarios. La intervención durante dos semestres académicos, en los que se integraron un curso de Lenguaje y otro de Física, buscó potenciar la reconceptualización del modelo mental ingenuo producto de la teoría del ímpetu en ambientes naturales de clase. Los hallazgos permiten concluir que el efecto cognitivo, con la mediación de un TERE, es alentador, dado que se encontraron evidencias de cambios significativos en la estructura cognitiva de los estudiantes respecto a este modelo mental. En efecto, la tendencia de activación y uso del  $M_2$  derivado de la teoría del ímpetu inicialmente era muy alta (65%), en comparación con la activación y el uso de modelos mentales newtonianos (16%). Entre tanto, el estado final de conocimiento posterior a la instrucción reveló que la probabilidad de uso de los modelos ingenuos se invirtió relativamente con la activación y el uso de modelos mentales newtonianos.

Por otra parte, el Model Analysis permitió hacer uso de la información didáctica especializada que ofrecen los resultados del FCI y establecer eficazmente el estado de conocimiento de la clase, antes, durante y después de la instrucción. De ahí que autores como Ding y Beichner (2009); Nehm y Schonfeld (2010); Smith *et al.* (2014); Tongchai *et al.* (2011), entre otros, consideren que el Model Analysis se consolida como un avance metodológico importante para la comunidad de investigadores de educación en física, en lo relativo a la identificación de conocimientos con mayor precisión (DiSessa *et al.*, 2004).

Ahora bien, a pesar de que el curso de Lenguaje potenció el desarrollo de algunas competencias y habilidades lingüísticas que contribuyeron a una mejor comprensión del TERE, los resultados del Model Analysis muestran que, después de la intervención de este curso, buena parte de los estudiantes persistieron con una alta tendencia de activación y uso del modelo mental ingenuo derivado de la teoría del ímpetu, pues se pasó de una probabilidad de 63 a 65%. Por lo tanto, la lectura del TERE, así como la formación en lectura y escritura, no fueron suficientes para promover la reconceptualización de dicho modelo mental. La representación gráfica del estado de conocimiento final del grupo, al término de la intervención del curso de Lenguaje, se ubicó en la región del modelo 2 del gráfico de probabilidades (véase la figura 1.7). Este hecho confirma que el grupo que leyó, resumió y reseñó el TERE no abandonó la creencia ingenua que considera que todo cuerpo que se mueve posee una fuerza en la misma dirección del movimiento. Sin embargo, inició el proceso de cambio conceptual.

El estado de conocimiento posterior al curso de Lenguaje y previo a la instrucción en Física mostró una alta probabilidad de los estudiantes por activar y utilizar modelos mentales ingenuos, en contextos que involucran la relación fuerza-movimiento (0,65), muy por encima de la activación y el uso de modelos mentales newtonianos (0,16). De igual manera, se comprobó que la mayoría de los estudiantes de la clase utilizaban modelos ingenuos con mucha seguridad, pues la probabilidad de uso de modelos confusos o nulos ( $M_3$ ) fue muy baja (0,01); valor despreciable en comparación con las dos probabilidades anteriormente expuestas.

Los cambios en los estados de conocimiento de los estudiantes que participaron en esta investigación son consistentes con la presunción, la cual considera que los aprendices suelen comenzar con una alta probabilidad de activación y uso consistente de un modelo mental ingenuo y que posteriormente pasan por una etapa de modelos mixtos hacia la construcción de modelos mentales próximos a los aceptados por las comunidades científicas (Bao y Redish, 2002). Además, sustenta la tesis con la que se asume que el sistema cognitivo no desecha los modelos mentales ingenuos, pues estos siguen siendo efectivos en contextos reales (mundos aristotélicos), dado que economizan recursos cognitivos. Por lo tanto, los estudiantes se enfrentan a situaciones que fomentan la co-activación de modelos ingenuos y trazas de modelos mentales cercanos a los

newtonianos. El proceso implica mayor tiempo para la construcción de una respuesta, tal como se evidenció en las entrevistas realizadas a algunos de los estudiantes.

Las diferencias entre los estudiantes respecto a la capacidad intelectual general, así como las competencias lingüísticas e intelectuales desarrolladas en los cursos de Lenguaje y Física en la escuela secundaria (aspectos claves para la validación ecológica), explican en gran parte la variación observada en el aprendizaje. Actividades refutacionales propuestas en la intervención estudiada ofrecieron a los estudiantes alternativas plausibles que durante el curso de física se consolidaron hasta el punto de fomentar la co-activación de modelos mentales y generar conflicto cognitivo con creencias ingenuas antiguas, y en algunos casos, potenciar el cambio conceptual de dichas creencias.

Como se discutió en líneas anteriores, la lectura y escritura de reseñas y resúmenes del TERE, promovidas en el curso de Lenguaje, no lograron generar conflicto cognitivo (o por lo menos no al nivel necesario para reconceptualizar el modelo mental ingenuo estudiado). No obstante, aportó a una mejor comprensión del texto para así complementar el proceso desarrollado en el curso de Física. Este hecho podría ser un indicio del papel tan importante que tiene la interacción con el docente para consolidar el cambio conceptual.

Por todo lo anterior, se postula que los resultados de la presente investigación extienden los alcances de las investigaciones cuyo objeto de estudio ha sido la efectividad de los textos refutacionales. Para lograr esto fue necesario diseñar un texto de refutación más denso que los que tradicionalmente se han usado para transformar falsas creencias simples. Además, se requiere mayor tiempo de abordaje en el aula que las investigaciones precedentes, lo que hace poco fiable la investigación experimental para evaluar la eficacia del método de enseñanza. Por tal razón, no es posible atribuir el conflicto y cambio conceptual solo a la lectura del TERE, más bien a la intervención en toda su extensión. De hecho, podemos considerar que las estrategias de alfabetización realizadas con el TERE en el curso de Lenguaje fueron esenciales para fomentar el conflicto cognitivo de la mayoría de los estudiantes y potenciar el cambio conceptual en algunos de ellos, en la medida en que los condujo a una profunda transformación y toma de consciencia de sus formas de leer y escribir.

## Referencias

- Baddeley, A. D. (1997). *Human memory: Theory and practice*. Psychology Press.
- Bao, L. (1999). *Dynamics of student modeling: A theory, algorithms, and application to quantum mechanics* [tesis doctoral, University of Maryland, College Park, Estados Unidos].
- Bao, L. y Redish, E. F. (2002). Understanding probabilistic interpretations of physical systems: A prerequisite to learning quantum physics. *American Journal of Physics*, 70(3), 210-217.
- Bao, L. y Redish, E. F. (2006). Model analysis: Representing and assessing the dynamics of student learning. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 2(1), 010103.
- Bello, S. (2004). Ideas previas y cambio conceptual. *Educación química*, 15(3), 210-217.
- Budini, N., Marino, L., Giuliano, M., Carreri, R., Cámara, C. y Giorgi, S. (2019). Uso del inventario sobre el concepto de fuerza como herramienta para monitorear el cursado de Física I. *Revista de Enseñanza de la Física*, 31, 107-114.
- Chi, M. T. H. (2008). Three types of conceptual change: Belief revision, mental model transformation, and categorical shift. En S. Vosniadou (Ed.), *Handbook of research on conceptual change* (pp. 61-82). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Corcoran, T., Mosher, F. y Rogat, A. (2009). *Learning progressions in science. An evidence-based approach to reform* [Reporte]. Penn Libraries, Universidad de Pensilvania.
- Criado, A. y Cañal, P. (2003). Investigación sobre algunos indicadores del estatus cognitivo de las concepciones sobre el estado eléctrico. *Enseñanza de las Ciencias*, (Extra), 29-41.
- Ding, L. y Beichner, R. (2009). Approaches to data analysis of multiple-choice questions. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 5(2), 020103.
- DiSessa, A., Gillespie, N., M. y Esterly, J. B. (2004). Coherence versus fragmentation in the development of the concept of force. *Cognitive science*, 28(6), 843-900.
- Duncan, R. G. y Rivet, A. R. (2013). Science learning progressions. *Journal Science*, 339(6118), 396-397.
- Duschl, R., Maeng, S. y Sezen, A. (2011). Learning progressions and teaching sequences: A review and analysis. *Studies in Science Education*, 47(2), 123-182.
- Estrada, A. R., Mora, C. V. y Arzuaga, M. A. (2020). Aproximación al análisis de datos cualitativos en Teoría Fundamentada desde la perspectiva clásica. *Revista Latinoamericana de Metodología de la Investigación Social*, (20), 19-37.

- Forni, P. y Grande, P. D. (2020). Triangulación y métodos mixtos en las ciencias sociales contemporáneas. *Revista Mexicana de Sociología*, 82(1), 159-189.
- Gordon, C. y Rennie, B. (1987). Restructuring content schemata: An intervention study. *Reading Research and Instruction*, 26(3), 162-188.
- Guzzetti, B. J. (2000). Learning counter-intuitive science concepts: what have we learned from over a decade of research? *Reading & Writing Quarterly*, 16(2), 89-98.
- Guzzetti, B., Snyder, T. y Glass, G. (1992). Promoting conceptual change in science: Can texts be used effectively? *Journal of Reading*, 35(8), 642-649.
- Hynd, C. R. y Alvermann, D. E. (1986). Prior knowledge activation in refutation and non-refutation text. *National Reading Conference Yearbook*, 35, 55-60.
- Linder, C. (1993). A challenge to conceptual change. *Science Education*, 77(3), 293-300.
- Maloney, D. P. y Siegler, R. S. (1993). Change conceptual competition in physics learning. *International Journal of Science Education*, 15(3), 283-295.
- Maria, K. y Johnson, J. (1990). Correcting misconceptions: Effect of type of text. *National Reading Conference Yearbook*, 39, 329-337.
- Nehm, R. H. y Schonfeld, I. S. (2010). The future of natural selection knowledge measurement: A reply to Anderson et al. (2010). *Journal of Research in Science Teaching*, 47(3), 358-362.
- Pozo, J. I. y Gómez, M. A. G. (1998). *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Morata.
- Shannon-Baker, P. (2015). Making paradigms meaningful in mixed methods research. *Journal of Mixed Methods Research*, 10(4), 319-334.
- Smith, T. I., Wittmann, M. C. y Carter, T. (2014). Applying model analysis to a resource-based analysis of the Force and Motion Conceptual Evaluation. *Physical Review Special Topics. Physics Education Research*, 10(2), 020102-1-020102-17.
- Stewart, J., Griffin, H. y Stewart, G. (2007). Context sensitivity in the force concept inventory. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 3(1), 010102112.
- Tippett, C. D. (2010). Refutation text in science education: A review of two decades of research. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 8(6), 951-970.
- Tongchai, A., Sharma, M., Johnston, I., Arayathanitkul, K. y Soankwan, C. (2011). Consistency of students' conceptions of wave propagation: Findings from a conceptual survey in mechanical waves. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 7(2), 020101.

Uribe, G. C. (2010). *La transformación en la explicación y la comprensión del movimiento: desde la concepción aristotélica hacia la newtoniana*. Programa Editorial Universidad del Valle.

Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), 45-69.



## Capítulo 2. Modelización con funciones desde el enfoque de las situaciones didácticas de Brousseau\*

Andrés Fernando Mosquera Díaz

Wilberg Córdoba Rentería

La modelización con funciones desde el enfoque de las situaciones didácticas de Guy Brousseau es una propuesta de investigación orientada a mejorar la comprensión del concepto de función en los estudiantes de noveno grado de una institución educativa en Urabá (Antioquia, Colombia). Esta propuesta utiliza las situaciones de acción, formulación y validación propias de la teoría de las situaciones didácticas de Brousseau para clasificar a un grupo de cuatro estudiantes en cuanto a la comprensión del concepto de función, de acuerdo con unos descriptores por nivel definidos para dicha teoría. Se desarrolla una secuencia didáctica en la que se plantea una serie de actividades y en la que los estudiantes deben analizar modelos matemáticos con funciones a partir de situaciones cotidianas, con el fin de superar las dificultades que se presentan en la aprehensión y comprensión de los conceptos matemáticos, específicamente en funciones. Esta investigación es de tipo cualitativo, que emplea el estudio de caso y el cual permite interpretar la manera como aprenden los estudiantes dentro de un contexto específico. Los resultados dan cuenta de que la secuencia permitió a los estudiantes asumir un rol protagónico en la gestión de los saberes, identificar la situación, comprenderla, descifrarla, construir alternativas de solución, ayudarse con los pares, proponer soluciones, contrastar dichas soluciones y corregir las anomalías que se presentaron, para así llegar a la situación óptima.

\* Para citar este capítulo: <http://doi.org/10.51573/Andes.9789587985061.9789587985078.2>

## Introducción

Al analizar las prácticas docentes en el área de Matemáticas de nuestra institución, el plan de área y las mallas curriculares, nos dimos cuenta de que el concepto de función es abordado desde el noveno grado de una manera somera, ya que se tiene la creencia de que este solo debe ser desarrollado desde el décimo grado. Esto permitió constatar que los estudiantes, a lo largo del curso de Matemáticas, presentan dificultades en lo relacionado con el concepto y el sistema de habilidades correspondiente a las funciones de variables reales. Las mayores dificultades que presentaron los estudiantes fueron:

- Identificar las funciones como un caso especial de correspondencias.
- Reconocer las funciones en sus diferentes representaciones.
- Determinar las propiedades, tales como dominio, imagen, intercepto, con los ejes de coordenadas, signos de la función, tanto desde el punto de vista analítico como gráfico. Asimismo, dilucidar el comportamiento de dichas propiedades en las diferentes funciones elementales conocidas por ellos.
- Realizar operaciones algebraicas, así como fundamentar bajo qué condiciones se puede realizar dichas operaciones.
- Modelar situaciones cotidianas mediante funciones.

Teniendo en cuenta las dificultades expuestas, surgió el interés de implementar una propuesta didáctica que ayudara a mejorar la comprensión del concepto de función en los estudiantes de noveno grado de una institución educativa en Urabá. Por lo tanto, fue necesario preguntar: ¿cómo mejorar la comprensión del concepto de función en los estudiantes de noveno grado de la Institución Educativa San Juan de Urabá, a partir de una propuesta enmarcada en situaciones didácticas y en la resolución de problemas cotidianos?

El municipio de San Juan de Urabá está situado en el extremo norte del departamento de Antioquia, en la subregión de Urabá. Comprende una extensión de 239 km<sup>2</sup>, de los cuales 21,5 son urbanos y 217,5 son rurales, que representan el 0,38 % del territorio antioqueño y el 2,05 % de la región de Urabá. Tiene una población de 13000 habitantes aproximadamente, cuenta con seis instituciones educativas que ofrecen el servicio desde preescolar hasta undécimo grado.

Este trabajo de profundización se centra en una institución educativa en Urabá, establecimiento de carácter oficial ubicado en la zona urbana del municipio. Esta institución presta sus servicios en jornada completa, ya que ofrece la básica secundaria y media en la jornada de la mañana, así como preescolar y básica primaria en la tarde. En 2016 contaba con una población de 1519 estudiantes.

En cuanto a resultados de pruebas externas, de acuerdo con la información que ofrece el Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación (Icfes), entre 2019-2022 se muestra un desempeño bajo por parte de la institución en comparación con el ente territorial y en general con Colombia (Ministerio de Educación Nacional, MEN, 2023). En particular, para noveno grado se observa una diferencia significativa en las pruebas Saber, del Eje Cafetero, que es el territorio en el cual se encuentra la institución (Icfes, 2022). A partir de estos resultados surge la motivación para contrarrestar las debilidades encontradas y utilizar las fortalezas en nuestra propuesta de profundización. Por ello, adoptamos el concepto de función, que en los estándares básicos de competencias en matemáticas (MEN, 2006) está enmarcado dentro del pensamiento variacional y la resolución de problemas para la elaboración de las actividades en la secuencia didáctica.

Son numerosos los trabajos que se presentan acerca de la noción de función y los problemas que se tienen con el aprendizaje de las funciones matemáticas en sus diversas representaciones. En este sentido, las situaciones didácticas, los procesos de variación y el estudio de variables y funciones constituyen aspectos de gran riqueza y relevancia en el contexto escolar. Por otra parte, en nuestra práctica docente se evidencia un excesivo hincapié en procedimientos algebraicos, lo cual desconoce las primeras definiciones dadas a través de la historia, que tienen su origen en las nociones de variabilidad y dependencia.

En la sociedad actual, las matemáticas resultan ser una herramienta básica e importante para la comprensión y manejo de la realidad. A través de esta disciplina, las distintas ciencias interpretan los fenómenos físicos y sociales al utilizar distintos métodos, ya sean cualitativos o cuantitativos, lo que favorece la resolución de problemas. Asimismo, los conocimientos matemáticos aparecen constantemente en situaciones de la vida diaria, de ahí nuestro interés como docentes de formar personas competentes para identificar, interpretar, modelar y resolver situaciones que se les presenten. Esto implica preparar a los

alumnos en la resolución de problemas a partir del tratamiento de la información que reciben del entorno para que sean capaces de favorecer su aprendizaje y tener un mejor entendimiento e interpretación de la realidad.

Debido a la relevancia que tiene la parte didáctica, hemos decidido apoyarnos en la teoría de situaciones didácticas de Brousseau, ya que es un medio privilegiado que ayuda a la construcción del conocimiento matemático. Esta teoría sostiene que el conocimiento matemático se va construyendo a partir de la interacción del alumno con situaciones-problemas de la cotidianidad. Este va poniendo a prueba sus propios conocimientos, va profundizándolos, rechazando formas erradas de aplicarlo, o promoviendo otros nuevos a partir de la interpretación de los resultados de sus acciones.

Como docentes debemos tener cuidado a la hora de diseñar las actividades, pues estas deben ir orientadas a provocar en el alumno la construcción de su propio conocimiento a partir de la situación propuesta en la que este se enfrenta solo a la resolución del problema, sin la intervención del profesor. Así, el docente solo se limita a dar orientaciones para que el alumno encuentre la solución del problema; tales momentos de la construcción de su propio conocimiento son situaciones de acción, formulación y validación, ordenadas en forma razonable. Con base en la concepción constructivista, Brousseau postula que el sujeto produce conocimientos como resultado de la adaptación a un medio resistente con el que interactúa. Tal interacción es entre el sujeto y el medio.

Los conceptos de variable, función, así como sus representaciones simbólicas, sus propiedades y el dominio de la modelación elemental de los fenómenos, implican una interpretación de los dominios numéricos, desde los más sencillos hasta los más complejos. Por ello, el pensamiento variacional es parte del pensamiento matemático avanzado en el contexto escolar, ya que comprende relaciones entre la matemática de la variación y el cambio, por un lado, y los procesos del pensamiento, por el otro. Los conceptos básicos sobre la matemática de la variación y el cambio son *variable* y *función*. Cuando dos variables están relacionadas mediante una función se puede estudiar el cambio de una de ellas con respecto a la otra; aquí radica la importancia del estudio de funciones, ya que permiten modelar situaciones cotidianas.

## Abordaje teórico

Brousseau (2007), con base en la teoría de las situaciones didácticas, propone un modelo que privilegia la producción del conocimiento matemático en el ámbito escolar (el aula y el contexto), pero esta producción requiere establecer nuevas relaciones entre el conocimiento que se crea en el aula y el que se elabora fuera de ella, es decir, que el alumno encuentre sentido y aplicabilidad al conocimiento que se produce en el aula (validarlo). Para Brousseau (1986), el conocimiento matemático se va produciendo a partir de la experiencia de reconocer, abordar y resolver problemas que son generados por otros problemas, y este se origina como resultado de la adaptación a un medio con el que este interactúa, según Brousseau (2007):

El alumno aprende adaptándose a un medio que es factor de contradicciones, de dificultades, de desequilibrio, un poco como lo ha hecho la sociedad humana. Este saber, es fruto de la adaptación del alumno, se manifiesta por las nuevas respuestas que produce el aprendizaje. (p. 30)

Hay tres aspectos fundamentales que se tienen en cuenta en la teoría de las situaciones didácticas (el alumno, el profesor y el medio). Esta teoría distingue tres tipos de situaciones didácticas: las situaciones de acción, de formulación y de validación:

- Situaciones de acción: el alumno debe actuar sobre un medio (material o simbólico); la situación requiere solamente la puesta en acto de conocimientos implícitos.
- Situaciones de formulación: un alumno (o grupo de alumnos) emisor debe formular explícitamente un mensaje destinado a otro alumno receptor (o grupo de alumnos); este debe comprender el mensaje y actuar (sobre un medio, material o simbólico) con base al conocimiento contenido en el mensaje.
- Situaciones de validación: dos alumnos (o grupos de alumnos) deben enunciar aserciones y ponerse de acuerdo sobre la verdad o falsedad de estas. Las afirmaciones propuestas por cada grupo son sometidas a la

consideración del otro grupo, que debe tener la capacidad de “sancionarlas”, es decir ser capaz de aceptarlas, rechazarlas, pedir pruebas, oponer otras aserciones<sup>1</sup> (Brousseau, 1986, p. 43).

El profesor es quien diseña la situación para el alumno, quien debe imaginar y proponer a los estudiantes situaciones matemáticas que estos puedan vivir, y con él propiciar nuevos problemas para que el estudiante encuentre la solución de manera espontánea (producción del nuevo conocimiento). El profesor brinda a sus alumnos los medios para encontrar el nuevo saber, es quien hace las preguntas para que estos expongan sus respuestas a fin de encontrar significados a la situación propuesta.

El medio *es la* problemática inicial que el alumno enfrenta, es el conjunto de relaciones que se van modificando a medida que el estudiante produce el conocimiento en el desarrollo de la situación que propone el profesor y que a su vez se ajusta de acuerdo con la realidad con que interactúa. De acuerdo con Artigue y Houdement (2007), los problemas matemáticos juegan un papel importante en la teoría de situaciones didácticas. El conocimiento matemático que se desprende de la resolución de problemas es un supuesto epistemológico que subyace de esta teoría. Pero surgen los interrogantes. ¿Qué tipo de problemas se debe plantear a los alumnos? ¿Qué condiciones deben satisfacer? Para Brousseau (2007), la resolución de problemas debe estar integrada en el proceso de aprendizaje del conocimiento matemático, y las matemáticas aprendidas tienen que proporcionar soluciones óptimas para este problema. Las condiciones deben tratar de asegurar que los alumnos, con su formación matemática, puedan optimizar por sí mismos las conceptualizaciones matemáticas.

Algunos autores han estudiado el modelado de funciones en estudiantes de secundaria, a través de estrategias didácticas materializadas en guías de aprendizaje con resultados similares. En primer lugar, Garzón (2015) presentó los siguientes resultados: motivación en los estudiantes, madurez frente al uso del concepto, conversión del registro gráfico al algebraico y concepción con otros

<sup>1</sup> Pueden usarse las denominaciones proponente y oponente respectivamente, con lo cual se entiende que ambos grupos pueden desempeñar alternadamente uno y otro rol durante el desarrollo de una situación.

campos del área. En segundo lugar, Medina (2012) logró matematizar diferentes situaciones de la forma más intuitiva. En tercer lugar, Guevara (2011) pudo introducir el concepto de función como red conceptual ligada inicialmente al proceso de modelación y simulación de situaciones reales, ya que tuvo en cuenta las distintas formas de representar funciones: verbal, gráfica, tabla de datos y mediante expresiones algebraicas. Por último, Téllez y Osorio (2008) caracterizan las condiciones de una actividad de aprendizaje para la resignificación del concepto de función en el entorno escolar; en este caso se hace uso de gráficas para describir el cambio y la variaciones de un cuerpo en diferentes situaciones. Esta publicación no presenta resultados significativos de la propuesta didáctica aplicada, sino que se limita a proponer un modelo cualitativo de cómo los estudiantes aprenden a modelar funciones desde situaciones cotidianas.

En cuanto a la teoría de situaciones didácticas, Soto (2010) muestra en su investigación la importancia de trabajar con este tipo de situaciones al hacer matemáticas con un enfoque basado en la resolución de problemas. Con base en esta apuesta, los alumnos construyeron su conocimiento matemático-didáctico al confrontar y validar sus formulaciones, lo cual permitió la puesta en práctica de competencias matemáticas para la modelación de situaciones cotidianas.

Las ideas presentadas anteriormente en los antecedentes sirvieron como referentes en el estudio de modelos con funciones. Estos estudios fueron comparados posteriormente con los resultados de esta investigación en las discusiones, teniendo en cuenta las situaciones de acción, formulación y validación.

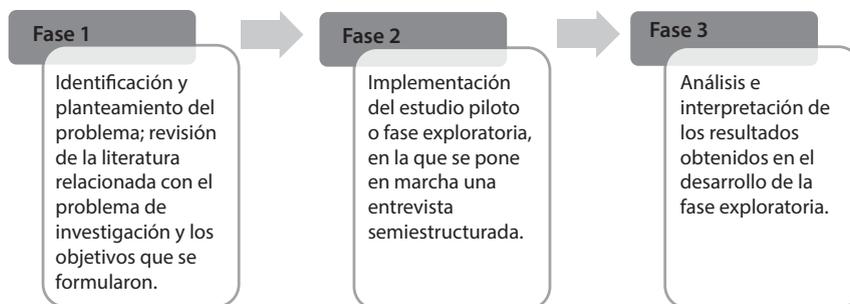
## **Metodología**

Esta investigación incluye un paradigma interpretativo, adopta el enfoque de investigación cualitativa con análisis de contenido deductivo que, para Kyngäs y Kaakinen (2020), es un método analítico que tiene como objetivo probar categorías, conceptos, modelos, teorías o hipótesis existentes en un nuevo contexto (p. 23). Los instrumentos de recolección de datos y el tipo de análisis de información de este estudio inducen a la utilización del método de estudio de casos. Según Stake (1999):

No se trata de elegir un caso determinado porque sea representativo de otros casos, o porque ilustre un determinado problema o rasgo, sino porque el caso en sí mismo es de interés. El propósito no se centra en comprender algún constructo abstracto o fenómeno genérico. El propósito no es la construcción de la teoría. En este tipo el caso es secundario, juega un papel de apoyo, facilitando la comprensión de algo. El caso puede ser característico de otros, o no serlo. Un caso se elige en la medida en que aporte algo a nuestra comprensión del tema objeto de estudio. (p. 12)

La metodología de esta investigación se organiza en las siguientes fases:

Figura 2.1. Fases de la investigación



Fuente: elaboración propia.

Para el cumplimiento de los objetivos propuestos se eligieron cuatro estudiantes de 9.º B de una institución educativa de Urabá. Las técnicas que se utilizaron fueron: encuesta, observación participante, entrevista semiestructurada y secuencias didácticas, con el fin de fortalecer los conocimientos previos que tenían los estudiantes al definir los descriptores por nivel para el concepto de función. Esto se hizo acorde con los derechos básicos de aprendizaje y los lineamientos curriculares en matemáticas establecidos por el Ministerio de Educación Nacional para el noveno grado (MEN, 1998). Estos conocimientos previos nos sirvieron como base para el diseño de una serie de actividades en términos de “secuencia didáctica” basada en la simulación de situaciones cotidianas.

La entrevista semiestructurada, de acuerdo con Troncoso y Daniele (2003), constituye uno de los procedimientos más frecuentemente utilizados en los

estudios de carácter cualitativo. Con esta, el investigador no solamente hace preguntas sobre los aspectos que le interesa estudiar, sino que debe comprender el lenguaje de los participantes y apropiarse del significado que estos le otorgan en el ambiente natural donde desarrollan sus actividades. Este aspecto permitió ubicar a los estudiantes seleccionados en el nivel I definido para nuestro marco teórico. Para el análisis de los casos seleccionados utilizamos “rejilla de doble entrada”, la cual permite una visualización clara y precisa de los resultados obtenidos dentro de las categorías propuestas en los descriptores.

Como se había mencionado anteriormente, nuestra intención con el este trabajo fue la modelización de funciones; esta fue la razón por la que definimos los descriptores para las situaciones enmarcadas en la teoría de las situaciones didácticas de Brousseau (2007). Los descriptores hipotéticos iniciales fueron evolucionando y refinándose en la medida que discurría el trabajo de campo y se hacía el análisis de los datos. En los tres niveles encontramos los llamados descriptores de separación, los cuales asumimos como aquellos que evidenciaron las conductas exhibidas por el entrevistado y dieron cuenta del paso de un nivel al siguiente; estos descriptores mostraron explícitamente la acción de razonamiento que aún no es superada por el entrevistado y, por lo tanto, impide su paso al siguiente nivel. En el discurrir de las actividades finales aparecieron situaciones que buscaban detectar si el entrevistado ya había afianzado los procesos de comprensión para superar dichos descriptores.

A continuación, presentamos los descriptores para el concepto de función en el marco de la teoría de las situaciones didácticas (TSD) de Brousseau (2007), los cuales se exponen en la tabla 2.1.

## **Análisis e interpretación de resultados**

### *Algunas muestras de respuestas significativas en los cuatro casos en estudio con respecto a la entrevista semiestructurada*

A continuación, se presentan algunas evidencias de los cuatro casos analizados, organizadas por tipo de situación: acción, formulación y validación. Más adelante, estas evidencias serán presentadas con mayor detalle.

Tabla 2.1. Etapas de la TSD, descriptores por nivel y descriptores separador para E y SD

Etapas de la TSD	Categoría	Descriptores nivel 1 A1	Descriptores nivel 2 B2	Descriptores nivel 3 C3	Descriptores nivel 4 D4	Descriptores separador Z
Situación de acción	Reconocimiento de funciones en situaciones matemáticas.  Identificación de características de la función.	Identifica cuando una relación es una función.	Comprende sin un lenguaje formal la noción de función como una relación de dependencia entre variables.	Reconoce que una función se puede representar de diversas maneras y encuentra su dominio y su rango.	Dada una función, puede encontrar características de esta como dominio, rango y regla de formación al usar un lenguaje no formal.	Se le dificulta expresar en lenguaje algebraico una función ya reconocida desde el análisis de una situación.
Situación de formulación	Paso entre las diferentes formas de representación de funciones.  Lectura de gráficos	Usa su conocimiento sobre función para plantear y solucionar problemas.	Representa funciones a través de expresiones algebraicas, tablas y gráficas.	Expresa las características de la relación entre dos variables a partir de una gráfica.	Usa los valores de una función a partir de su gráfica y verifica estos valores de la función en su expresión algebraica.	Se le dificulta plantear y solucionar problemas con funciones utilizando diferentes medios de representación.
Situación de validación	Modelado de funciones.  Reconocimiento de funciones en otras áreas.	Analiza la información numérica, gráfica y tabular de una función, para hacer conclusiones e inferencias a partir de los datos proporcionados.	Reconoce funciones en otras áreas.	Modela funciones partiendo de problemas cotidianos.		Se le dificulta desligar el concepto de función de una representación algebraica o geométrica, así como asimilarlo en una relación de dependencia entre variables.

Notas: E: entrevista semiestructurada; SD: secuencias didácticas.

Fuente: elaboración propia.

## Imagen 2.1. Concepto de los casos sobre lo que entienden por relación

ENTREVISTA SEMIESTRUCTURADA

Estudiante 1

Docente: WILBERG CÓRDOBA RENTERÍA

Fecha: 27/10/16

Objetivo: Identificar fortalezas y debilidades que posees referente al concepto de función.

1. ¿Qué entiendes por relación?

Corresponde a una conexión que existe entre dos o más cosas; es decir una unión.

ENTREVISTA SEMIESTRUCTURADA

Estudiante 2

Docente: WILBERG CÓRDOBA RENTERÍA

Fecha: 27/10/16

Objetivo: Identificar fortalezas y debilidades que posees referente al concepto de función.

1. ¿Qué entiendes por relación?

Entiendo que es una regla entre dos conjuntos.

ENTREVISTA SEMIESTRUCTURADA

Estudiante 3

Docente: WILBERG CÓRDOBA RENTERÍA

Fecha: 27/10/2016

Objetivo: Identificar fortalezas y debilidades que posees referente al concepto de función.

1. ¿Qué entiendes por relación?

Es la correlación entre un par de conjuntos  $(x), (y)$ . La cual da elemento del conjunto  $(x)$  corresponde a una o más del conjunto  $(y)$ .

ENTREVISTA SEMIESTRUCTURADA

Estudiante 4

Docente: WILBERG CÓRDOBA RENTERÍA

Fecha: 27/10/16

Objetivo: Identificar fortalezas y debilidades que posees referente al concepto de función.

1. ¿Qué entiendes por relación?

Es algo que tienen en común uno o más individuos y por el cual se relacionan.

Fuente: elaboración propia con base en el instrumento de entrevista.

Con relación a las respuestas observadas en la imagen 2.1, se evidencia que los cuatro casos reconocen una relación como una dependencia entre cosas o variables. Es decir, muestran vestigios significativos respecto al concepto de relación. En el caso de la imagen 2.2, hay evidencia de la forma como el estudiante comprende de manera particular las condiciones para que una relación sea una función. Así, se tienen en cuenta las parejas ordenadas que se forman entre los elementos de salida y los elementos de llegada.

**Imagen 2.2. Respuesta de uno de los casos que reconoce qué tipo de relación es una función**

*Condiciones que debe cumplir una relación para ser una función, enúncialas:*

que todos los elementos del conjunto M deben tener una pareja en el conjunto N.

Fuente: elaboración propia con base en el instrumento de entrevista.

En la imagen 2.3, el estudiante 2 expresa de manera verbal lo que para él es la definición de dominio y rango de una función.

**Imagen 2.3. Componentes evaluados en las pruebas Saber de noveno grado (2015)**

*¿Qué entiendes por dominio y rango de una función?*

Dominio: Es el conjunto de todos los valores que puede tomar la variable independiente "x".

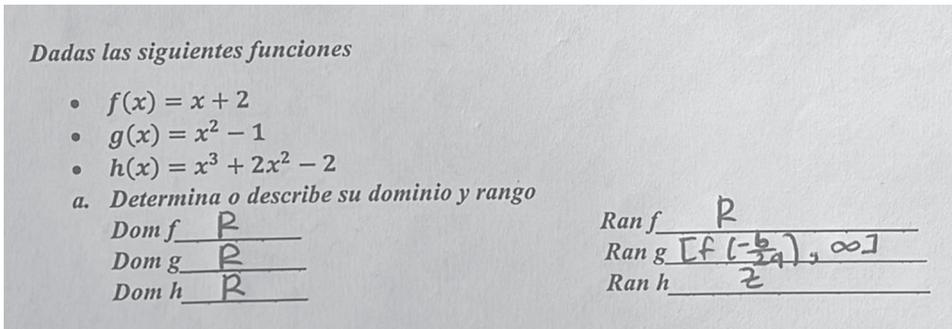
Rango: Es el conjunto de todos los valores que puede tomar una función, dependiendo de los valores de "x".

Fuente: elaboración propia con base en el instrumento de entrevista.

En cuanto a la imagen 2.4 se observa que llega a las respuestas de manera parcial. En ese orden de ideas no se observa una redacción analítica para llegar al rango y dominio, pero sí se observa un aprendizaje mecánico o teórico ya definido por el profesor o los libros.

Los resultados de las entrevistas semiestructuradas se evidencian en la tabla 2.2.

Imagen 2.4. Componentes evaluados en las pruebas Saber de noveno grado (2015)



Fuente: elaboración propia con base en el instrumento de entrevista.

Tabla 2.2. Categorización de los resultados de los casos 1 al 4 al presentar (E)

Categoría	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Conclusión
Reconocimiento de funciones en situaciones matemáticas	A1 B2 C3	A1 B2 C3	A1 B2 C3	A1 B2 C3	Todos los casos pueden utilizar tablas, gráficas y situaciones que no son necesariamente matemáticas para representar relaciones y funciones.
Identificación de características de la función	D4	Z	Z	Z	En este caso se notan también dificultades para manejar algebraicamente el rango, no se intenta obtenerlo al graficar la función o despejar la variable independiente.
Paso entre las diferentes formas de representación de funciones	A1 B2 C3	A1 B2	A1 B2	A1 B2	En los cuatro casos se corrobora que estos tienen facilidades para identificar relaciones y funciones en los diferentes modos de representación, tanto en forma de gráficos como en diagramas sagitales, o en forma tabular y usando una expresión algebraica; esta última es la que mayores dificultades presenta. El manejo del lenguaje adecuado para describir relaciones y funciones es incipiente y no muestra mayor rigor técnico.

Continúa...

Categoría	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Conclusión
Lectura de gráficos	D4	D4	D4	D4	Los estudiantes pueden construir gráficos de acuerdo con las tablas y parejas ordenadas que se les entrega, pero no muestran todavía la capacidad de leer la información contenida en las gráficas, que va más allá de las meras parejas.
Diseño de expresiones algebraicas	Z	B2	Z	Z	La movilidad y la seguridad en el manejo de las otras formas de representación ya no están presentes al construir la expresión algebraica cuando se le dan las demás formas de representación de funciones, o cuando se le suministra la situación que lleva implícita la relación funcional.

Nota: E: entrevista semiestructurada.

Fuente: elaboración propia.

### *Análisis y resultados de cada uno de los casos respecto a la secuencia didáctica*

#### *Caso 1*

De acuerdo con las respuestas proporcionadas por el caso 1 y el análisis de la información obtenidas en estas respuestas, se puede evidenciar en la figura 2.2 que el estudiante identifica con facilidad cuando una relación es una función y comprende, sin un lenguaje formal, la noción de función como una relación de dependencia entre variables.

Figura 2.2. **Algunas respuestas en los diferentes momentos de trabajo**

<p>a) Representa mediante dos variables los datos conocidos y clasifícalas. Variable independiente <math>x</math>: <i>estudiantes</i>. Variable dependiente <math>y</math>: <i>costo por cada estudiante que asistirá</i>.</p> <p>b) Escribe la situación, como una relación entre las variables definidas. La regla que plantea un costo por cada estudiante.</p>
<p><b>Momento 1. Trabajo individual.</b></p> <p>a) Identifica las variables en la situación y represéntalas. Variable independiente (<math>x</math>): <i>el tiempo</i>. Variable dependiente (<math>y</math>): <i>la altura alcanzada por el balón</i>.</p> <p>b) Escribe la situación, como una relación entre las variables definidas. <i>La regla que plantea la altura alcanzada por el balón</i>.</p> <p>c) ¿La relación definida en una función? Justifica tu respuesta. Sí (x) No ( ) <b>Justificación:</b> <i>porque a cada altura alcanzada por el balón le corresponde un valor</i>.</p> <p><b>Momento 2. Forma individual</b></p> <p>d) Expresa en forma verbal la función que modela la situación. <i>La función <math>F</math> que designa la altura alcanzada por el balón</i>.</p>
<p><b>Momento 1. Trabajo individual</b></p> <p>a) Identifica las variables que intervienen en la situación, clasifícalas. Variable independiente (<math>x</math>): <i>kilómetros</i>. Variable dependiente (<math>y</math>): <i>el costo por cada kilómetro adicional</i>.</p> <p>b) Expresa en forma verbal la función que define la situación. <i>La regla que plantea un costo por cada kilómetro adicional</i>.</p>

Fuente: elaboración propia con base en la secuencia didáctica.

A continuación, se muestra algunas de las respuestas dadas por el caso 1 en las actividades de la secuencia didáctica.

De acuerdo con la figura 2.3, se evidencia que el caso formula expresiones algebraicas, calcula dominio y rango de una situación que representa una función; es decir, la alumna usa su conocimiento sobre función para plantear y solucionar problemas y la representa a través de expresiones algebraicas y tablas.

Figura 2.3. Resolución de momentos 2 de la secuencia didáctica en el caso 1

La función  $f$  que designa el costo del número de estudiantes.

**Momento 2. Representación de la función**

*Situación de formulación*

Con base en la función obtenida en el momento 1, cada estudiante representará una tabla de valores que permita observar la relación entre las variables y de igual forma escribirá una expresión algebraica para dicha función.

- e) ¿Cuál es el dominio y el rango de la función definida en (d)?

$$\text{Dom}f: R$$

$$\text{Ran}f: R$$

- f) Construye una tabla de valores que permita observar la relación entre las variables “x” y “y”.

$x$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$y$	5000	10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000	45000

- g) Escribe una expresión algebraica que describa la relación entre las variables “x” y “y”.

$$f(x) = 5000x$$

- e) Escribe en forma algebraica la función que modela la altura que alcanza el balón en el con respecto al tiempo.

$$h_{(t)} = 10\text{m/s} \cdot t - 4,9t^2$$

- f) Halla el dominio y el rango de la función.

$$\text{Dom}h = R$$

$$\text{Ran}h = [2,15,^{(+\infty)}]$$

- g) ¿Cuál es la altura alcanzada por el balón, luego de un segundo y medio?

$$h = (10 \cdot 10,5) - (4,9) \cdot (1,5)^2$$

$$h = 15 - 11,025 = 3,975$$

$$h = 3,975$$

*Rta) La altura alcanzada por el balón, luego de un segundo y medio es 3,975*

- h) ¿Cuál es la altura máxima que alcanza el balón?

$$V = \left( \frac{-b}{2a}, f\left(\frac{-b}{2a}\right) \right) = (0,295, 2,15)$$

**Momento 2. Trabajo individual**

- e) Determina la función del costo del servicio de taxi en término de los recorridos.

$K = \text{kilómetros}$

$$f(x) = \begin{cases} 3100 & \text{si } 0 \leq k < 9^{[0,9)} \\ 3100 + 63k & \text{si } k \geq 9^{[9,+\infty)} \end{cases}$$

- d) Halla el dominio y el rango de la función definida en el inciso c.

$$\text{Dom}f = R$$

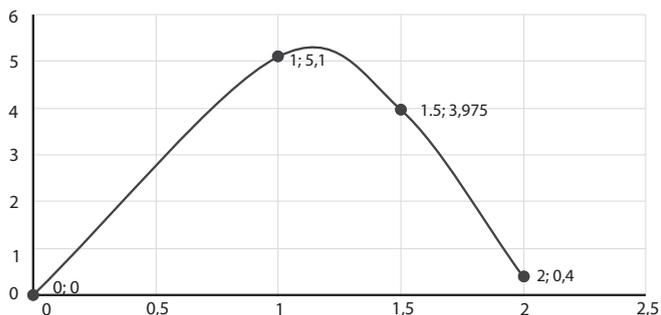
$$\text{Ran}_f = [0,9) \cup [9,+\infty)$$

Fuente: elaboración propia con base en la secuencia didáctica.

Figura 2.4. Ubicación de las parejas ordenadas en el plano

h) Halla las siguientes imágenes.  
 $f(0) = 0$   $f(1) = 5000$   $f(2) = 10\ 000$   $f(4) = 2000$   
 $f(5) = 25\ 000$   $f(10) = 50\ 000$   $f(15) = 55\ 000$   $f(20) = 100\ 000$

i) Escribe como parejas ordenadas los resultados obtenidos en el inciso h.  
 $(0, 0)$   $(1, 5000)$   $(2, 10\ 000)$   $(4, 2000)$   
 $(5, 25\ 000)$   $(10, 50\ 000)$   $(15, 55\ 000)$   $(20, 100\ 000)$



Fuente: elaboración propia con base en la secuencia didáctica.

Sin embargo, presenta errores de interpretación de la situación para modelarla por medio de una función por tramos y escribir la expresión algebraica que representa. Estos descriptores permiten inferir que la alumna supera el nivel 1 del marco teórico, el cual corresponde a la situación de acción y muestra evidencias del nivel 2, que corresponde a la situación de formulación. Por su parte, la figura 2.4 evidencia que la alumna utiliza e identifica diferentes maneras de representar una función de manera correcta, además identifica la variación o cambios que presentan las variables que intervienen en la situación. Esto le permite identificar las características de la gráfica de la función en relación con la situación que representa.

### Caso 2

Como se aprecia en la figura 2.5, este caso identifica con claridad las variables que intervienen en una situación, lo que le permite advertir la relación que existe entre estas variables para luego modelar la situación a través de una función.

Figura 2.5. Resolución del momento 1, por el caso 2

a) Representa mediante dos variables los datos conocidos y clasificados.

Variable independiente x: *Estudiantes*.

Variable dependiente y: *Costo por cada estudiante que asistirá*.

b) Escribe la situación como una relación entre las variables definidas.

*La regla que le asigna un costo por cada estudiante.*

Fuente: elaboración propia con base en la secuencia didáctica.

La alumna usa procesos inductivos y un lenguaje algebraico para formular y modelar situaciones del contexto por medio de funciones. Además, reconoce en una tabla el conjunto de valores de las variables ligadas a la situación y saca conjeturas referentes a la situación.

Figura 2.6. Resolución del momento 2, por el caso 2

i) ¿Cuánto tiempo tarda el balón en tocar el césped de nuevo, desde que sale disparado?

$$t = \frac{-10 \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-10 \pm \sqrt{100 - 4(-4,9)(0)}}{2(-4,9)} = \frac{10 \pm 10}{-9,8}$$

$$t_1 = \frac{-10 + 10}{-9,8} = 0$$

$$\frac{-10 - 10}{9,8} = 2,04 \text{ segundos}$$

Rta.: El tiempo que tarda el balón en tocar el césped es 2,04 segundos.

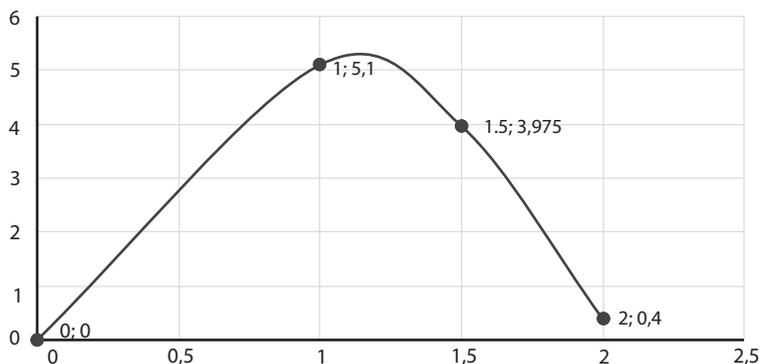
j) Construye una tabla de valores de la función definida en el inciso e.

t	0	1	1,5	2	3	4	5
h(t)	0	5,1	3,975	0,4	-14,1	-38,4	-72,5

Fuente: elaboración propia con base en la secuencia didáctica.

De acuerdo con la figura 2.7, en este caso se utilizan y se identifican diferentes maneras de representar una función de forma correcta. Además, la alumna identifica la variación o los cambios que presentan las variables que intervienen en la situación. Esto le permite identificar las características de la gráfica de la función en relación con la situación que representa.

Figura 2.7. Representaciones gráficas del momento 2, por el caso 2



Fuente: elaboración propia con base en la secuencia didáctica.

El caso 2 mostró gran manejo de las relaciones en general y de las que representan funciones en particular; estableció condiciones para la existencia de funciones, las identificó en otros contextos diferentes a los matemáticos. Asimismo, obtuvo las variables involucradas y estableció la relación de dependencia presentada entre dichas variables.

También se puede observar el paso por las diferentes formas de representación: el caso puede pasar de gráficos al uso de tablas, de ahí al manejo de las expresiones algebraicas que representan la función. Dada la relación funcional en lenguaje natural, puede obtener la expresión matemática que la modela. Este caso puede obtener información diversa de las gráficas y tablas, y se percibe que muestra todavía dependencia de la representación geométrica de una función.

### Caso 3

En general, al observar la figura 2.8, el caso 3 supera suficientemente los descriptores correspondientes al nivel de formulación y de validación, lo que demuestra haber logrado un punto de profundidad bastante alto en comparación con los conocimientos iniciales. Estos correspondían suficientemente a los que normalmente desarrollan los estudiantes de noveno grado con respecto a las funciones.

Figura 2.8. Respuestas del caso 3 sobre el enunciado propuesto

<p><b>Momento 1. Trabajo individual</b></p> <p>a) Identifica las variables que intervienen en la situación, clasificalas.  Variable independiente (x) <u>Dos kilómetros.</u>  Variable dependiente (y): <u>el costo por cada kilómetro adicional.</u></p> <p>b) Expresa en forma verbal la función que define la situación.  <u>La regla que asigna un costo por cada kilómetro recorrido adicional.</u></p> <p><b>Momento 2. Trabajo individual</b></p> <p>c) Determina la función del costo del servicio de taxi en término de los kilómetros recorridos.  <math>( ) = 3100</math> si <math>x \geq 0 \leq 9</math>  <math>( ) = 3100 + 63 \cdot (x-9)</math> Si <math>x &gt; 9</math></p> <p>d) Halla el dominio y el rango de la función definida en el inciso c.  <math>Domf = R_+</math>  <math>Ranf = [0,9) \cup [9, + \infty)</math></p>
---

Fuente: elaboración propia con base en la secuencia didáctica.

#### Caso 4

Al hacer un seguimiento a los descriptores construidos para los correspondientes niveles dos y tres de la teoría de Brousseau, puede constatarse que el caso 4 trabaja con las funciones con suficiencia y solvencia, como se ve en la figura 2.9. También logra identificar funciones en diferentes modos de representación, y obtiene información relevante para el análisis de situaciones de acuerdo con dichas representaciones. De igual forma, encuentra la expresión algebraica que le corresponde a una tabla, un gráfico o una situación mostrada verbalmente. Finalmente, puede identificar funciones en contextos no matemáticos y encontrar las variables involucradas, así como la relación de dependencia propia de la situación.

Figura 2.9. Interpretación de una función de manera algebraica, tabla de valores y gráfica

e) Si Camilo quiere hacer del servicio de taxi desde San Juan de Urabá a Arboletes, ¿cuánto debe pagar sabiendo que la distancia que separa estos municipios es 19 km?

$$f(x) = 3100 + 63 \cdot (x - 9)$$

$$f_{(19)} = 3100 + 63 \cdot 10 = 3730$$

Rta.: Camilo debe pagar luego de exceder los 9 km de recorrido 3730.

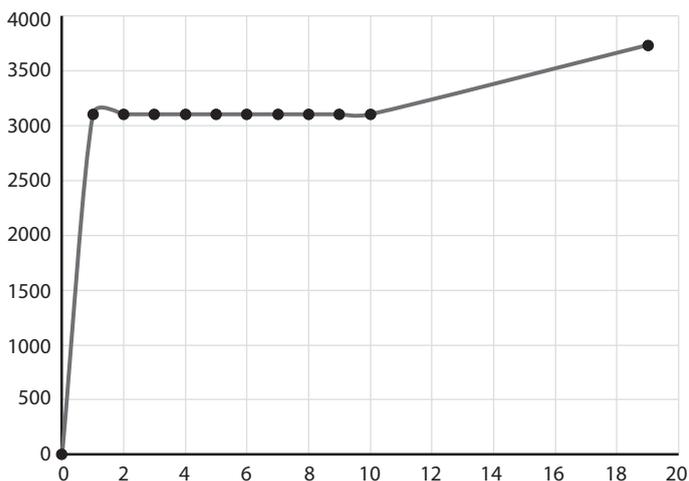
f) ¿Cuál es el costo a pagar por el servicio a la verdea El coco, sabiendo que hay 13,5 km de distancia?

$$R1 = 3100 + 63 \cdot 4,5 = 3262$$

El costo a pagar por el servicio es: \$3262

g) Elabora una tabla de valores y para la función definida en el inciso c.

$x$	0	1	2	3	4	5	6	7	19
$y$	0	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3730



Fuente: elaboración propia con base en la secuencia didáctica.

Al comparar las tablas 2.2 y 2.3 se pueden observar los cambios significativos de los casos; por ejemplo, los casos 2, 3 y 4 en la categoría “Identificación de características de la función”, los cuales estaban en el descriptor Z, pasan a los niveles C3, B2 y C3 respectivamente. Otro cambio se puede notar en la categoría “Diseño de expresiones algebraicas”, en la que los casos 1, 3 y 4 pasaron del descriptor Z a niveles A1, B2 y A1 respectivamente. Esto muestra los avances de los

**Tabla 2.3. Categorización de los resultados de los casos 1 al 4 al presentar situaciones didácticas**

<b>Categorías</b>	<b>Caso 1</b>	<b>Caso 2</b>	<b>Caso 3</b>	<b>Caso 4</b>	<b>Conclusión</b>
Reconocimiento de funciones en situaciones matemáticas	A1 B2 C3	A1 B2 C3	A1 B2 C3	A1 B2	Todos los casos pueden utilizar tablas, gráficas y situaciones (no necesariamente matemáticas) para representar relaciones y funciones.
Identificación de características de la función	D4	C3	B2	C3	Se puede notar que las dificultades para trabajar algebraicamente el rango de una función han sido superadas al graficar la función o al despejar la variable independiente.
Paso entre las diferentes formas de representación de funciones	A1 B2 C3	A1 B2 C3	A1 B2	A1 B2 C3	En los cuatro casos se corrobora que los casos tienen facilidad para identificar relaciones y funciones en los diferentes modos de representación, tanto en forma de gráficos como en diagramas sagitales, o en forma tabular y usando una expresión algebraica. El manejo del lenguaje es aceptable para describir relaciones y funciones.
Lectura de gráficos	D4	D4	D4	D4	Los estudiantes pueden construir gráficos de acuerdo con las tablas y parejas ordenadas que les entrega, y muestran la capacidad de leer la información contenida en las gráficas, pues va más allá de las meras parejas.
Diseño de expresiones algebraicas	A1	B2	B2	A1	La movilidad y la seguridad en el manejo de las otras formas de representación ya no están presentes al construir la expresión algebraica cuando se le dan las demás formas de representación de funciones, o cuando se le aporta la situación que lleva implícita la relación funcional.
Reconocimiento de funciones en otras áreas	C3	C3	C3	A1	Son capaces de visualizar las relaciones funcionales en contextos no matemáticos al presentar situaciones en otras áreas. Pueden encontrar la relación de dependencia y las variables asociadas en la situación.

Fuente: elaboración propia.

casos en la aplicación de las secuencias didácticas, los cuales se ubican en situación de validación, según la teoría de las situaciones didácticas de Brousseau.

### *Análisis del caso 1*

Teniendo en cuenta cada uno de los descriptores analizados para el caso de la estudiante 1, puede constatarse que ella trabaja con las diferentes formas de representación de funciones, pues es capaz de pasar de una tabla a una gráfica, de la expresión verbal a la expresión algebraica, y así sucesivamente entre las diferentes preguntas que se le hacen. Es notable también el hecho de su mejoría en el manejo de lenguaje matemático propio para referirse a las funciones, y su facilidad para identificar situaciones que representan funciones en diferentes contextos, diferentes a los entornos matemáticos.

De la superación de los descriptores vistos, puede deducirse que ha superado con suficiencia los niveles de formulación y validación señalados en el marco teórico. Por lo cual se concluye que el diseño de situaciones didácticas es una buena herramienta para abordar la enseñanza del concepto de función y conseguir en los estudiantes niveles de profundización de los conceptos. Cabe señalar que la estudiante todavía presenta dificultades en el manejo de la expresión matemática propia de funciones segmentadas o por tramos, lo cual es de esperarse ya que son necesarios mayores niveles de profundización y manejo, que no necesariamente corresponden a los objetivos propios del noveno grado.

### *Análisis del caso 2*

En este segundo caso puede constatarse que la estudiante supera los descriptores que corresponden a los niveles dos y tres, identifica funciones en los diferentes modos de representación, las diferencias de relaciones, establece criterios algebraicos y geométricos para caracterizar funciones. Asimismo, utiliza lenguaje adecuado para referirse a los diferentes tipos de funciones y sus partes. También se constata que la estudiante reconoce relaciones funcionales en diferentes contextos no matemáticos y puede obtener la expresión algebraica correspondiente a una función presentada en lenguaje verbal, en tablas y en gráficos. Al igual que en el caso anterior, esta estudiante tiene dificultades para

construir la ecuación de funciones definidas por tramos o trozos, lo cual evidencia la necesidad de emplear mayor tiempo de trabajo en el tema y, a lo mejor, apoyarse con información que no se estudia en noveno grado.

### *Análisis del caso 3*

El tercer caso mostró gran manejo de las relaciones en general y de las que representan funciones en particular, establece condiciones para la existencia de funciones, las identifica en otros contextos diferentes a los matemáticos, obtiene las variables involucradas y establece la relación de dependencia presentada entre dichas variables. En el momento del paso por las diferentes formas de representación, el estudiante puede pasar de gráficos al uso de tablas, de ahí al manejo de las expresiones algebraicas que representan la función. Dada la relación funcional en lenguaje natural, puede obtener la expresión matemática que la modela. Este caso puede obtener diversa información de las gráficas y tablas, y se percibe que muestra todavía dependencia de la representación geométrica de una función.

En general, este caso supera suficientemente los descriptores correspondientes a los niveles de formulación y de validación, pues demuestra haber logrado un punto de profundidad muy alto en comparación con los conocimientos iniciales mostrados. Estos correspondían suficientemente a los que normalmente desarrollan los estudiantes del noveno grado con respecto a las funciones.

La documentación escrita nos permite corroborar las observaciones plasmadas en la rejilla para el análisis de la intervención en la secuencia didáctica, con las respuestas dadas por el alumno.

### *Análisis del caso 4*

El cuarto caso muestra unas actitudes de liderazgo que sobresalieron al observarse las interacciones entre los cuatro estudiantes a la hora de desarrollar las actividades de la secuencia didáctica. Al establecer este tipo de interacciones entre los compañeros que hacían su mismo trabajo, el estudiante pudo experimentar el poder de la construcción social del conocimiento matemático, de la cual hablan los lineamientos curriculares en Colombia.

Con base en los descriptores construidos para los niveles dos y tres de la teoría de Brousseau, se evidencia, en este caso, la demostración de competencia y habilidad en el manejo de funciones matemáticas. Entre las habilidades identificadas se incluyen la capacidad para trabajar con funciones de manera competente; la identificación de funciones en diferentes modos de representación (como tablas, gráficos o situaciones verbales); la obtención de información relevante para el análisis de situaciones basado en esas representaciones, y la habilidad para derivar la expresión algebraica correspondiente a una tabla, un gráfico o una situación verbal. Además, se destaca la capacidad del estudiante para identificar funciones incluso en contextos no matemáticos, demostrando versatilidad en la aplicación de este conocimiento. Finalmente, el caso revela la capacidad para identificar las variables involucradas en estas funciones y comprender la relación de dependencia inherente a la situación dada.

## Discusión

La teoría de las situaciones didácticas de Brousseau (2007) se empleó para diseñar situaciones de acción, formulación y validación, por medio de secuencias didácticas que permitieran a los estudiantes mejorar la comprensión y el manejo del concepto de función. Paralelo a esto, Garzón (2015), Guevara (2011) y Medina (2012) expresan que utilizaron guías didácticas con el fin de acercar a los estudiantes al concepto de función. Se pudo observar que los trabajos presentados antes utilizan guías o secuencias didácticas para acercar al estudiante al concepto de función. Sin embargo, la teoría de las situaciones didácticas permite categorizar a los estudiantes por niveles, lo que evidencia el avance al pasar de acción a formulación y luego a validación; este último es el nivel ideal. Por lo tanto, el diseño de secuencias didácticas planteado por Brousseau (2007) resultó ser una excelente alternativa de trabajo, ya que motivaron a los estudiantes involucrados en este estudio, así como permitió identificar, reconocer, caracterizar y obtener información de situaciones funcionales en contextos diferentes al de los contenidos matemáticos propios del aula.

Otra cualidad que arrojó la teoría de Brousseau (2007) fue la generación de situaciones de aprendizaje, la cual permitió al estudiante asumir el rol protagónico en la gestión de los saberes. Ideas similares expresaron Troncoso y Daniele

(2003) cuando afirmaron que el estudiante debe identificar, comprender, descifrar, construir y proponer alternativas de solución de manera individual y colectiva para llegar finalmente a la situación óptima.

Cuando los estudiantes se enfrentaron a las situaciones diseñadas de acuerdo con la teoría, pudo constatarse que su motivación e interés aumentaban en lugar de dar paso a la frustración. Esto fue así cuando alguna respuesta o propuesta de solución no era viable. Finalmente, el nivel de progreso alcanzado por todos los estudiantes frente al concepto de función sobrepasa ampliamente el logrado en las clases magistrales tradicionales, de acuerdo con nuestra experiencia durante varios años en las instituciones educativas como maestros de matemáticas.

Puede decirse que la combinación de las situaciones diseñadas para ellos, junto con las interacciones propias de los estudiantes al establecer relaciones de aprendizaje social y el manejo de herramientas tecnológicas como el GeoGebra, se convierten en una excelente alternativa para mantener la motivación y el interés por el tema. Por todo lo anterior, este tipo de trabajo es una excelente y acertada alternativa para proponer la enseñanza y el aprendizaje de conceptos en el aula. Además de mejorar el concepto, le permite al estudiante profundizar en los conocimientos.

## Conclusiones

Este trabajo de investigación propuso utilizar la teoría de las situaciones didácticas de Brousseau (2007) para diseñar ambientes que permitieran a los estudiantes mejorar su comprensión y manejo de la teoría de funciones, para así alcanzar niveles de profundidad superiores a los que tradicionalmente muestra un estudiante de noveno grado. Este propósito se consiguió, ya que los estudiantes pudieron pasar del nivel uno de situaciones de acción del marco teórico a los niveles dos y tres, mediante una dedicación más consciente sobre el análisis de situaciones que involucran funciones desde diferentes contextos.

El trabajo se propuso indagar por la utilización del marco teórico en la optimización del manejo y comprensión de funciones, por parte de los estudiantes del noveno grado de la Institución Educativa San Juan de Urabá. Además de permitirles avanzar en niveles teóricos, las secuencias didácticas adaptadas a

esta teoría resultaron efectivas al fomentar la identificación y la aplicación de situaciones funcionales fuera del aula. La combinación de estas estrategias, junto con interacciones sociales y el uso de herramientas como GeoGebra, mantuvo alto el interés y motivación de los estudiantes. Por lo cual, este enfoque activo permitió a los estudiantes progresar significativamente en la comprensión de funciones, para así superar el rendimiento de clases magistrales tradicionales, según la experiencia como educadores. Por todo lo anterior, se puede concluir que este marco teórico es una excelente y acertada alternativa para proponer la enseñanza y el aprendizaje de conceptos en el aula, además de mejorar el nivel y la profundidad de los conocimientos alcanzados por los estudiantes.

## Referencias

- Artigue, M. y Houdement, C. (2007). Problem solving in France: Didactic and curricular perspectives. *ZDM Mathematics Education*, 39, 365-382.
- Brousseau, G. (1986). *Fundamentos y métodos de la didáctica de las matemáticas*. [http://cimate.uagro.mx/ivanlopez/seminario/archivos/Brousseau\\_Fondements.pdf](http://cimate.uagro.mx/ivanlopez/seminario/archivos/Brousseau_Fondements.pdf)
- Brousseau, G. (2007). *Iniciación al estudio de las situaciones didácticas*. Libros del Zorzal.
- Garzón, D. (2015). *Modelado de funciones desde el enfoque cognitivo de las representaciones semióticas* [tesis de maestría, Universidad de Antioquia].
- Guevara, C. (2011). *Propuesta didáctica para lograr aprendizaje significativo del concepto de función mediante la modelación y la simulación* [tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia].
- Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación (Icfes). (2022). *Informe nacional de resultados de las pruebas Saber 3°, 5°, 7° y 9°. Aplicación 2022*. [https://www.icfes.gov.co/documents/39286/19845423/Informe\\_saber\\_359\\_06\\_2022.pdf](https://www.icfes.gov.co/documents/39286/19845423/Informe_saber_359_06_2022.pdf)
- Kyngäs, H. y Kaakinen, P. (2020). Deductive Content Analysis. En H. Kyngäs, K. Mikkonen y M. Kääriäinen (Eds.), *The application of content analysis in nursing science research* (pp. 23-30). Springer Cham.
- Medina, A. (2012). *Modelado de funciones: una propuesta didáctica mediada por diversos contextos de las ciencias naturales* [tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia].
- Ministerio de Educación Nacional (MEN). (1998). *Lineamientos curriculares de matemáticas*. Cooperativa Editorial Magisterio.

- MEN. (2006). *Estándares básicos de competencias en Lenguaje, Matemáticas, Ciencias Naturales y Ciudadanas*. Cooperativa Editorial Magisterio.
- MEN. (2023). *Informe de Resultados Históricas Pruebas Saber*. <https://www.mineducacion.gov.co/portal/micrositios-preescolar-basica-y-media/Evaluacion/Consultas/400767:Informe-de-resultados-historicos-prueba-Saber>
- Soto, D. (2010). *El discurso matemático escolar y la exclusión. Una visión socioepistemológica* [tesis de maestría inédita], Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Instituto Politécnico Nacional, México.
- Stake, R. (1999). *Investigación con estudio de casos*. Editorial Morata.
- Téllez, L. S. y Osorio, F. C. (2008). Elementos teóricos para estudiar el uso de las gráficas en la modelación del cambio y la variación de un ambiente. *Investigación Educación en Ciencias REIEC*, 3(1), 51-58.
- Troncoso, C. E. y Daniele, E. G. (2003). Las entrevistas semiestructuradas como instrumentos de recolección de datos: una aplicación en el campo de las ciencias naturales. *Anuario Digital de Investigación Educativa*, (14). <https://revistas.bibdigital.uccor.edu.ar/index.php/adiv/article/view/3313>

### **Capítulo 3. Modelización de mezclas homogéneas: una experiencia didáctica en la educación media\***

Martha Elizabeth Arias Villamizar

Carlos Andrés Colorado Henao

Nelcy Giraldo Buitrago

Los docentes de química de los niveles de educación media se encuentran con estudiantes que presentan dificultades para comprender conceptos básicos concernientes a la organización de la materia. Dichos conceptos son necesarios para solucionar problemas relacionados con las mezclas homogéneas y las características de sus componentes. Desde esta perspectiva, el objetivo de este capítulo es analizar la modelización realizada por los estudiantes de décimo grado de tres instituciones educativas oficiales del oriente antioqueño sobre mezclas homogéneas y la relación entre sus componentes, a partir del análisis de situaciones cotidianas. El paradigma con el que esta investigación se identifica es el sociocrítico, que además asume una perspectiva cualitativa y un método de estudio de caso múltiple. Para cada caso se implementó una secuencia didáctica fundamentada en el aprendizaje colaborativo y validada a través del modelo ontológico, epistemológico y psicológico (Onepsi). El conjunto de técnicas e instrumentos que se utilizaron para la recolección y registro de información durante el proyecto de investigación fueron la observación participante, los cuestionarios, las fotografías y las producciones de los estudiantes. Los resultados evidenciaron el avance en el modelo de mezcla homogénea reflejado en las representaciones de los participantes, los cuales reconocieron las mezclas homogéneas en su vida cotidiana y utilizaron un lenguaje explícito para identificar, describir y explicar las situaciones propuestas en la secuencia didáctica de una manera más próxima a los modelos científicos. Asimismo, el ambiente generado a partir del aprendizaje colaborativo facilitó el fortalecimiento del trabajo en equipo y la toma de decisiones grupales.

\* Para citar este capítulo: <http://doi.org/10.51573/Andes.9789587985061.9789587985078.3>

## Introducción

En la Constitución colombiana de 1991 se contempla que la educación es un derecho fundamental y de servicio público; allí se reglamenta la Ley 115 de 1994, la cual estipula que el proceso educativo de un estudiante en el contexto nacional: “[...] debe favorecer el pleno desarrollo de la personalidad del educando, dar acceso a la cultura, al logro del conocimiento científico y técnico [...]” (artículo 92).

En este sentido, en el artículo 23 de la misma ley, se establecen las áreas de enseñanza obligatoria, entre las cuales se encuentra el área de ciencias naturales y educación ambiental, y que está fundamentada en los fines de la educación planteados en el siguiente artículo:

El desarrollo de la capacidad crítica, reflexiva y analítica que fortalezca el avance científico y tecnológico nacional, orientado con prioridad al mejoramiento cultural y de la calidad de vida de la población, a la participación en la búsqueda de alternativas de solución a los problemas y al progreso social y económico del país. (artículo 5.º, numeral 9)

Dentro del currículo de ciencias naturales diseñado por el Ministerio de Educación Nacional (MEN) está incluida la asignatura Química. Esta ciencia se centra en el estudio de la materia, sus características, propiedades y transformaciones, e intenta que los alumnos lleguen a comprender algunas de las características del mundo que les rodea (Pozo y Gómez, 1998). En las aulas de clase se promueven actividades con el fin de potenciar la explicación de fenómenos naturales; por ello, docentes y estudiantes establecen hipótesis cuando se inicia un proceso de observación, aprendizaje y conocimiento.

En este proceso de establecer hipótesis surgen algunas cuestiones que intenta responder la química, que tienen su traducción en los contenidos escolares, por ejemplo: ¿cómo clasificar la diversidad de sistemas y cambios químicos que se presentan en la naturaleza? ¿Cómo extraer e identificar sustancias que se encuentran mezcladas en la naturaleza? (Caamaño y Oñorbe, 2004). Para dar respuestas a dichas preguntas, los contenidos de la química están estructurados en un currículo; esto es explicado por Gimeno (1991) como un diseño educativo en el que se configuran actividades teórico-prácticas con el fin de que los alumnos se apropien de los conocimientos que dicha ciencia les ofrece.

Asimismo, las ideas previas y la experiencia cotidiana de los estudiantes son muy importantes para la construcción de un nuevo concepto (Carretero *et al.*, 1997, citado en Aldana, 2011).

En este sentido, el MEN diseñó los lineamientos curriculares, entre ellos los de ciencias naturales y educación ambiental, con el propósito de “[...] ofrecerles a los estudiantes colombianos la posibilidad de conocer los procesos físicos, químicos y biológicos y su relación con los procesos culturales, en especial aquellos que tienen la capacidad de afectar el carácter armónico del ambiente” (Ministerio de Educación Nacional, MEN, 1998, p. 48). A partir de dichos lineamientos y con el fin de garantizar la equidad en la calidad de la educación se generaron los “estándares básicos de competencias” en ciencias naturales y educación ambiental. Se definen tres ejes articuladores de los procesos de enseñanza y aprendizaje:

- Me aproximo al conocimiento como científico natural.
- Manejo conocimientos propios de las ciencias naturales (entorno vivo, entorno físico: procesos químicos y procesos físicos; Ciencia, Tecnología, Sociedad [CTS] y ambiente [CTSA]).
- Desarrollo compromisos personales y sociales.

Además, los estándares básicos de competencias para el área de ciencias naturales y educación ambiental involucran la evaluación como una acción permanente en el aula y en los desempeños de los estudiantes en las pruebas externas a nivel nacional (pruebas Saber) e internacional (Programa Internacional de Evaluación de los Alumnos, PISA). En palabras de Jorba y Sanmartí (1993), la evaluación debe ser asumida como la regulación de los aprendizajes, ya no entendida solo desde la responsabilidad del enseñante, sino más bien en la búsqueda de estrategias didácticas que se muevan hacia mecanismos como la autorregulación y la interacción social en el aula, que permitan al estudiante aprender a aprender: “Un buen dispositivo de evaluación debe estar al servicio de una pedagogía diferenciada capaz de dar respuesta a los intereses y dificultades de cada alumno o alumna” (p. 2).

En el marco de los estándares, las competencias a evaluar en las pruebas Saber son identificar, indagar y explicar. Según lo anterior, se ratifica la importancia del área de las ciencias naturales y educación ambiental para la formación

integral de los estudiantes y la comprensión del mundo natural. A pesar de esto, no todos los estudiantes llegan a entender conceptos básicos y, por lo tanto, se presentan dificultades en el aprendizaje de la química. Este es uno de los problemas que plantean Caamaño y Oñorbe (2004) en relación con el término de sustancia en la vida cotidiana:

[...] se utiliza a veces tanto para designar una sustancia pura como una “mezcla” o una disolución [...] se dice que el aire o la leche son sustancias, cuando en realidad se trata de una mezcla y de una dispersión, respectivamente, desde el punto de vista químico [...]. (p. 6)

Desde esta perspectiva se presenta otra situación en la cual no es evidente la relación entre los cambios que se observan y las explicaciones, pues se utilizan conceptos químicos con un lenguaje simbólico, que es muy distinto al que conocen, viven y usan los estudiantes en el proceso de transformación de los materiales en la vida cotidiana (Tovar *et al.*, 2013). Por consiguiente, los conceptos de química se han abordado de manera abstracta y en la mayoría de las ocasiones sin relación con los sucesos de la vida diaria, por lo cual se ha convertido en un obstáculo para su comprensión y apropiación.

En relación con la información que perciben los estudiantes, se proponen tres niveles de pensamiento para la comprensión de los conceptos en las ciencias naturales y en la química: macroscópico, submicroscópico y simbólico. El macroscópico se da por la percepción que permiten los sentidos; el submicroscópico crea representaciones abstractas, y el último nivel, el simbólico, tiene que ver con las fórmulas, ecuaciones químicas, expresiones matemáticas, entre otros (Galagovsky *et al.*, 2003).

En relación con lo anterior, los estudiantes, al explicar un fenómeno, no dominan los tres niveles representacionales, tienden a usar solo el nivel macroscópico; no alcanzan a utilizar los niveles submicroscópico y simbólico debido a la dificultad en la conexión entre el lenguaje científico y el lenguaje cotidiano. En la mayoría de los casos, el lenguaje empleado por el profesor con múltiples códigos no representa significado para el estudiante. En ese sentido, la enseñanza debe favorecer la integración de la interpretación del lenguaje y el propósito en el discurso que el profesor utiliza en el aula (Galagovsky *et al.*, 2003).

Teniendo en cuenta el contexto anterior y la experiencia pedagógica de los docentes investigadores, es necesario retomar las orientaciones del MEN y profundizar en el aprendizaje de conceptos relacionados con los aspectos físico-químicos de las sustancias y las mezclas. Es importante destacar, en la integración de saberes, las interacciones colaborativas, la existencia de un lenguaje disciplinar apropiado entre el docente y el estudiante, que involucre la relación entre el saber cotidiano y el saber científico para construir nuevos conocimientos en un ambiente de aprendizaje. Estos conocimientos se develan en la acción cuando son aplicados en la resolución de situaciones-problemas del contexto de los estudiantes. De esta manera, los participantes alcanzarán una mejor comprensión del mundo y de los fenómenos químicos.

Así, es importante destacar cómo los procesos de enseñanza y aprendizaje, de naturaleza compleja, necesitan de la interacción constante con la realidad. Además, es trascendental plantear un proceso educativo que involucre al estudiante en su cotidianidad y en la aplicación de los conocimientos aprendidos. Ríos y Ruedas (2009) señalan que:

Las estrategias de aprendizaje permiten contextualizar las situaciones para que el estudiante le dé sentido a su acción cotidiana, estimulando el debate sobre fenómenos científicos y acontecimientos del día a día, que a menudo pasan desapercibidos y que observados de forma consciente ayudan a comprender el mundo. (p. 423)

Desde el punto de vista de la cotidianidad del estudiante, las mezclas son un tema muy importante, pues están presentes en muchas situaciones como la elaboración de alimentos, productos para el hogar, productos industriales; la construcción civil, y entre otras situaciones en las cuales hay que tener en cuenta los componentes de las mezclas y su medición en diferentes términos (por ejemplo, cucharadas, tazas, gramos, pizcas, volumen, masa, de acuerdo con la unidad de medida que se utilice). Al estudiar el concepto de mezcla, se puede mejorar el nivel de comprensión de otros términos abstractos, como materia y sustancia, útiles en la construcción del conocimiento químico. Esto facilita el desarrollo de habilidades para manipular los materiales de su entorno, resolver situaciones-problemas concretos en su vida cotidiana y así establecer relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad.

Con relación a lo anterior, en el trabajo de investigación de Landau *et al.* (2014) se resalta la importancia de trabajar en la superación de las dificultades relativas al tema de disoluciones. Además, es importante comprobar la confusión de conceptos y la falta de reflexión de los estudiantes al enfrentarse a la solución de problemas concretos, con lo cual se concluye que

Los supuestos epistemológicos y ontológicos mencionados indicarían que a pesar de que los alumnos conocen la existencia de átomos y moléculas, así como sus interacciones, no han logrado incorporar el modelo a nivel submicroscópico en este contexto, por lo que sugerimos trabajar siempre que sea posible en los procesos de interacción entre las partículas en los diferentes niveles de organización: átomo, moléculas y mezclas. (Landau *et al.*, 2014, pp. 26-27)

En la práctica pedagógica de los docentes de química, muchos estudiantes están familiarizados con el tema de mezclas; sin embargo, al indagar sobre sus concepciones y el nivel de apropiación, se observa un grado de dificultad en la comprensión del concepto, debido a que su aprendizaje se realiza desde una aproximación de lo abstracto del mundo submicroscópico al utilizar experiencias macroscópicas y viceversa. Además, aparece la falta de conciencia y reflexión frente a diversas situaciones experimentales, pues los esquemas de los conocimientos previos, en muchas ocasiones, son erróneos y confusos, lo que produce conocimientos químicos dispersos (Alzate, 2007).

Por ende, el tema de mezclas se convierte en un ejemplo concreto, el cual se puede aprender utilizando diversas estrategias de enseñanza fundamentadas en metodologías activas, tales como el aprendizaje basado en problemas y el aprendizaje colaborativo, los cuales se vinculan con miradas o enfoques constructivistas. Todas estas estrategias buscan que el estudiante construya sus propios modelos mentales (modelizar), comprenda y se apropie del concepto de mezcla homogénea en relación con los componentes que la conforman. De acuerdo con lo expuesto antes, se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿de qué manera los estudiantes de décimo grado de tres instituciones educativas del oriente antioqueño modelizan el concepto *mezcla homogénea* y lo relacionan con las características de sus componentes en algunas situaciones cotidianas, a partir del aprendizaje colaborativo?

## Metodología

Esta investigación se enmarca en el paradigma sociocrítico, que según Latorre *et al.* (1997) “tiene como finalidad la transformación de la estructura de relaciones sociales” (p. 42). Además, se propone que la investigación educativa debe ir más allá del conocimiento científico, que busca la transformación de la realidad del estudiante a través de un fenómeno educativo de interés didáctico. Esto implica considerar el contexto de los participantes de tres instituciones educativas del oriente antioqueño.

Por consiguiente, se tomó la perspectiva de la investigación cualitativa, entendida como la comprensión en profundidad de los fenómenos educativos y sociales (Sandín, 2003); desde allí se busca favorecer la construcción de conocimiento en el ámbito de las ciencias naturales, en especial en la asignatura de Química. Además, Vasilachis de Gialdino (1992) considera que la investigación cualitativa depende fundamentalmente de la observación de los actores en su propio terreno y de la interacción con ellos en su lenguaje y con sus términos propios.

Así, se consideró que el enfoque metodológico adecuado para observar y evaluar la transformación de los modelos realizados por los estudiantes de décimo grado sobre el concepto de mezcla homogénea es el estudio de caso definido por Stake (2007), que propone la aproximación a “la particularidad y la complejidad de un caso singular, para llegar a comprender su actividad en circunstancias importantes” (p. 11). Esto quiere decir que en las situaciones cotidianas relevantes el “objetivo básico es comprender el significado de una experiencia” (Pérez, 1994, p. 81). El estudio de nuestro caso estuvo estrechamente vinculado al contexto, lo que permitió la descripción, la confirmación o la ampliación del conocimiento sobre el objeto de estudio abordado (Álvarez y San Fabián, 2012).

El tipo de estudio adoptado fue el colectivo, en el cual se contemplaron tres casos para hacer una interpretación de los resultados (Stake, 2007). Los grupos participantes de cada institución educativa representaron un caso particular desde su contexto, lo que permitió explicar el progreso del modelo escolar relacionado con las mezclas homogéneas en la vida cotidiana, mediante la aplicación de una secuencia didáctica de enseñanza y aprendizaje en el aula.

Esta propuesta se basó en las modalidades planteadas por Latorre *et al.* (1997), a fin de delimitar y establecer las principales características de la



institución educativa Santa Bárbara tenía un solo décimo y los establecimientos Félix María Restrepo Londoño y Ana Gómez de Sierra contaban con dos grupos, A y B, de los cuales se seleccionó uno al azar en cada institución. En ese sentido, a estas comunidades se les aplicó la secuencia didáctica. De cada conjunto se formaron subgrupos de cuatro estudiantes aleatoriamente, lo que dio lugar a los tres casos de esta investigación y un total de doce estudiantes de las tres instituciones involucradas. Es importante anotar que los datos recogidos de este proyecto se presentaron por cada caso de forma grupal e individual; sin embargo, en el proceso de análisis se articulan los tres casos.

En la tabla 3.1 se exponen el contexto, la actividad económica de la región y el modelo pedagógico de las instituciones participantes en el estudio.

Tabla 3.1. Contexto de la población participante

Aspectos de caracterización	I. E. Ana Gómez de Sierra (A)	I. E. Félix María Restrepo Londoño (B)	I. E. Santa Bárbara (C)
Ubicación	Zona rural del municipio de Rionegro, en el kilómetro 34 de la autopista Medellín-Bogotá	Zona urbana del municipio de La Unión	Zona rural del municipio de Rionegro; a 6 km de la cabecera municipal
Actividades económicas	Oficios varios, mayordomos de fincas, gremio de transporte y muy pocos participantes en la agricultura	Agricultura (cultivo de fresa, papa y uchuva), la ganadería y obreros de empresas dedicadas a la producción láctea	Agricultura, mayordomos de fincas de veraneo, obreros de empresas cercanas, conductores de bus y mulas
Modelo pedagógico institucional	Integrador-transformacional	Social-humanista	Social-desarrollista

Fuente: elaboración propia.

### *Técnicas e instrumentos de recolección de información*

El conjunto de técnicas e instrumentos utilizados durante el proyecto de investigación para la recolección y registro de información fueron la observación participante, las fotografías, las producciones de los estudiantes, los cuestionarios y la secuencia de enseñanza y aprendizaje. A continuación, se describen los tipos de cuestionarios y las fases de la secuencia de enseñanza y aprendizaje.

### Cuestionarios

Durante la investigación se aplicaron cuestionarios de preguntas abiertas o cerradas con el fin de dar cuenta de la percepción de los participantes acerca de una o varias variables a medir (Hernández-Sampieri *et al.*, 2014). Los cuestionarios de preguntas abiertas fueron aplicados en las actividades de la secuencia didáctica con el fin de mostrar el progreso del modelo estudiantil construido por los estudiantes sobre mezcla homogénea a lo largo de la secuencia. A continuación, en la tabla 3.2, se enuncian dichos cuestionarios.

Tabla 3.2. Cuestionarios de la secuencia didáctica de acuerdo con cada fase

Fase de exploración	Cuestionario 1	“La escalera de acertijos”
	Cuestionario 2	Lectura “Así cuenta mi abuelo una historia de un buen café...”
Fase de introducción de nuevos conocimientos	Cuestionario 3	Video <i>Llamarada Moe</i>
	Cuestionario 4	Elaboración dulce de leche, arequipe
Fase de aplicación	Cuestionario 5	Práctica de laboratorio: “Soluciones de sulfato de cobre”

Fuente: elaboración propia.

Las preguntas cerradas o los cuestionarios de enunciados aplicados fueron:

- Cuestionario tipo KPSI (Knowledge and Prior Study Inventory): es un instrumento de evaluación diagnóstica en el que predomina la autorregulación; es un instrumento útil porque permite al estudiante analizar su propio proceso de aprendizaje. El cuestionario KPSI “aporta datos importantes en la dinámica del aprendizaje” (Jorba y Sanmartí, 1996, p. 125).

En este trabajo se diseñó un cuestionario tipo KPSI, aplicado en dos momentos durante el desarrollo de la secuencia didáctica: en el inicio, con el fin de detectar los conocimientos y las ideas previas que los estudiantes tenían en relación con el concepto de mezcla homogénea y las características de sus componentes. En un segundo momento, al final, los estudiantes volvieron a completar el cuestionario KPSI con el propósito de dar cuenta de lo aprendido sobre el concepto de mezcla

homogénea y sus características. Esto ayudó a que se confrontaran y valoraran su progreso.

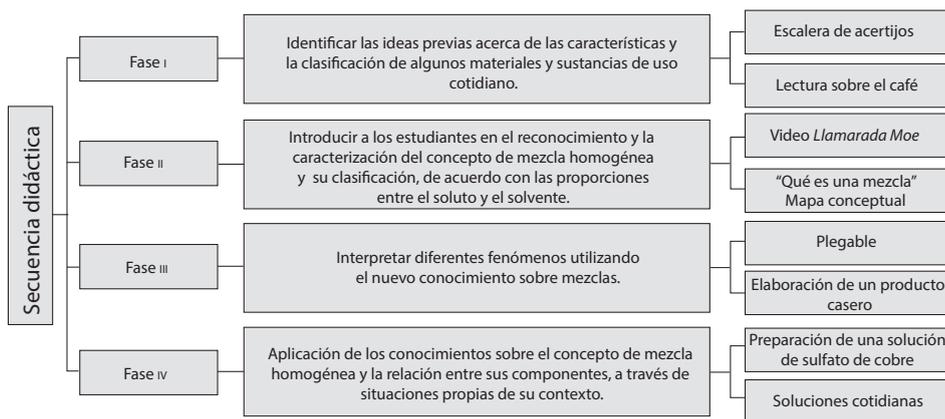
- Cuestionario tipo escala Likert: el escalamiento de Likert desarrollado por Rensis Likert en 1932 es un tipo de cuestionario utilizado como instrumento para recolectar las opiniones o los juicios de los participantes al elegir una de las opciones propuestas sobre un tema en particular (Hernández- Sampieri *et al.*, 2014). Este cuestionario se aplicó de forma individual a fin de analizar las creencias de los participantes acerca del papel individual y el de los demás integrantes del grupo, en lo referente al aprendizaje colaborativo experimentado en el desarrollo de las actividades propuestas en la secuencia didáctica.

### Secuencia didáctica

En cuanto a la secuencia de enseñanza y aprendizaje, se optó por el diseño a partir del enfoque sugerido por Pujol (2003). Esta autora recoge los aportes de Jorba y Sanmartí (1996) y los orienta hacia una propuesta didáctica dirigida a la modelización. La secuencia de enseñanza y aprendizaje se desarrolló en cuatro fases, como se muestra en la figura 3.2:

El análisis de los resultados se realizó en relación con: (1) el progreso del modelo estudiantil sobre mezcla homogénea; (2) la influencia del aprendizaje

Figura 3.2. Fases, objetivos y actividades de la secuencia didáctica



Fuente: elaboración propia.

colaborativo en la modelización de dicho concepto. Estos resultados se interpretaron mediante el análisis de contenido, que según Krippendorff (1997) “es una técnica de investigación destinada a formular, a partir de ciertos datos, inferencias reproducibles y válidas que puedan aplicarse a su contexto” (p. 28); además, Bardin (2002) dice que “Todo lo que se dice o se escribe es susceptible a ser sometido a un análisis de contenido” (p. 24). En este sentido, se aplicó el análisis de contenido al diario de campo de los investigadores, a las producciones de los participantes y a los cuestionarios de cada fase de la secuencia didáctica.

En este proceso se determinaron las unidades de registro o de análisis; dichas unidades son consideradas por Bardin (2002) elementos de significado que se codifican y corresponden a un segmento de contenido; son, en últimas, componentes de base por categorizar. Las unidades de análisis que se tomaron fueron la palabra y el tema, “[...] cuya presencia, o la frecuencia de aparición, podrán significar algo para el objetivo analítico elegido” (Bardin, 2002, p. 80). Dado que se parte del planteamiento del problema, los objetivos y los instrumentos utilizados en el trabajo de investigación, se aplicaron las unidades de análisis que dieron lugar a la interpretación y el análisis de los resultados, como se describe a continuación.

### *Progreso del modelo estudiantil sobre mezcla homogénea*

Las unidades de análisis se aplicaron a la información obtenida de los cuestionarios y de las producciones de los estudiantes relacionados con las entidades y las propiedades del modelo Onepsi, las cuales se pueden observar en la tabla 3.3. Las entidades constituyen las categorías de análisis del progreso del modelo estudiantil sobre mezcla homogénea.

En correspondencia con lo anterior, se elaboró una tabla de acuerdo con el modelo propuesto por López y Angulo (2016, p. 95) para construir los modelos estudiantiles sobre mezcla homogénea logrados en cada fase de la secuencia didáctica. Con el propósito de mostrar la transformación de los modelos estudiantiles a lo largo de la secuencia didáctica, se construyó una tabla que reflejó las representaciones más relevantes de los estudiantes relacionadas con las propiedades de cada entidad y las funciones de los constituyentes del modelo Onepsi. Esta tabla sirvió como herramienta para comparar el Modelo

Tabla 3.3. **Mezcla homogénea: categorías de análisis**

<b>Categorías</b>	<b>Constituyentes modelo Onepsi</b>	<b>Funciones modelo Onepsi, indicios</b>
Mezclas Mezcla homogénea	Constituyentes ontológicos	Entidades (categorías) Propiedades
Componentes de una mezcla homogénea	Constituyentes epistemológicos	Relaciones: describir, predecir
	Constituyentes psicológicos	Inferencias: explicar

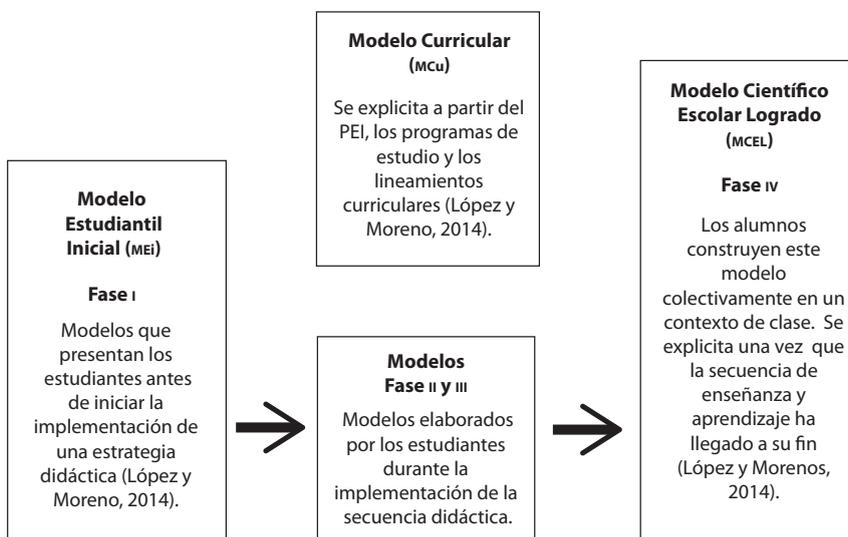
Fuente: tomado y adaptado de López y Angulo (2016).

Estudiantil inicial (MEi) y el Modelo Científico Escolar Logrado (MCEL), para así analizar la transformación del modelo escolar (véase la figura 3.3).

Asimismo, se comparó la relación entre los modelos y el Modelo Curricular (MCu) a fin de determinar los alcances de aprendizaje en la modelización de mezcla homogénea.

Con relación a los cuestionarios KPSI (inicial y final) aplicados individualmente, la información obtenida fue analizada para contrastar los saberes previos, las percepciones de los estudiantes y lo que pudieron haber aprendido en

Figura 3.3. **Modelos construidos. Estructura del modelo científico Onepsi planteado por Gutiérrez (2014)**



Fuente: elaboración propia.

relación con el concepto de mezcla homogénea. Esto posibilitó un proceso de autorregulación del aprendizaje.

### *Influencia del aprendizaje colaborativo en la modelización de mezcla homogénea*

Las unidades de análisis fueron aplicadas al diario de campo del investigador, en lo que tiene que ver con la categoría *aprendizaje colaborativo*, a la cual se le atribuyen características propuestas por Zañartu (2003). En este trabajo se abordan cuestiones sobre los estudiantes comprometidos con el aprendizaje colaborativo, que para el presente trabajo se asumen como subcategorías. De la misma manera, las respuestas obtenidas del cuestionario tipo escala Likert se analizaron con relación a las subcategorías del aprendizaje colaborativo, las cuales se presentan en la tabla 3.4.

Tabla 3.4. **Aprendizaje colaborativo. Subcategorías de análisis**

<b>Categoría</b>	<b>Subcategoría</b>	<b>Indicio</b>
Aprendizaje colaborativo	Responsabilidad individual	Asume un rol dentro del equipo de trabajo
	Interdependencia positiva	Cada uno aporta para lograr la meta
	Habilidades colaborativas	Toman decisiones en equipo
	Interacción promotora	Trabajan en equipo en el desarrollo de cada actividad

Fuente: contenido tomado de Zañartu (2003).

Otro aspecto que fue considerado en el proceso de análisis se relaciona con la influencia del aprendizaje colaborativo en la modelización del concepto de mezcla homogénea. Para ello, se analizaron las respuestas obtenidas del cuestionario tipo escala Likert y los diarios de campo de los investigadores a la luz de las subcategorías del aprendizaje colaborativo.

## **Resultados y discusión**

Para una mejor interpretación, el análisis y la discusión de resultados se estructuraron en tres apartados. En el primer apartado se describen las actividades

implementadas en la secuencia didáctica y la sistematización de los datos recolectados en cada una de ellas. Luego se presenta el análisis de los resultados obtenidos en cuanto al progreso del concepto de mezcla homogénea y la relación entre sus componentes. En seguida se muestran los modelos construidos (MEi; modelos escolares de las fases dos y tres; el MCEL, y el MCu), de acuerdo con la estructura del modelo científico Onepsi planteado por Gutiérrez (2014). Estos fueron configurados a partir de la organización de las representaciones de los estudiantes sobre la mezcla homogénea en cada fase de la secuencia, en consonancia con las funciones de los constituyentes ontológicos, epistemológicos y psicológicos del modelo Onepsi.

El MCEL, construido al final de la secuencia, reveló el modelo de mezcla homogénea logrado por los participantes a la luz de los planteamientos de modelización sustentados en este trabajo. Este apartado finaliza con el MCu, el cual describió la meta alcanzada con los estudiantes y posibilitó el diálogo entre los planes de área de las tres instituciones educativas.

En el segundo apartado se compararon los diferentes modelos construidos en cada fase para identificar el progreso del modelo de mezcla homogénea de los participantes. Además, se evaluaron los alcances en términos de aprendizaje teniendo en cuenta el MCu. En el apartado final se determinó la influencia del aprendizaje colaborativo en el proceso de modelización del concepto de mezcla homogénea, a partir de los resultados obtenidos del cuestionario tipo escala Likert y las observaciones recolectadas en el diario de campo de los investigadores. Cabe aclarar que se decidió presentar la información y el análisis de resultados de manera unificada debido a que las características de los datos observados de las tres instituciones educativas tienden a ser similares.

### *Modelos construidos de mezcla homogénea*

En esta sección se analizan los resultados de las actividades de cada fase de la secuencia didáctica, descritos en la figura 3.2 y desarrollados por los participantes de forma grupal. También se presentan los modelos estudiantiles construidos y el modelo curricular de mezcla homogénea y la relación entre sus componentes.

Se comparte a continuación la descripción y el análisis de resultados de las actividades de la secuencia didáctica correspondientes a la fase I y fase IV.

Asimismo, se revelan los modelos construidos (el MEi, el MCEL y el MCu), de acuerdo con la estructura del modelo científico Onepsi planteado por Gutiérrez (2014).

### *Fase de exploración*

En esta fase se implementaron dos actividades con el propósito de identificar las ideas previas de los estudiantes acerca de las características y la clasificación de algunos materiales y sustancias de uso cotidiano. La primera actividad consistió en un juego: “La escalera de acertijos”. La segunda actividad fue la lectura “Así cuenta mi abuelo una historia de un buen café...”. Después de cada actividad los estudiantes resolvieron los cuestionarios 1 y 2. Así, se presenta en la tabla 3.5 el MEi sobre el concepto de mezcla homogénea construido a partir de las respuestas de los estudiantes a los cuestionarios.

Tabla 3.5. Fragmento del Modelo Escolar inicial (MEi)

Constituyentes ontológicos		Constituyentes epistemológicos		Constituyentes psicológicos
		Enunciados legales	Inferencias	Causalidad
<b>Entidades</b>	Propiedades	Relaciones Describir	Inferencias Predecir	Explicar
<b>Mezclas</b>	Existen mezclas homogéneas y heterogéneas. Están formadas por varios componentes	Compuestos de nuestro alrededor	Las sustancias mencionadas en los acertijos son mezclas. Tienen diferentes componentes	Varios componentes mezclados. Combinación de varias sustancias
<b>Mezcla homogénea</b>	Están formadas por varios componentes que no se distinguen a simple vista	Compuestos de nuestro alrededor		Los ingredientes no se pueden identificar a simple vista
<b>Componentes de una mezcla homogénea</b>	Estados de la materia. Componentes de una mezcla heterogénea	Los componentes de las mezclas homogéneas son soluto y solvente	Café se disuelve con el agua la leche y el azúcar a su gusto. Cambian de sólido a líquido (café, azúcar)	Los cambios en el aspecto físico de los ingredientes se deben a que al calentar el agua y al introducir los ingredientes su aspecto cambia

Fuente: adaptado de López y Angulo (2016).

En el juego de la escalera, aunque todos los acertijos tenían que ver con mezclas homogéneas, los grupos muestra de las instituciones B y C clasificaron algunos de ellos como mezclas heterogéneas, como así se observa en las respuestas: “Las características que se presenta en los acertijos son: sólidos, líquidos, mezclas homogéneas y heterogéneas”, “[...] todas son mezclas, hay homogéneas y heterogéneas”. Con base en lo dicho por los estudiantes, se infiere que existe confusión a la hora de clasificar las mezclas debido a los errores conceptuales que se evidencian en los conocimientos previos que, según Alzate (2007), pueden generar conocimientos químicos desarticulados.

Asimismo, en la institución C, los participantes manifiestan que las mezclas: “Son *elementos* que encontramos en nuestra vida cotidiana”, y en la institución A indican: “las mezclas son *compuestos* de nuestro alrededor”. A partir de dichas respuestas se puede evidenciar una confusión en los términos: elemento y compuesto, debido a las dificultades en la clasificación de la materia al no identificar sus diferencias, como lo afirman Caamaño *et al.* (1983).

En la actividad referente a la lectura de “Así cuenta mi abuelo...”, los estudiantes describieron que algunos ingredientes sólidos se disolvieron en el agua, el agua de panela o la leche; en consecuencia, no se pudieron distinguir a simple vista, por lo cual se concluye que la bebida es una mezcla homogénea, como se puede observar en las respuestas de la institución C: “los ingredientes no se pueden diferenciar porque es homogénea” y “Porque es una mezcla homogénea”. A partir de esta situación cotidiana, los estudiantes se acercan al constituyente epistemológico, al reconocer y establecer relaciones entre las respuestas y los conceptos científicos sobre la entidad *mezcla homogénea* (véase la tabla 3.5). De la misma manera, las respuestas de la institución A explican con claridad el proceso de disolución, lo cual revela un avance en la configuración del constituyente psicológico: “el café se disuelve con el agua” y “el café antes era en grano y al disolverlo con agua su aspecto es líquido y el de los demás ingredientes también”.

Es importante anotar que los estudiantes identificaron las proporciones variables de los ingredientes en el café, pues describieron cambios en su aspecto, sabor, olor y color, a partir de sus conocimientos previos. Sin embargo, no se hallaron descripciones de la entidad como componentes de una mezcla homogénea, debido posiblemente a vacíos conceptuales que se relacionan con esta entidad, lo que muestra que están alejados del constituyente epistemológico como se puede observar en el MEi (véase la tabla 3.5).

### Fase de aplicación

Las actividades de la fase final de la secuencia se encaminaron a la aplicación de los conocimientos construidos sobre el concepto de mezcla homogénea y la relación entre sus componentes, en situaciones prácticas y propias de su contexto. En la primera actividad se preparó una solución de sulfato de cobre, en la que los participantes describieron las características de una mezcla homogénea y su clasificación (insaturadas, saturadas y sobresaturadas). En la última actividad de esta fase, los participantes completaron una ficha de trabajo relacionada con una mezcla homogénea de la vida cotidiana. En dicho ejercicio los estudiantes identificaron relaciones entre las características y las proporciones de los componentes de la mezcla. Finalmente, se presentó el MCEL elaborado a partir de los resultados obtenidos en la fase de aplicación (véase la tabla 3.6).

En la experiencia de laboratorio, se evidenció que los términos *disolución* y *mezcla homogénea* fueron utilizados de forma coherente al expresar que en

Tabla 3.6. Fragmento del Modelo Científico Escolar Logrado (MCEL)

Constituyentes ontológicos		Constituyentes epistemológicos		Constituyentes psicológicos
		Enunciados legales		Causalidad
Entidades	Propiedades	Relaciones	Inferencias	
		Describir	Predecir	Explicar
<b>Mezcla homogénea</b>	Están formadas por varios componentes que no se distinguen a simple vista. Están presentes en la vida cotidiana	Las mezclas asignadas son homogéneas		
<b>Componentes de una mezcla homogénea</b>	Clasificación de las mezclas homogéneas, teniendo en cuenta la variación de sus componentes	Identifican el soluto y el solvente en las mezclas asignadas: el chocolate es el soluto y el agua es el solvente		Cuando se hacen cambios, sea en el soluto o en el solvente, encontramos que se generan cambios dentro de la mezcla y gracias a esto resultan distintos colores y sabores

Fuente: adaptado de López y Angulo (2016).

la solución saturada “todo el polvo se disolvió en el agua, color medio oscuro, es homogénea” (institución B). Además, establecen relaciones entre el soluto y solvente en términos de sus características y proporciones, como se puede identificar en la respuesta a la pregunta uno (¿cuál es la solución de mayor concentración?). Al respecto, la institución A responde: “Pertenece a la sobresaturada y por eso obtiene el color más oscuro”, y la institución B afirma que “La sobresaturada ya que el agua (100 ml) no puede disolver más de 20,7 g del sulfato de cobre”. En estas respuestas se evidenció la relación entre mezcla homogénea y disolución. De igual forma, la clasificación realizada de las disoluciones en insaturada, saturada y sobresaturada, según la cantidad de soluto que el solvente puede disolver. Desde este punto de vista se puede observar que los participantes asociaron las características de las soluciones con las proporciones de sus componentes y el valor de la solubilidad. Así, se estructuró el constituyente psicológico desde el constituyente epistemológico.

Al mismo tiempo, el modelo de mezcla homogénea construido por los estudiantes es más concreto; esto demuestra lo aprendido por medio de explicaciones fluidas y claras, como se puede ver en las siguientes expresiones: “La solución es insaturada porque el solvente disuelve completamente el soluto, es más clara, tiene menos cristales y se disuelven más fácil. Es una mezcla homogénea”. Por otro lado, expresan que “La solución es insaturada porque la cantidad de soluto es baja con respecto al solvente”. Por lo tanto, en lo relacionado con el componente psicológico, se evidencia una apropiación del lenguaje relacionado con el concepto de mezcla homogénea.

En la actividad final de esta fase, los participantes lograron identificar el soluto y el solvente, como se puede evidenciar en los siguientes testimonios: “El chocolate es el soluto y el agua es el solvente”, “La sal, el azúcar y el bicarbonato son solutos, el agua y el jugo de limón hacen parte del solvente”. De la misma manera, describen las características de la solución a partir de los cambios en las cantidades o “proporciones” de soluto o solvente, como se muestra en la respuesta siguiente: “Cuando se hacen cambios sea en el soluto o el solvente, encontramos que se generan cambios dentro de la mezcla”.

Finalmente, y con base en el constituyente psicológico, se apreciaron explicaciones de los estudiantes coherentes con el discurso científico sobre el proceso de disolución del soluto en el solvente en una mezcla homogénea, como

se puede evidenciar en esta respuesta: “La solución 1 es insaturada porque el solvente disuelve completamente el soluto”. Allí puede verse una apropiación del concepto de mezcla homogénea y la relación entre sus componentes, lo cual otorga relevancia a las soluciones en la vida cotidiana (véase la tabla 3.6).

Al finalizar la secuencia didáctica, se aplicó nuevamente un cuestionario KPSI orientado a observar el progreso de los estudiantes en cuanto a la modelización del concepto de mezcla homogénea en la vida cotidiana y la relación entre sus componentes. Los resultados obtenidos permitieron hacer seguimiento al proceso desarrollado, lo que permitió contrastar y analizar el KPSI inicial con el final (véase la gráfica 3.1).

En el KPSI final, los estudiantes manifestaron tener la capacidad de identificar los componentes de las mezclas homogéneas, ya que tenían en cuenta sus características y proporciones. Además, opinaron poder explicarle a un compañero; así, estas consideraciones revelan posibles indicios del avance en cuanto a la construcción de un modelo de mezcla homogénea y la relación entre sus componentes. Estos hallazgos son el resultado de la intervención didáctica basada en el ciclo de aprendizaje de Jorba y Sanmartí (1996), en la cual el diseño de las actividades relacionadas con situaciones cotidianas permitió el acercamiento al conocimiento científico a partir del conocimiento diario. Esto proporcionó un cambio en las concepciones negativas de los participantes sobre la química.

### *Modelo Curricular (MCu)*

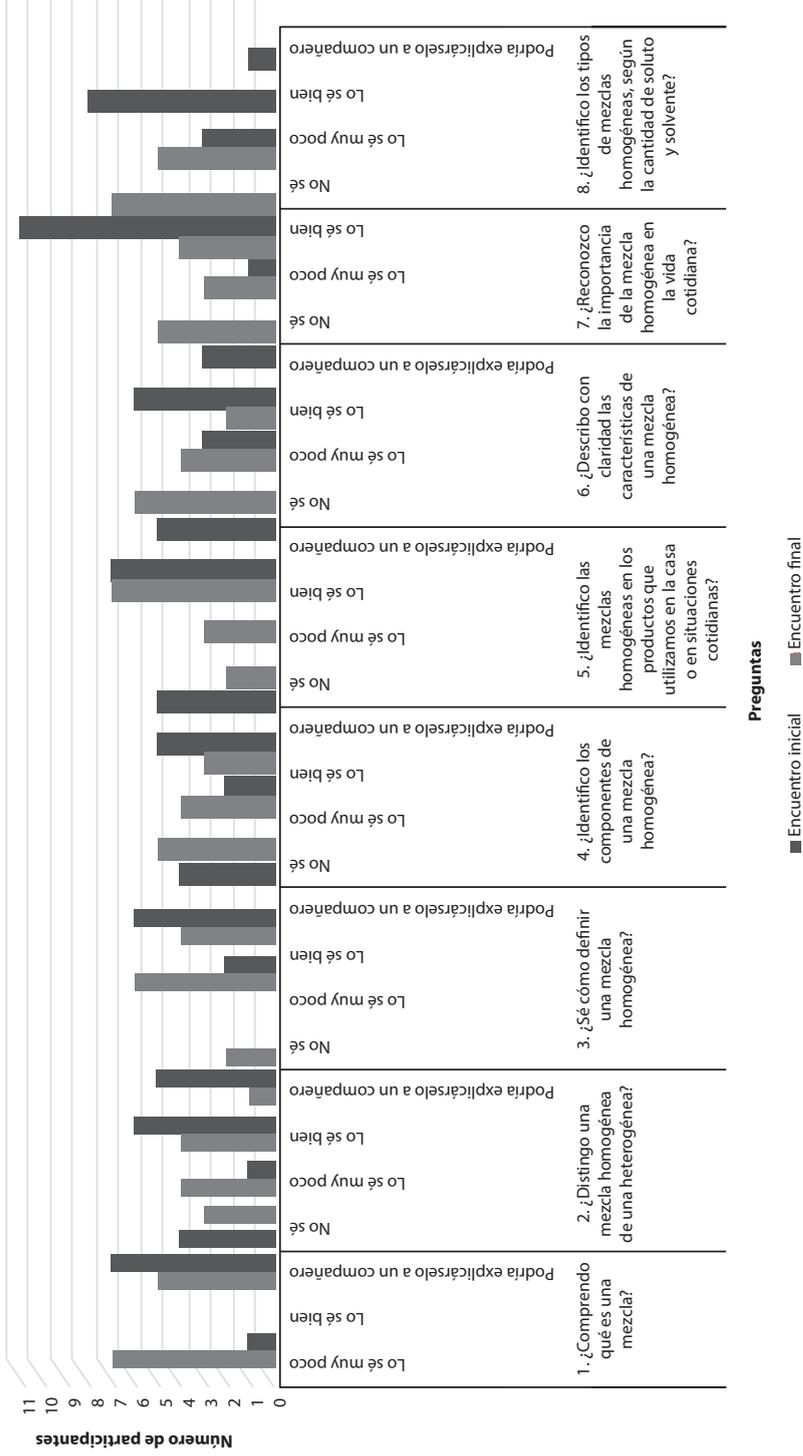
Este se construyó partiendo de los constituyentes ontológico, epistemológico y psicológico, con respecto al tema mezclas homogéneas (véase la tabla 3.7). Se tomaron como referentes los planes de áreas de ciencias naturales de décimo grado de las tres instituciones participantes para analizar la estructuración del tema dentro del currículo.

### *Transformaciones de los modelos estudiantiles sobre una mezcla homogénea*

Con el propósito de mostrar el progreso de los modelos estudiantiles a lo largo de la secuencia didáctica, se organizaron las representaciones más relevantes de los estudiantes de acuerdo con las funciones de cada constituyente en

Gráfica 3.1. Contraste de resultados KPSI aplicado al iniciar y al finalizar la secuencia didáctica

**Cuestionario KPSI: ¿qué tanto sabes sobre mezclas?**



Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.7. Fragmento del Modelo Curricular (MCu)

Constituyentes ontológicos		Constituyentes epistemológicos		Constituyentes psicológicos
Enunciados legales				(Causalidad)
Entidades	Propiedades	Relaciones Observar	Inferencias Predecir	Explicar
<b>Mezclas</b>	Se distinguen dos grandes grupos: homogéneas y heterogéneas	El estado de agregación y las propiedades organolépticas permiten clasificar las mezclas	Las mezclas están formadas por varias sustancias que conservan sus propiedades	Las mezclas son una porción de la materia que se diferencia a partir de sus propiedades
<b>Mezclas homogéneas/ disoluciones</b>	Sistema homogéneo formado por varias sustancias en proporciones variables, que se pueden separar por métodos físicos	La mezcla homogénea está formada por soluto y solvente en proporciones variables	En una mezcla homogénea los componentes no se podrían ver a simple vista	Las mezclas homogéneas son un tipo de mezclas también llamadas disoluciones, conformadas por varias sustancias en proporciones variables
<b>Componentes de una mezcla homogénea</b>	Sustancias que constituyen una mezcla homogénea: soluto y solvente. Las proporciones pueden variar entre el soluto y el solvente	El soluto y el solvente son los componentes de una mezcla homogénea. El soluto se disuelve en el solvente	Las características de la mezcla podrían cambiar, si varían las proporciones del soluto y el solvente	La variación de la proporción entre el soluto y solvente modifica las características de la disolución

Fuente: adaptado de López y Angulo (2016).

relación con la entidad y sus respectivas propiedades. De esta manera se estructuró el constituyente ontológico a partir del cual se configuraron los constituyentes epistemológico y psicológico, como se muestra en la tabla 3.8.

Como se puede observar en el constituyente ontológico, algunas propiedades de cada entidad se compartieron entre varias fases, lo que muestra una conexión entre las fases de la secuencia y una coherencia en relación con la adquisición de los nuevos conocimientos referidos a la mezcla homogénea.

En este orden de ideas, los participantes utilizaron en sus descripciones un lenguaje fluido y cercano a lo planteado en el modelo curricular, para abrirse

Tabla 3.8. Fragmento de las transformaciones de los modelos estudiantiles sobre una mezcla homogénea

		Constituyente ontológico		Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
		Entidad					
Epistemológico	Relaciones	Describir	Mezcla homogénea	Están formadas por varios componentes que no se distinguen a simple vista	Están formadas por varios componentes que no se distinguen a simple vista. Están presentes en la vida cotidiana		Están formadas por varios componentes que no se distinguen a simple vista
			Propiedad				
Epistemológico	Inferencias	Predecir	Componentes de una mezcla homogénea	“Las propiedades organolépticas de la mezcla cambiarían dependiendo de la cantidad de sus componentes”	“Las propiedades organolépticas de la mezcla cambiarían dependiendo de la cantidad de sus componentes”	“Las propiedades organolépticas de la mezcla cambiarían dependiendo de la cantidad de sus componentes”	
			Propiedad				
Psicológico	Inferencias	Explicar	Componentes de una mezcla homogénea	“Los cambios en el aspecto físico de los ingredientes se deben a que están mezclados, están disueltos”	“Los componentes se disuelven totalmente”	“Según la cantidad de soluto diluido en el disolvente, sus propiedades serían: insaturada, saturada y sobresaturada”	“Cuando se hacen cambios en las cantidades del soluto o del solvente, se generan cambios en la mezcla”
			Propiedad				

Fuente: elaboración propia.

paso a un modelo mental de mezcla y evidenciado en el constituyente epistemológico. Cabe agregar que en la fase cuatro la ausencia de descripciones en la entidad *mezcla* se debió, posiblemente, a que en el desarrollo de las fases dos y

tres los participantes alcanzaron la comprensión de la entidad. Esto dio lugar a la estructuración de las entidades mezcla homogénea y componentes de esa mezcla, lo cual reveló un avance en la modelización de la mezcla homogénea.

Por otro lado, la ausencia de predicciones con relación a las entidades mezcla y mezcla homogénea indicó la poca comprensión de lo abstracto de estos conceptos. En consecuencia, las predicciones que realizaron los participantes a lo largo de la secuencia sobre la entidad *componentes de una mezcla homogénea* obedecieron a que dicho aspecto se relaciona con objetos concretos a nivel macroscópico, próximos a su realidad. De esta manera establecieron relaciones de causalidad y dieron lugar a explicaciones coherentes y explícitas que reflejaron el modelo mental de mezcla homogénea y la relación con sus componentes. Esto brindó relevancia a su realidad como consecuencia de la asociación entre la teoría y la práctica en la construcción de un modelo más acorde con el modelo curricular, una dinámica que permitió un aprendizaje autorregulado.

En concordancia con Marchán y Sanmartí (2015), las secuencias didácticas contextualizadas se convierten en una herramienta para modelizar un fenómeno científico que promueve un aprendizaje significativo, a través del trabajo grupal y la autorregulación, asunto que es patente en las explicaciones e inferencias que el estudiante realiza sobre el fenómeno cotidiano. Con relación a lo anterior, se identificó un avance en el modelo de mezcla homogénea evidente en la configuración de las funciones del constituyente psicológico, a partir del constituyente ontológico y epistemológico, reflejado en las representaciones de los participantes, los cuales reconocen tanto las mezclas no homogéneas como las homogéneas en su vida cotidiana.

### *La influencia del aprendizaje colaborativo en la modelización de una mezcla homogénea*

Para este análisis se tuvieron en cuenta las subcategorías relacionadas con aprendizaje colaborativo (véase la tabla 3.4) encontradas en la información obtenida del cuestionario Likert y de los diarios de campo de los investigadores. Vale la pena aclarar que las respuestas del cuestionario tipo escala Likert se analizaron de manera descriptiva, mientras que la información de los diarios de campo se analizó mediante la técnica de análisis de contenido, sustentada en la metodología.

En la tabla 3.9 se muestran las respuestas tabuladas del cuestionario tipo escala Likert aplicado al final de la secuencia didáctica.

Tabla 3.9. Resultados del cuestionario tipo escala Likert

Cuestionario tipo escala Likert		Muy de acuerdo	De acuerdo	In-diferente	En desacuerdo
Subcategoría 1: Responsabilidad individual	1. Asumes responsabilidades en el equipo de trabajo	4	6	1	1
	2. Tu nivel de compromiso en el desempeño de las actividades es bueno	7	4		1
Subcategoría 2: Interdependencia positiva	1. Tienes en cuenta la opinión de tus compañeros antes de tomar una decisión	8	4		
	2. Mis contribuciones son tenidas en cuenta	4	8		
Subcategoría 3: Habilidades colaborativas	1. Utilizaron estrategias como el trabajo en equipo para el desarrollo de las actividades	8	4		
	2. Llegaron a acuerdos para realizar las actividades	4	7	1	
Subcategoría 4: Interacción promotora	1. Trabajaron en equipo a la hora de desarrollar las actividades	6	5	1	
	2. Mejoraron el nivel de comprensión en los conceptos trabajados gracias al trabajo en equipo	7	5		

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la influencia del aprendizaje colaborativo en el proceso de modelización del concepto de mezcla homogénea, los participantes asumieron compromisos y fueron consecuentes con sus roles y habilidades para el desarrollo

de las actividades. De este modo fortalecieron la confianza en el otro a partir de su desempeño individual dentro del grupo, circunstancia que permitió develar aspectos colaborativos en el proceso de la construcción del modelo mental de una mezcla homogénea.

Por otro lado, se presenta en la tabla 3.10 los fragmentos más relevantes encontrados a lo largo de la implementación de la secuencia didáctica relativos a

Tabla 3.10. **Diario de campo. Fragmentos relacionados con el aprendizaje colaborativo**

Subcategoría	Indicios	I. E. Ana Gómez de Sierra (A)	I. E. Félix María Restrepo L. (B)	I. E. Santa Bárbara (C)
Responsabilidad individual	Asumes un rol dentro del equipo de trabajo	“Uno de los participantes asumió el rol de líder para la toma de decisiones y en la estructura final de las respuestas”	“Durante las actividades, los integrantes del grupo asumen diferentes responsabilidades”	“En cada grupo seleccionaron un integrante para registrar las preguntas”
Interdependencia positiva	Cada uno aporta para lograr la meta	“Cuando van a tomar nota buscan el respaldo en los demás integrantes del equipo”	“Cada estudiante opinó sobre las posibles respuestas construyendo la más acertada”	“Al pasar por los grupos se nota cómo los jugadores les dan pistas a los otros para poder resolver acertijos”
Habilidades colaborativas	Toma decisiones en equipo	“Antes de escribir sus respuestas, llegan a acuerdos” “Antes de escribir las respuestas las confrontan con los demás integrantes del equipo”	“Los estudiantes resolvieron las preguntas discutiendo las respuestas y colocando la más acertada”	“Intercambian opiniones y crean acuerdos para llegar a una respuesta concreta”
Interacción promotora	Trabajan en equipo en el desarrollo de cada actividad	“Conversan y se ponen de acuerdo para iniciar el juego” “Se ayudan entre ellos para entender la definición y clasificación de mezcla homogénea”	“En la mayoría de las actividades cada estudiante aprovechó sus habilidades, tales como: la buena escritura, la creatividad, el manejo de la información”	“Los estudiantes aportan, discuten y deciden cuál es la mejor respuesta para resolver el cuestionario”

Fuente: elaboración propia.

las subcategorías del aprendizaje colaborativo. Estos extractos fueron tomados del diario de campo de cada investigador.

En general, los estudiantes mostraron interés por ser tenidos en cuenta; expresaron sus ideas con naturalidad para alcanzar la meta propuesta en las actividades; además, se apoyaron mutuamente al respetar el papel que cada uno desempeña en el grupo. Esto fortaleció la autoestima, la autonomía y el reconocimiento del otro como sujeto importante en el grupo. Estas interacciones colaborativas propiciaron la construcción colectiva del modelo de mezcla homogénea; así, los integrantes trabajaron en grupo para resolver conflictos y tomar decisiones que favorecieron un trabajo efectivo y consensuado. En últimas, se establecieron estrategias a través del diálogo para superar las dificultades en la toma de decisiones e incentivar la participación de los integrantes.

## Conclusiones

Este proyecto de investigación, en correspondencia con los propósitos planteados y los resultados obtenidos sobre la apropiación del concepto de mezcla homogénea y la relación entre sus componentes, permitió concluir que a lo largo del desarrollo de las fases de la secuencia aplicada los participantes se familiarizaron con el conocimiento químico. Asimismo, progresaron en la comprensión y la modelización de una mezcla homogénea en un ambiente de aprendizaje colaborativo. Los estudiantes mostraron también una actitud abierta y positiva al expresar que las actividades fueron diferentes, dinámicas y con ejemplos cotidianos; una forma de crear espacios para compartir y mejorar las habilidades del trabajo en equipo.

A medida que se iba avanzando en la secuencia didáctica, en los modelos escolares de las fases, las descripciones con respecto a la entidad *mezcla homogénea* y sus componentes fueron aumentando debido a los conocimientos adquiridos. A su vez, en la entidad *componentes de una mezcla homogénea*, las predicciones y explicaciones dieron cuenta de la comprensión y la apropiación del concepto y su relevancia en la vida cotidiana como objeto concreto de aprendizaje a nivel macroscópico. De igual manera, en la estructuración del MCEL se identifica el uso del lenguaje explícito y propio de la química, que se acerca al MCU y que da cuenta de la transformación del modelo inicial, y por lo

tanto, del progreso de la modelización de una mezcla homogénea y la relación entre sus componentes.

El modelo Onepsi fue una herramienta pertinente que facilitó la categorización de las representaciones realizadas por los estudiantes, de acuerdo con las funciones de los constituyentes (ontológicos, epistemológicos y psicológicos). Esto brindó la posibilidad de identificar la transformación del modelo mental a largo de la secuencia y la apropiación de dicho concepto, al igual que el progreso de la modelización de una mezcla homogénea.

En el proceso de modelización de una mezcla homogénea y la relación entre sus componentes se vio reflejada la comprensión y la apropiación del concepto por parte de los participantes, gracias al aprendizaje colaborativo. En este asumieron roles acordes con sus habilidades individuales y se comprometieron con sus responsabilidades para alcanzar las metas propuestas. Por consiguiente, se fortaleció la autonomía, la autoestima, las relaciones interpersonales, la disciplina en el trabajo escolar y la convivencia pacífica.

## Referencias

- Aldana, J. (2011). *Estrategia de aula para generar el aprendizaje significativo del concepto de mol y desarrollar habilidades de pensamiento para la solución de problemas en química* [tesis doctoral, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá]. <http://www.bdigital.unal.edu.co/4952/>
- Álvarez, C. y San Fabián, J. (2012). La elección del estudio de casos en investigación educativa. *Gazeta de Antropología*, 28(1), artículo 14. [https://www.ugr.es/~pwlac/G28\\_14Carmen\\_Alvarez-JoseLuis\\_SanFabian.html](https://www.ugr.es/~pwlac/G28_14Carmen_Alvarez-JoseLuis_SanFabian.html)
- Alzate, M. (2007). *Campo conceptual composición/estructura en Química. Tendencias cognitivas: etapas y ayudas cognitivas* [tesis doctoral, Universidad de Burgos, Brasil]. <http://hdl.handle.net/10259/75>
- Bardin, L. (2002). *El análisis de contenido*. Akal.
- Caamaño, A., Mayós, C., Maestre, G. y Ventura, T. (1983). Consideración sobre algunos errores conceptuales en el aprendizaje de la Química en el Bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias*, 1(3), 198-200.
- Caamaño, A. y Oñorbe, A. (2004). La enseñanza de la química. Conceptos y teorías, dificultades de aprendizaje y replanteamientos curriculares. *Alambique*, 41, 68-81.

- Constitución Política de Colombia. (3 de noviembre de 2023). *Diario Oficial* 52.550. <http://www.secretariassenado.gov.co/constitucion-politica>
- Galagovsky, L., Rodríguez, M., Stamati, N. y Morales, L. (2003). Representaciones mentales, lenguajes y códigos en la enseñanza de ciencias naturales. Un ejemplo para el aprendizaje de concepto de “reacción química” a partir del concepto de “mezcla”. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 21(1), 107-121.
- Gimeno, J. (1991). *El currículo. Una reflexión sobre la práctica*. Morata.
- Gutiérrez, R. (2014). Lo que los profesores de ciencia conocen y necesitan conocer acerca de los modelos. Aproximaciones y alternativas. *Biografía. Escritos sobre la Biología y su Enseñanza*, 7(13), 37-67. <http://dx.doi.org/10.17227/20271034.vol.7num.13biografia37.66>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.
- Jorba, J., y Sanmartí, N. (1993). La función pedagógica de la evaluación. *Aula de Innovación Educativa*, 20, 20-30.
- Jorba, J. y Sanmartí, N. (1996). *Enseñar, aprender y evaluar. Un proceso de regulación continua. Propuesta didáctica para las áreas de Ciencias de la Naturaleza y Matemáticas*. Ministerio de Educación y Cultura.
- Krippendorff, K. (1997). *Metodología de análisis de contenido. Teoría y práctica*. Paidós.
- Landau, L., Ricchi, G. y Torres, N. (2014). Disoluciones. ¿Contribuye la experimentación a un aprendizaje significativo? *Educación química*, 25(1), 21-29.
- Latorre, A., Rincón, D. y Arnal, J. (1997). *Bases metodológicas de la investigación educativa*. Hurtado Ediciones.
- Ley 115 de 1994 (8 de febrero). Por la cual se expide la Ley General de Educación. *Diario Oficial* 41.214.
- López, A. y Angulo, F. (2016). Representaciones estudiantiles sobre nutrición humana como modelo estudiantil inicial para referencia didáctica. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 12(2), 83-108.
- López, A. y Moreno, G. (2014). Sustentación teórica y descripción metodológica del proceso de obtención de criterios de diseño y validación para secuencias didácticas basadas en modelos: El caso del fenómeno de la fermentación. *Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su Enseñanza*, 7(13), 108-126.

- Marchán Carvajal, I. y Sanmartí, N. (2015). Criterios para el diseño de unidades didácticas contextualizadas. Aplicación al aprendizaje de un modelo teórico para la estructura atómica. *Educación química*, 26(4), 267-274.
- Ministerio de Educación Nacional (MEN). (1998). *Lineamientos curriculares en ciencias naturales y educación ambiental*. [http://www.mineducacion.gov.co/1621/articulos-339975\\_recurso\\_5.pdf](http://www.mineducacion.gov.co/1621/articulos-339975_recurso_5.pdf)
- Pozo, J. y Gómez, M. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Morata.
- Pujol, R. M. (2003). *Didáctica de las ciencias en la educación primaria*. Síntesis.
- Ríos, M. y Ruedas, M. (2009). El trabajo de campo: una estrategia para captar la complejidad de la realidad dirigida a futuros docentes en ciencias naturales. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, (Extra), 420-424. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/293490>
- Sandín, M. P. (2003). *Investigación cualitativa en educación. Fundamentos y tradiciones*. McGraw-Hill.
- Stake, R. (2007). *Investigación con estudio de casos*. Morata.
- Tovar, C., Collazos, C. y Ortiz, A. (2013). Enseñanza de la química basada en la formación por etapas de acciones mentales (caso enseñanza del concepto de Valencia). *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, (38), 143-157.
- Vasilachis de Gialdino, I. (1992). *Métodos cualitativos I. Los problemas teórico-metodológicos*. Centro Editor de América Latina.
- Villardón, J. (2004). *Introducción a la inferencia estadística. Muestreo y estimación puntual y por intervalos*. Departamento de Estadística, Universidad de Salamanca.
- Zañartu, L. (2003). Aprendizaje colaborativo. Una nueva forma de diálogo interpersonal y en red. *Contexto Educativo. Revista Digital de Educación y Nuevas Tecnologías*, (28). [http://www.deciencias.net/convivir/1.documentacion/D.cooperativo/AColaborativo\\_TIC\\_ACooperativo9p.pdf](http://www.deciencias.net/convivir/1.documentacion/D.cooperativo/AColaborativo_TIC_ACooperativo9p.pdf)

## Capítulo 4. Trabajos prácticos en el aprendizaje de los fenómenos ondulatorios\*

Dora Magaly García Ibarra

La física es una de las áreas de conocimiento que a los estudiantes poco les motiva en la práctica y en la literatura, debido a que muchas veces no la comprenden. Por tal razón, el presente capítulo tiene como objetivo analizar la contribución de los trabajos prácticos al aprendizaje de los fenómenos ondulatorios en estudiantes de educación secundaria. Se planteó un método de investigación de tipo cualitativo, con un diseño de estudio de caso y en el que se usaron algunas herramientas de recolección de la información, por ejemplo: el cuestionario, la observación participante y las guías de laboratorio. Para el análisis surgieron categorías del contenido de los textos por medio del uso del programa ATLAS.ti (versión 7.0). Los resultados evidencian que los estudiantes mejoraron su desempeño en la ejecución de los trabajos prácticos de campo y de laboratorio; además, reconocieron el lugar, el funcionamiento y la formación de las ondas como perturbaciones que transmiten energía de un lugar a otro. De igual modo, los estudiantes propusieron sus propios procedimientos, formularon hipótesis y establecieron las conclusiones en el desarrollo de las actividades experimentales para la construcción del conocimiento científico escolar en física.

### Introducción

Los docentes deben estar a la vanguardia de las nuevas generaciones, de los nuevos contextos, métodos de enseñanza y de las diferentes formas de aprendizaje.

\* Para citar este capítulo: <http://doi.org/10.51573/Andes.9789587985061.9789587985078.4>

Es por eso que el aprendizaje de la física resulta importante para poder entender por qué y cómo suceden los fenómenos del universo, así como la interacción que existe entre la materia y la energía. En ese sentido, es necesario buscar los medios para que el estudiante comprenda y aplique adecuadamente los conceptos en su entorno. Además, el docente debe tener en cuenta que los estudiantes llegan a las clases de ciencias naturales con muchas concepciones previas que, a veces, pueden ser resistentes a las instrucciones tradicionales, lo cual sugiere el uso de diferentes técnicas de enseñanza que se orienten con base en las concepciones científicas (Mayer, 2010).

Por su parte, la enseñanza de la física, en algunos aspectos, se ha llevado a cabo de manera tradicional, sujeta principalmente al contenido conceptual, ya que la física tiene como principales características que su enseñanza y aprendizaje están orientados hacia el conocimiento y no hacia el proceso de aprendizaje (Elizondo, 2013). Es decir, la física ha sido enseñada desde los contenidos de aprendizaje y no desde el desarrollo de competencias y habilidades científicas; de ahí la apatía de los estudiantes hacia la física, ya que la ven como una asignatura difícil y poco entendible que no representa importancia y aplicabilidad en la vida cotidiana.

Es por ello que los trabajos prácticos resultan ser una herramienta significativa, ya que implican que el profesor tome decisiones en cuanto a la naturaleza de estos y sobre el papel que deben desempeñar los estudiantes en las actividades para poner en práctica los procedimientos. Así, se construye conocimiento y se comprueba lo aprendido (Correa, 2012). Los trabajos prácticos de laboratorio dirigen excesivamente la actuación del estudiante para lograr los resultados esperados en el menor tiempo posible. De este modo, los trabajos prácticos presentan el potencial no solo de ayudar a confirmar y elaborar conocimiento teórico en un contexto significativo, sino que facilitan el aprendizaje de procedimientos científicos (Sierra *et al.*, 2009).

De los diferentes temas que resultan fundamentales indagar durante la formación de un profesor en ciencias naturales, se seleccionó el que concierne a las ondas. El estudio de las ondas permite explicar muchos procesos naturales, como la luz, el sonido, las olas o los terremotos. Asimismo, comprender el fenómeno ondulatorio ayuda a entender numerosas aplicaciones técnicas y sociales como, por ejemplo, las comunicaciones, la radio, la televisión, los radares, o las

múltiples tecnologías de uso en la medicina como las radiografías, las ecografías, entre otros. El estudio de las ondas, entonces, resulta de vital importancia para la comprensión de fenómenos físicos que van desde el campo de la óptica hasta la mecánica cuántica.

La investigación fue desarrollada con estudiantes entre los 12 y los 14 años, una etapa cognoscitiva que denota, según Piaget (1977), el paso de las “operaciones concretas a formales”. En esta, el adolescente logra la abstracción sobre conocimientos concretos observados que le permiten emplear el razonamiento lógico inductivo y deductivo. Además, desarrolla sentimientos idealistas y se logra una formación continua de la personalidad, por lo tanto, hay un mayor desarrollo de los conceptos morales.

En relación con los estándares básicos de competencias en ciencias naturales de nuestro país (Ministerio de Educación Nacional, MEN, 2004), para octavo y noveno grados, las competencias que se propusieron desarrollar junto con los estudiantes en este nivel educativo fueron las siguientes: “Establezco relaciones entre frecuencia, amplitud, velocidad de propagación y longitud de onda en diversos tipos de ondas mecánicas”, y “Explico el principio de conservación de la energía en ondas que cambian de medio de propagación” (p. 21). Los anteriores lineamientos fueron tenidos en cuenta en el diseño, la ejecución y la evaluación de los trabajos prácticos.

En ese orden de ideas, la presente investigación tuvo como objetivo principal analizar la contribución de los trabajos prácticos en el aprendizaje de los fenómenos ondulatorios en educación secundaria. Así, se parte de una problemática que gira en torno a la desmotivación de los estudiantes por aprender física, la escasez de trabajos prácticos de campo y de laboratorio en las clases de ciencias y la falta de comprensión de los fenómenos naturales a partir de experiencias de la vida cotidiana.

Por otro lado, la teoría del aprendizaje significativo de Ausubel (1976) propone indagar cuáles son las ideas previas sobre las ondas, su naturaleza y aplicación, lo que nos permite determinar los conceptos inclusores que, en principio, tendrían los estudiantes y los organizadores. Estos se pueden utilizar como punto de partida para un aprendizaje significativo del fenómeno ondulatorio. A su vez, indagar cuáles de estas ideas previas constituyen concepciones alternativas representa un comienzo fundamental para poder contrastar y, eventualmente,

redescribir dichas concepciones en formatos acordes con el conocimiento científico actual.

Los trabajos prácticos son considerados actividades de la enseñanza de las ciencias en las que los estudiantes han de utilizar ciertos procedimientos para resolverlas (del Carmen, 2000, citado en Correa, 2012). De igual manera, son actividades realizadas por los estudiantes bajo la supervisión o guía del docente, que permiten establecer relaciones de complementariedad con la teoría, el ambiente cotidiano y el trabajo de las ciencias, sin ser muy relevante el lugar en donde se realicen dichas prácticas (Barberá y Valdés, 1996).

Es importante mencionar que los trabajos prácticos han tomado una iniciativa como línea de investigación y se han desarrollado diversas investigaciones con buenos resultados. Los comienzos sobre el uso de los trabajos prácticos se remontan, de acuerdo con Barberá y Valdés (1996), a trescientos años aproximadamente, tiempo en el que John Locke se refirió a la necesidad de que los estudiantes realizaran “trabajos prácticos”. A finales del siglo XIX estos ya habían sido incluidos como parte integral del currículo de Inglaterra y Estados Unidos. Sin embargo, como menciona Correa (2012), hasta principios del siglo XX, las prácticas fueron entendidas como un apoyo al proceso de enseñanza de las ciencias, y eran utilizadas para confirmar la teoría que era impartida por el docente, lo que descartaba la participación del alumno en dichos trabajos.

Del Carmen (2000) y Barberá y Valdés (1996) proponen unas características del trabajo práctico que incluyen, primero, el hecho de que sean actividades realizadas por los alumnos, aunque con un grado variable de participación en su diseño y ejecución; segundo, implican el uso de procedimientos científicos de diferentes características (observación, formulación de hipótesis, realización de experimentos, técnicas manipulativas, elaboración de conclusiones, entre otros); tercero, requieren del uso de un material específico, y cuarto, encaran ciertos riesgos debido a la manipulación de instrumentos. En ese sentido, los trabajos prácticos se definen como un conjunto de actividades de manipulación-intelecto con una interacción profesor-alumno-material (Rodrigo *et al.*, 1999).

Las ondas mecánicas son un medio de transferencia de energía al facilitar que una perturbación se propague a través del aire u otro medio. Algunos ejemplos de las ondas mecánicas son las sísmicas y las oceánicas. Por otro lado, la

radiación electromagnética se refiere a las ondas de la luz, el microondas y las de radio. Los ejemplos de este método de transferencia incluyen cocinar una papa en horno de microondas, o la energía luminosa que viaja del Sol hacia la Tierra a través del espacio (Serway y Jewett, 2009).

## Metodología

El presente estudio corresponde a una investigación de estudio de caso, la cual tuvo como finalidad entender un fenómeno de la vida real en profundidad para abarcar dicha comprensión en condiciones contextuales importantes (Yin y Davis, 2007). La investigación de estudio de caso se desarrolló en situaciones distintas, como fue el caso particular de la I. E. San Lorenzo de Suaza, en el cual se presentaron muchas variables que resultaron ser puntos de interés o de información para decidir sobre los elementos por recolectar. Entre estos se cuentan los presaberes, los intereses, los hallazgos y las percepciones respecto a los trabajos prácticos en el aprendizaje de los fenómenos ondulatorios (véase la figura 4.1).

En ese sentido, la investigación fue desarrollada con treinta estudiantes de noveno grado de la Institución Educativa San Lorenzo, del municipio de Suaza, ubicada en el sur del departamento del Huila. Los estudiantes tenían edades entre los 12 y los 14 años. La actividad económica de sus familias era principalmente la agricultura con cultivos de café y tomate, además de prácticas de tipo comercial con la venta y promoción de productos de uso doméstico.

El enfoque de la investigación fue de tipo cualitativo, el cual tiene la ventaja de desarrollar preguntas e hipótesis antes, durante o después de la recolección y el análisis de los datos (Hernández *et al.*, 2010). Lo anterior se reflejó en la investigación, que pretendía reconocer las contribuciones que tienen los trabajos prácticos en el aprendizaje de la física en estudiantes de noveno grado. Por lo anterior, se utilizó el programa ATLAS.ti (versión 7.0) para realizar un análisis de contenido en el que se examinaron las manifestaciones orales y escritas de los estudiantes en el cuestionario, la observación participante y el informe de laboratorio, elementos que sirvieron como técnica de recolección de la información.

Las fases de desarrollo de la investigación fueron las siguientes:

Figura 4.1. **Proceso de investigación acción**

Fuente: elaboración propia.

- Fase 1. Trabajo preliminar: se realizó un reconocimiento del plantel educativo y se revisaron las características metodológicas e instrumentales con las que contaba la institución para la enseñanza de la física.
- Fase 2. Diseño, validación y corrección del cuestionario: se diseñó un cuestionario con diez preguntas abiertas en el que los estudiantes lograron expresar libremente sus ideas; posteriormente, se realizó la validación del instrumento a través de tres profesores expertos que propusieron sus respectivas sugerencias, y finalmente, se realizaron las correcciones al modelo para luego ser aplicado como pretest y postest. El cuestionario permitió indagar las ideas previas y los avances en el aprendizaje de los estudiantes con respecto a los fenómenos ondulatorios.
- Fase 3. Aplicación del pretest: se usó el cuestionario inicial para conocer las concepciones previas de los estudiantes con respecto a los fenómenos ondulatorios.

- Fase 4. Diseño y aplicación del trabajo práctico de campo y de laboratorio: en el diseño de los trabajos prácticos se tuvo en cuenta el contexto de la institución educativa, los elementos estructurales y materiales con los cuales contaba la institución. Además, se buscó que las actividades allí propuestas tuvieran relación con los objetivos de la investigación y con las normativas curriculares nacionales e institucionales, tales como los estándares básicos de competencias y los derechos básicos de aprendizaje para el área de ciencias naturales.

Para la aplicación de los trabajos prácticos se realizó inicialmente una práctica de campo que incluyó temas sobre la introducción de las ondas (generalidades, características, partes y tipos de ondas); estuvo dividida en dos sesiones con una duración de dos horas en cada una. Luego se desarrollaron un total de cuatro prácticas de laboratorio y de campo, en las cuales se trataron conceptos relacionados con los fenómenos ondulatorios de reflexión, refracción e interferencia de las ondas. En cada sesión de trabajo práctico se utilizaron materiales y una guía de laboratorio, además material casero.

- Fase 5. Aplicación del postest: se aplicó la misma estructura del pretest para evidenciar los cambios en las concepciones, luego de haber realizado los trabajos prácticos de campo y laboratorio.
- Fase 6. Análisis y discusión de resultado: se elaboraron los resultados del estudio teniendo en cuenta tres grandes momentos: el primero correspondió a la aplicación del cuestionario inicial; el segundo, a la realización de los trabajos prácticos, y el tercero, a la aplicación del cuestionario final. De acuerdo con los hallazgos, se realizó un nuevo diseño de trabajos prácticos a partir de las fortalezas y debilidades de la estrategia utilizada.
- Fase 7. Diseño y divulgación del material didáctico sobre los trabajos prácticos: se elaboró una serie de cinco guías de laboratorio y de campo sobre la enseñanza de los fenómenos ondulatorios basadas en las experiencias vividas durante la fase 5. Se compartieron las guías de laboratorio en tres instituciones educativas del departamento del Huila para ser usadas en la enseñanza-aprendizaje de la física y con el propósito de que los docentes las utilicen para evaluar su impacto en investigaciones posteriores.

## Recolección de datos

La recolección de datos se realizó por medio de la encuesta sociodemográfica, la cual fue aplicada al inicio de la intervención con el propósito de caracterizar la población de estudio y conocer sus edades, gustos, fortalezas, dificultades, aspiraciones y demás generalidades de cada estudiante. De igual manera, se realizó un cuestionario que fue aplicado como pretest y postest. Por otra parte, para poder incluir las experiencias de los estudiantes en los trabajos prácticos, se recolectó información en diarios de campo y guías de laboratorio, los cuales sirvieron para identificar los pensamientos, los aprendizajes y las habilidades experimentadas durante la ejecución de los trabajos prácticos. Cabe aclarar que los diarios de campo fueron aplicados al final de cada trabajo práctico.

## Análisis de datos

Se realizó un análisis de contenido y se transcribió inicialmente la información de cada instrumento en un documento Word; luego se sistematizó por medio del programa ATLAS.ti (versión 7.0) para organizar la información resultante por categorías, subcategorías y tendencias. De igual manera, se establecieron relaciones entre algunas de las tendencias en aras de triangular la información suministrada para cada una de las fases de la investigación y para ello se utilizó en Microsoft Excel, a fin de generar los porcentajes en cada tendencia.

En términos generales, se creó la categoría macro denominada *fenómenos ondulatorios*, la cual incluyó tres grandes subcategorías: *concepto*, *tipo* y *fenómenos*. La subcategoría *concepto* hizo referencia a las ideas relacionadas con el lugar, el funcionamiento y la formación de las ondas; la categoría *tipo* abarcó lo relacionado con las ondas electromagnéticas y mecánicas, y finalmente, la categoría *fenómeno*, la cual comprendió lo relacionado con los fenómenos de reflexión, refracción e interferencia de las ondas.

Las categorías de análisis surgieron de manera deductiva a través de los resultados que se dieron en el cuestionario, la observación participante y los informes de laboratorio. Estos llevaron a crear las categorías de la investigación como, por ejemplo, *concepto*, la cual incluía todas las comunicaciones escritas sobre el concepto de onda. Después se organizaron los insumos escritos en

subcategorías para poder individualizar las descripciones y los aprendizajes dados por los estudiantes. Los datos se nombraron por medio de tres letras: C, la cual indicaba cuestionario (por ejemplo, C1 significa cuestionario 1); E, la cual indicaba el estudiante (E1 era el número uno en la lista), a este valor se añadía el número que indicaba la pregunta a la cual respondía el estudiante; finalmente, hay que señalar que en el caso de las guías de laboratorio se usó la letra G, la cual señalaba el número del grupo que desarrolló la guía.

## Resultados y discusión

A continuación, se presenta el análisis de los resultados del cambio conceptual de los estudiantes frente a la subcategoría *concepto*, contenida en la categoría *fenómenos ondulatorios*. Estos resultados recopilan la información de la fase 3 (aplicación del pretest), en contraste con la fase 5 (aplicación del postest).

### *Concepciones en el cuestionario inicial*

A partir de esta sección se evidencian algunos resultados relacionados con la categoría *concepto*, así como con las tendencias *funcionamiento* y *formación* de las ondas.

### *Categoría concepto*

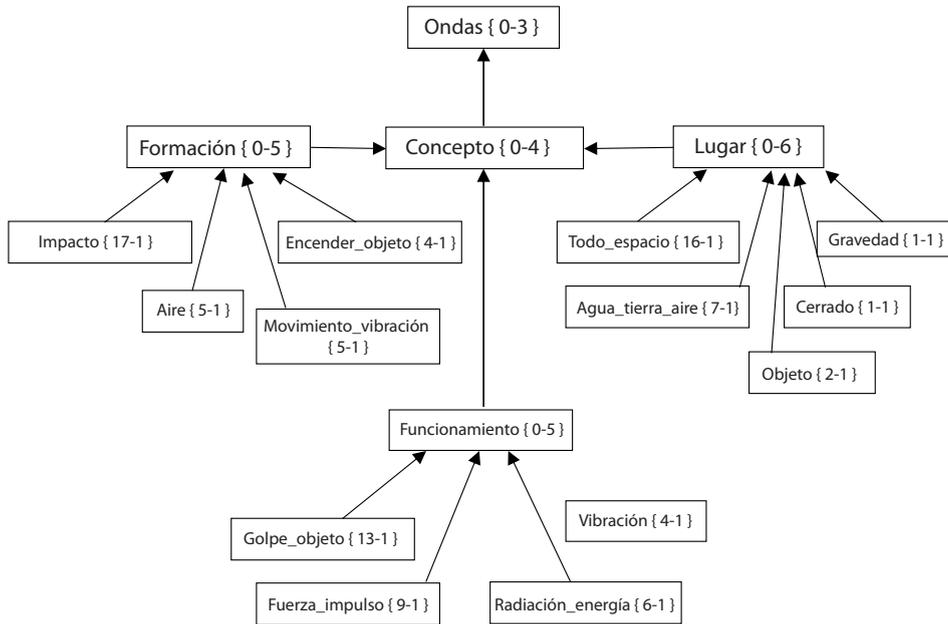
En esta categoría se pudieron evidenciar tres grandes subcategorías: funcionamiento, formación y lugar, con cada una de las tendencias generadas en los estudiantes, como se puede observar en la figura 4.2.

A continuación, se mostrarán los resultados más importantes para cada una de las subcategorías para identificar los porcentajes y los ejemplos de algunas de las respuestas de los estudiantes en el pretest y postest.

### *Subcategoría funcionamiento*

En relación con la subcategoría *funcionamiento* en el pretest, los datos permitieron identificar cuatro tendencias: en primer lugar está *golpe-objeto*, en la cual el 43% de los estudiantes afirmaron que el funcionamiento de una onda se debe

Figura 4.2. Red que ilustra la categoría *concepto* en el pretest generado con ATLAS.ti (versión 7.0)



Fuente: elaboración propia.

al golpe entre objetos de la naturaleza, es decir, un choque fuerte entre cuerpos. Así lo manifestaron:

Una onda funciona o se genera cuando algo choca con otro objeto, es decir, se produce un ruido bastante duro y este es el que forma la onda que son como círculos que encierran el objeto chocado y se van esparciendo hasta desaparecer. (E26.C1.2)

En segundo lugar, se encuentra la tendencia *fuerza-impulso*; el 30% de los estudiantes consideraron que las ondas funcionan gracias a la fuerza o el impulso de algunos materiales. Sin embargo, asociaron las ondas solamente con el sonido o con el agua. Algunos de los estudiantes lo manifestaron de la siguiente manera: “Para mí funciona cuando una fuerza llega a una cosa por ejemplo en el agua cuando hay mucha presión de la temperatura se forman las ondas como también hay muchos tipos como la de los sonidos, etc. [...]” (E1.C1.2).

Asimismo, la tercera tendencia, *radiación-energía*, permitió reconocer que el 20% de los estudiantes consideraron que el funcionamiento de las ondas se debe a la energía y la radiación, la cual viaja de manera rápida. Los estudiantes lo presentaron de la siguiente forma: “Para mí una onda funciona a través de energía que se expande hacia todo lado causando mucho ruido y muchos desastres por la onda” (E14.C1.2). Por otro lado, en cuarto lugar, se encuentra la tendencia *vibración*, en la cual el 13,3% de los estudiantes consideraron que las ondas suceden por medio de una vibración que se expande generando un cambio o deformación en un determinado espacio.

En relación con la subcategoría *funcionamiento* en el postest, los datos permitieron identificar tres tendencias: primero está *fuerza*, en la cual el 46,6% de los estudiantes argumentaron que las ondas funcionan debido a la acción de alguna fuerza que es aplicada a un determinado sistema y que puede ser deformado o alterado. Así lo declararon verbalmente: “Una onda funciona mediante una magnitud fuerza resistencia ya que eso hace que se formen distintas clases de ondas, como cuando tiramos una piedra al río genera cierto tipo de ondas” (E1.C2.2).

Segundo, se tiene la tendencia *perturbación*, que el 36,6% de los estudiantes consideraron que las ondas son alteraciones que viajan de un lugar a otro y que transportan energía en un determinado medio, la cual es producida por el hombre o por la naturaleza. Los estudiantes lo expresaron de la siguiente forma: “Una onda es una perturbación que se propaga de un punto y que va alrededor de este punto, una onda se produce principalmente al momento de chocar un objeto con algún otro, en un medio determinado” (E6.C2.2).

De igual manera, la tercera tendencia, *sonido-naturaleza*, permitió reconocer que el 10% de los estudiantes concibieron que las ondas funcionan por el sonido, el cual se puede producir por la naturaleza o algún objeto musical. Su testimonio fue el siguiente: “Las ondas funcionan mediante un sonido, la naturaleza y en el agua se generan otras ondas” (E14.C2.2).

Las concepciones en el pretest con respecto a la subcategoría *funcionamiento* dan a entender que la mayoría de los estudiantes interpretaron que las ondas funcionan por el golpe de un objeto, como la guitarra o una soga, lo cual permite identificar que algunos estudiantes no conocen el funcionamiento de una onda. Esto se debe a que no incluyen las características periódicas y vibratorias

de estas, las cuales hacen posible la transmisión de energía de un lugar a otro según sea el medio de propagación.

En el posttest es favorable encontrar estudiantes que consideran que las ondas transmiten energía y no materia, ya que esta es una de las principales características de las ondas que, desde luego, permite entender su funcionamiento en el espacio. De igual manera, es necesario destacar que los estudiantes trascienden en su conocimiento, ya que no ven el sonido y las ondas del agua como las únicas generadas en la naturaleza, sino que contemplan las ondas de tipo electromagnético que se propagan en el vacío.

Lo anterior pudo estar favorecido por el trabajo de laboratorio y de campo, pues los estudiantes diseñaron sus propios procedimientos durante las sesiones de clases y usaron distintos materiales de su contexto con actividades que previamente no habían realizado en su formación de educación secundaria. Así, se impulsó el desarrollo de habilidades científicas y un aprendizaje significativo.

#### *Subcategoría formación*

En relación con *formación* en el pretest, los datos permitieron identificar tres tendencias: en primer lugar está *impacto*, que el 56% de los estudiantes afirmaron que las ondas se forman debido a un impacto, choque o golpe realizado en un medio (por lo general, el agua). También es ocasionado por una fuerza, presión o simplemente por intervención del hombre; al respecto, dijeron: “Es cuando tiramos una piedra o cae una gota de agua, en el agua se produce ondas gracias al impulso que tiene la gota de agua o la piedra” (E21.C1.3).

De igual forma, la segunda tendencia, *movimiento-vibración*, permitió identificar que el 16% de los estudiantes relacionaron la formación de las ondas con un movimiento de vibración de los objetos o de los medios de propagación de las ondas. Los estudiantes lo consignaron de manera escrita, así: “Las ondas emiten un sonido al chocar con su alrededor, en este caso en la casa se encierra el ruido y choca con los alrededores, en esta casa los metales u objetos se da una vibración de objetos” (E29.C1.3).

En relación con la tercera tendencia, *aire*, el 16,6% de los estudiantes consideraron que la formación de las ondas se debe al movimiento de las corrientes de aire que hay en la atmósfera. De ese modo expresaron lo siguiente: “Al escuchar un caracol del mar ahí se produce una onda porque al momento que el mar

hace ruido el caracol va guardando su sonido y cuando nos ponemos el caracol en el oído escuchamos el ruido del mar” (E11.C1.4).

Por otro lado, la cuarta tendencia, *encender-objeto*, mostró que el 13,3% de los estudiantes argumentaron que la formación de las ondas se debe al funcionamiento de un objeto o un equipo electrónico (baffles, TV, entre otros). Los estudiantes lo comentaron en los siguientes términos:

Al momento de encender un baffle o equipo, la música o melodía transmite una onda sonora, la cual puede ser captada o percibida para quienes poseen el sistema auditivo, además entre más espacio tenga la onda, se va a hacer más grande, abriendo un gran perímetro. (E6.C1.3)

En relación con la subcategoría *formación* en el postest, los datos permitieron identificar dos tendencias: primero está *movimiento-vibración*, en la cual el 60% de los estudiantes argumentaron que las ondas se forman gracias al movimiento que produce una vibración al viajar de un lugar a otro. De igual manera, representaron mediante imágenes que una onda se puede formar en el agua, el aire, la radio o las redes wifi. Sobre este asunto aseguraron que “Una onda funciona cuando hay algo que la provoque ya sea un objeto un sonido, una onda es una propagación en el medio por causa de algún movimiento o también se producen por fuentes naturales” (E15.C2.2).

Segundo, se encontró la tendencia *propagación-energía*, que el 33,3% de los estudiantes consideraron que las ondas se forman debido a una propagación de energía transportada de un lugar a otro. Los estudiantes argumentaron lo siguiente:

Las ondas se forman ya sea mecánicamente o electromagnéticamente, en el dibujo vamos a hablar sobre lo primero, las ondas se forman a través de un choque, la energía que se produce se esparce inmediatamente, a esta energía transportada por medio de ondas, entonces se puede afirmar que las ondas casi son la misma energía que viaja de un punto alrededor de él. (E6.C2.3)

Las concepciones del pretest de la subcategoría *formación* dan a entender que los estudiantes, en su mayoría, creen que las ondas se forman a causa de un

impacto o choque entre dos o más objetos materiales que pueden ser líquidos o sólidos (por ejemplo, las ondas generadas en el agua por acción de una piedra o las ondas generadas en una casa por un baffle o un equipo de sonido). Por lo anterior, se analiza que los estudiantes en el pretest no consideran las ondas electromagnéticas y las ondas gravitacionales como ondas, ya que estas no son producidas por choques visibles de objetos materiales; por lo tanto, se da a entender que no definen las ondas como una perturbación o una propagación que genera una transferencia de energía de un lugar a otro de forma periódica.

En el postest fue positivo encontrar que los estudiantes entendieron que las ondas son perturbaciones que transmiten energía de un lugar a otro, pues modifican físicamente la materia y ocasionan distintos fenómenos naturales y artificiales. Además, la mayoría de los estudiantes consideraron que las ondas se forman a través de movimiento vibratorio, el cual se crea a partir de fuentes naturales o artificiales, y estas pueden necesitar un medio material o, por el contrario, viajar en el vacío.

Según la comparación entre las tendencias del pretest y postest, es evidente que hubo una disminución de tendencias y esto se debe a que durante la aplicación de los trabajos prácticos de campo y de laboratorio se estudiaron elementos sobre el funcionamiento, la formación y el lugar de las ondas. En este caso, los estudiantes realizaron explicaciones a partir de un conocimiento más científico que parte desde el conocimiento popular y cotidiano, es decir, construyeron un conocimiento escolar (García *et al.*, 1998).

Cabe resaltar que este cambio en las concepciones probablemente se debe a las estrategias didácticas que acompañaron la propuesta de los trabajos prácticos de campo y de laboratorio, las cuales posibilitaron que los estudiantes partieran de sus conocimientos previos y del contexto para que propusieran iniciativas respecto al planteamiento de sus propias preguntas. Además, elaboraron los experimentos de acuerdo con procedimientos propios apoyados en la reflexión y evaluación rigurosa de los trabajos prácticos sobre las ondas.

### *Subcategoría lugar*

En relación con *lugar* en el pretest, los datos permitieron identificar cinco tendencias: en primera instancia, está *todo-espacio*, pues el 53 % de los estudiantes afirmaron que las ondas se producen en todas partes o en todos los espacios

porque las puede producir cualquier cosa. Así, alguno de ellos aseveró lo siguiente: “Yo creo que las ondas se producen en todo lado... esto se debe a las vibraciones que existen ejemplo cuando un equipo está sonando existe una vibración y el sonido se va a esparcir por toda la casa” (E13.C1.4).

En segunda instancia, se encuentra la tendencia *agua-tierra-aire*, en la que el 23 % de los estudiantes dijeron que las ondas se producen en medios como el agua, el aire o la tierra, lo que excluye las ondas de carácter electromagnético. Los estudiantes lo manifiestan explícitamente de la siguiente manera: “Pues para mí las ondas se producen más en el agua debido a que cuando cae más agua dentro de ella cae con fuerza y esto es lo que hace que esto suceda” (E23.C1.4).

La tercera tendencia denominada *objeto* permitió identificar que el 6,6 % de los estudiantes consideraron que las ondas son producidas por un objeto, como los aparatos de sonido o las campanas, lo cual dio a entender que para los estudiantes las ondas son solo el sonido. Por eso, sostuvieron ideas como: “Una onda se puede producir en el péndulo de una campana, debido a una fuerza provocada por un movimiento” (E12.C1.4).

De igual manera, surge la cuarta tendencia denominada *cerrado*, en la cual el 3 % de los estudiantes manifestaron que las ondas se producen solo en lugares cerrados, como las cuevas. Un estudiante lo consigna de la siguiente manera: “Las ondas se producen en un lugar que tenga entrada y no salidas en un lugar como las cuevas esto se debe a la naturaleza a lugares con poco espacio en un lugar sólido y al hacer un ruido se produce una onda al revotar de cada espacio” (E11.C1.4).

Por otro lado, surge la quinta tendencia, *gravedad*, en la que el 3 % de los estudiantes consideraron que las ondas se producen por la gravedad que tiene la tierra y lo sostienen de la siguiente forma: “Yo creo que las ondas se producen a través de la gravedad que tiene el planeta tierra” (E4.C1.4).

En relación con la subcategoría *lugar* en el postest, los datos permitieron identificar tres tendencias: primero, aparece *todo-espacio*, en la cual el 66,6 % de los estudiantes contemplaron que las ondas se encuentran en todas partes: en el agua, el aire, la tierra, el sonido, las antenas de wifi y hasta en el espacio. En su concepto verbal, “Las ondas se producen en todas partes como en el agua, en el sonido, y hasta con el aire; esto se debe por que se generan movimientos o porque se aplica fuerza sobre algo” (E8.C2.4).

Segundo, se encuentra la tendencia *materia-vacío* con un 23,3 % de estudiantes que dijeron que las ondas se encuentran en la materia; en las partículas atómicas y en el vacío no hay materia. Los estudiantes lo sustentaron de manera escrita: “Se produce en ciertos ambientes, en un lugar con vacío, plano, etc. [...] en casi cualquier parte, se debe a que cumplen las condiciones actas para ello; por ejemplo, en el agua se puede hacer ondas mecánicas lanzando una piedra y generando ondas y reflexión la cual refleja la luz al igual que el espejo” (E5.C2.4).

Por otro lado, surge la tercera tendencia, *agua-aire*; el 10 % de los estudiantes dijeron que las ondas se encuentran en elementos como el agua y el aire, en donde se pueden propagar distintos tipos de ondas (como las del sonido). Sobre esto, ellos advirtieron: “Las ondas se pueden producir en el agua, en el aire, con el sonido. Esto se debe a según lo hagamos por ejemplo nosotros gritamos y se produce una onda o cuando esta buyendo el jugo ahí se está produciendo una onda” (E11.C2.4 [se conserva la ortografía del testimonio original]).

Las concepciones del pretest revelan que la mayoría de los estudiantes no reconocen el lugar donde se producen las ondas, ya que creen que las ondas son aquellas que se pueden ver y tocar, por lo tanto, atribuyen características necesariamente materiales, es decir, que se producen en los sólidos, líquidos y gases (como el agua y el aire). En ese sentido, se ignoran las ondas que se producen en el vacío, como las ondas electromagnéticas, las cuales no necesitan un medio material para propagarse. Por lo tanto, se puede inferir que los estudiantes consideran las ondas en términos de algo material, con objetos que producen “algo” que puede ser el sonido o las ondas en el agua. Lo anterior evidencia una posición reduccionista acerca de la capacidad de ubicuidad de las ondas, y su facilidad de transportar energía de un lugar a otro a distancias inimaginables.

En el postest fue significativo encontrar que los estudiantes reconocieron que las ondas se generan en todas partes, lo que atribuye el poder de ubicuidad de estas. Por lo tanto, es favorable hallar este tipo de comunicaciones, pues en el desarrollo de los trabajos prácticos de campo y de laboratorio estuvieron rodeados de diferentes sitios que les permitió identificar los tipos de ondas mecánicas y electromagnéticas, además sus características, como la amplitud, la frecuencia, el periodo, la intensidad y la longitud de onda.

De igual manera, pudo reconocerse los tipos de ondas como las mecánicas, las cuales necesitan un medio material para propagarse (sólido, líquido y gaseoso), y las ondas electromagnéticas, las cuales no necesitan medio material

para propagarse, es decir, que se propagan en el vacío. Esto es favorable en la medida en que reconocen que las ondas no solo se producen en la materia, sino en espacios donde no la hay y, por lo tanto, se pueden propagar. Así, no es necesario verlas, tocarlas y sentir las, como las del wifi, la radio, el microondas, entre otras.

### **Diseño y divulgación del material didáctico sobre los trabajos prácticos**

A continuación, se mostrará una de las cinco guías de laboratorio, la cual correspondió al tema “Introducción a las ondas” (imagen 4.1). Allí se evidencia la estructura de este instrumento, su intencionalidad y las reformulaciones que tuvo.

La guía “Introducción a las ondas” tuvo la siguiente estructura: pregunta-problema, preguntas opcionales, materiales, procedimiento, resultados, reflexión y evaluación. El propósito de la guía fue recoger unas percepciones iniciales sobre el concepto de ondas que partió de una pregunta: ¿cómo se propagan las ondas en la naturaleza? Así, se partió desde lo visto en el contexto y con base a las interpretaciones de lo experimentado con materiales de fácil acceso y de bajo costo. En cuanto a las reformulaciones que se realizaron, es pertinente mencionar que en el diseño aplicado algunos estudiantes presentaron dificultad con la identificación del fenómeno de las ondas, y en consecuencia se agregó un enunciado corto sobre el concepto de ondas que permitiera guiar el trabajo práctico y que, además, el estudiante lo tuviera en cuenta para plantear las preguntas opcionales. Por otro lado, se adicionó una actividad en casa que sirviera como estrategia para evaluar el trabajo práctico, la cual vinculara materiales caseros y que, adicional a lo anterior, integrara las familias o acudientes de los estudiantes.

### **Conclusiones**

Los trabajos prácticos como herramienta didáctica ayudan al estudiante a comprender, entender, explicar y analizar los diferentes temas de la física (en nuestro caso particular, las ondas). De igual manera, por medio de esta estrategia didáctica se logró que los estudiantes comprendieran, experimentaran y contextualizaran con mayor facilidad los fenómenos ondulatorios y sus

Imagen 4.1. Guía de laboratorio “Introducción a las ondas”




**Práctica de laboratorio No 1. Introducción a las ondas**

**Nombres:** \_\_\_\_\_

Las ondas son perturbaciones que transmiten energía, permiten modificar la naturaleza de un medio y transportan una información. Podemos encontrar ondas en nuestro medio ambiente (casa, colegio, naturaleza, etc.). Una onda es una perturbación que se propaga desde el punto en que se produjo hacia el medio que rodea ese punto.

**Pregunta problema:** ¿Cómo se propagan las ondas en la naturaleza?

**Preguntas opcionales:**

- 1.
- 2.
- 3.

**Materiales**

- Una cuerda de 3 metros
- Una varita de madera
- Un láser
- Vela
- linterna
- Un instrumento musical
- Platón de plástico
- Cronómetro



**Procedimiento**

1. Realice dos experimentos donde evidencie la generación de ondas utilizando algunos o todos los materiales disponibles.
2. Toma un platón de agua e introduce el dedo en repetidas ocasiones, ¿de qué manera se generarían más ondas?
3. Estando en el río, ubica dos puntos de referencia en el agua, y determina el tiempo que tarda la onda en recorrer ese espacio. Realiza varios intentos.
4. Lanza dos objetos de diferente masa y observa las diferencias de formación de la onda en relación con la altura y la profundidad que alcanza.

¿Te pareció fácil o difícil la elaboración de los experimentos?, ¿Por qué?: \_\_\_\_\_




**Resultados**

**1. Procedimiento 1**

Dibuja lo que hiciste	Describe lo que hiciste

**2. Procedimiento 2**

Dibuja lo que hiciste	Describe lo que hiciste




**3. Procedimiento 3**

Dibuja lo que hiciste	Describe lo que hiciste

**4. Procedimiento 4**

Dibuja lo que hiciste	Describe lo que hiciste




**Reflexión**

Redacta un párrafo en el que des cuenta de las dificultades que tuvieron durante el trabajo práctico, es decir, lo positivo y lo negativo. Además, escribe qué es lo que resalta de tu trabajo y qué no resalta en tu desempeño en la práctica.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Evaluación**

En casa, con ayuda de tus padres, realiza una máquina de ondas casera. A continuación encontrarás el procedimiento.

**Materiales:**

- 25 Palitos de helado
- Cinta adhesiva



**Procedimiento:**

1. Se cortará un tramo de cinta adhesiva de aproximadamente un metro de largo y se colocará en el suelo con la cara adhesiva hacia arriba.
2. Pegar los palitos de helado en la cinta de manera perpendicular (atravezados), separándolos entre sí por 2 o 3 cm.
3. Una vez que se han pegado todos los palitos de helado se cortará otro pedazo de cinta del mismo tamaño del primero y se pegará por encima de los palitos, de modo que no haya posibilidad de que se desprendan.
4. Ya que hemos terminado la máquina, la pondremos en posición vertical deteniéndola desde arriba y le daremos un golpecito al primer palito en un lado; observado como la onda es transmitida por toda la máquina.
5. Después entre dos participantes, uno que detendrá un lado mientras que el otro gira el opuesto, acomodarán la máquina de modo que se puedan explicar las propiedades de las ondas

Fuente: elaboración propia.

implicaciones en la cotidianidad fundamentada en las concepciones científicas. Asimismo, los trabajos prácticos son fuertes centros de reconstrucción y reflexión de conocimientos, un factor favorable en el aprendizaje significativo, ya que para poder analizar, interpretar, describir y entender la física, es necesario no solo contar con las fórmulas y los conceptos, sino también relacionarlos con todo un conjunto de elementos de la cotidianidad. Con ello, se pueden fortalecer las habilidades científicas relacionadas con la física, como la toma de datos, la observación, la descripción, el análisis, la proposición de hipótesis o preguntas, la contrastación, la corroboración y la reflexión. En ese sentido, la experimentación del trabajo práctico y las guías de laboratorio no convencionales facilitan el aprendizaje de los conceptos relacionados con ondas.

La estrategia didáctica de los trabajos prácticos tuvo algunos elementos, como preguntas opcionales, posibles procedimientos, descripciones gráficas y textuales, observaciones, toma de datos, comparaciones, reflexiones y evaluaciones, aspectos que permitieron al estudiante desarrollar procesos cognitivos (por ejemplo, la percepción, el pensamiento, el lenguaje y el aprendizaje de la temática sobre ondas). Además, todas estas estrategias ayudaron a despertar la motivación, el interés, la voluntad y la curiosidad de aprender o construir conocimientos. El estudiante tuvo la capacidad de autoevaluarse, analizar su progreso y realizar una reflexión sobre las dificultades y facilidades en la realización de cada temática. Al realizar una retroalimentación sobre la efectividad de la investigación de los trabajos prácticos en el aprendizaje de los fenómenos ondulatorios, se puede observar que los estudiantes de noveno grado de la Institución Educativa San Lorenzo, del municipio de Suaza, Huila, tienen mayor claridad frente a los conceptos relacionados con las ondas.

La presente investigación aportó elementos importantes en la educación secundaria, pues permitió integrar aspectos relacionados con lo pedagógico, lo didáctico y lo curricular en la institución educativa, los estudiantes y la docente. De igual manera, al hacer uso de los trabajos prácticos en la interacción permanente con el contexto, se logran descubrir nuevos modos de aprender, enseñar y evaluar procesos, conocimientos, habilidades y saberes en las ciencias naturales. Todo esto permitió generar una propuesta para que los docentes del área tengan herramientas que pueden replicar en sus instituciones, las cuales les permitan visualizar una enseñanza de las ciencias a partir del fortalecimiento

de las prácticas pedagógicas en concordancia con las necesidades y los intereses de las comunidades educativas.

## Referencias

- Ausubel, D. (1976). *Psicología educativa. Una perspectiva cognitiva*. Trillas.
- Barberá, O. y Valdés, P. (1996). El trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias. Una revisión. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), 365-379.
- Correa, M. (2012). *Estado del arte sobre los trabajos prácticos en la enseñanza de la biología (2004-2008). Un aporte a la formación docente* [tesis de maestría, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá].
- del Carmen, L. (2000). Los trabajos prácticos. En J. Perales y P. Cañal (Coords.), *Didáctica de las ciencias experimentales* (pp. 1-15). Marfil Alcoy.
- Elizondo, M. (2013). Dificultades en el proceso enseñanza aprendizaje de la física. *Revista Presencia Universitaria*, (5), 70-77.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación* (5.ª ed.). McGraw-Hill.
- García, S., Martínez, C. y Mondelo, A. (1998). Hacia la innovación de las actividades prácticas desde la formación del profesorado. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), 353-366.
- Mayer, R. E. (2010). *Aprendizaje e instrucción*. Alianza.
- Ministerio de Educación Nacional. (2004). *Estándares básicos de competencias en ciencias naturales y ciencias sociales*. Espantapájaros Taller. [https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-81033\\_archivo\\_pdf.pdf](https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-81033_archivo_pdf.pdf)
- Piaget, J. (1977). El papel de la acción en el desarrollo del pensamiento. *Conocimiento y Desarrollo*, 1, 17-42.
- Rodrigo, M., Morcillo, J., Borges, R., Calvo, A., Cordeiro, N., García, F. y Raviolo, A. (1999). Concepciones sobre el trabajo práctico de campo (TPC). Una aproximación al pensamiento de los futuros profesores. *Revista Complutense de Madrid*, 10(2), 261-285.
- Serway, R. y Jewett, J. (2009). *Física para ciencias e ingeniería, con física moderna*. Cengage.
- Sierra, J., Bosque, J., García, A., Blanca, R., Del, M., Gámiz, L. y Alés, F. (2009). Aprendizaje de procesos analíticos mediante clases prácticas con laboratorios virtuales. *Enseñanza de las Ciencias*, (Extra), 2459-2463.
- Yin, R. K., y Davis, D. (2007). Adding new dimensions to case study evaluations. The case of evaluating comprehensive reforms. *New directions for evaluation*, (113), 75-93.

## Capítulo 5. La lectura y la escritura en clase de Física como estrategias de aprendizaje: ¿qué y cómo se aprende cuando se escribe?\*

Norma Constanza Sáenz Briñez

La lectura y la escritura en clase de Física como estrategias de aprendizaje parten de una reflexión fundamentada en la investigación crítica de la práctica pedagógica en esta asignatura. Parte de la necesidad de fortalecer aprendizajes significativos que les permitan a los estudiantes aplicar los conceptos asimilados en la clase, así como solucionar preguntas problematizadoras asociadas a fenómenos naturales del entorno. Para este fin, se implementa una secuencia didáctica de cuatro etapas que inician con la indagación de los saberes previos en la sección llamada “¿Qué pienso?”; continúa con el trabajo individual estructurado en otras dos secciones, “Consulta” y elaboración de un “Glosario”, y finaliza con la cuarta sección de redacción del texto final, en donde el estudiante, que hace las veces de escritor, se dirige a sus lectores para transmitir sus aprendizajes en torno al fenómeno motivo de estudio. Esta secuencia hace parte del proyecto pedagógico de aula de la clase de Física, que encaja perfectamente con el enfoque del aprendizaje basado en problemas. Así, se muestra cómo la lectura y la escritura interactúan para fortalecer los aprendizajes en esta rama mientras que los estudiantes exploran, leen y escriben. Al escribir aprenden, mientras estructuran sus ideas en el texto y revisan sus escritos. En la reflexión se destacan estas dos estrategias como elementos valiosos en el aprendizaje autónomo de los estudiantes. Leer para explorar y conocer sobre un fenómeno físico es fundamental para el aprendizaje. Sin embargo, cuando escriben para dar a conocer a otros sobre el fenómeno motivo de estudio, se efectúa una serie de procesos que hacen que esas lecciones se vuelvan significativas para quien escribe.

\* Para citar este capítulo: <http://doi.org/10.51573/Andes.9789587985061.9789587985078.5>

## Introducción

Cuando se hace referencia a la asignatura Física, es probable que la primera imagen que venga a la mente sea la del acto de resolver problemas numéricos empleando una fórmula. Al indagar a los estudiantes sobre lo que significa para ellos la física, las palabras que más mencionan en sus respuestas son velocidad, matemáticas, problemas, fórmulas, ecuaciones y fenómenos. Aunque puede existir una jerarquía en los intereses de los aprendizajes, como lo afirma Mestre (2001), en los que “las ecuaciones ocupan los niveles medio a inferior de la pirámide del conocimiento” (p. 44), se observa que la enseñanza de la física parece imposible sin la intervención directa de las matemáticas y que la solución de problemas numéricos es uno de los principales objetivos de esta asignatura. La física es “la ciencia de la vida misma”, puesto que gracias a ella se pueden entender y explicar los fenómenos que suceden en la naturaleza. Asimismo, es posible comprender los eventos tanto sencillos como sorprendentes del mundo y que, aunque no siempre se pueden ver, se pueden imaginar, como la aurora boreal.

Uno de los grandes retos de la educación es lograr que los estudiantes le encuentren sentido a todo lo que se estudia en el aula de clase. La experiencia que relatan muchos estudiantes que han culminado el décimo grado consiste en la poca aplicación de las fórmulas “básicas” de velocidad o aceleración en el contexto de lo cotidiano, lo que revela una escasa transferencia de ese conocimiento, más allá de la simple solución de un problema numérico. En cuanto a la física cursada en décimo grado, la vivencia que algunos estudiantes relatan es que su aprendizaje es un poco más significativo, tal vez por la aplicación de los conceptos de óptica y acústica en la descripción de situaciones de espejos y lentes, que resultan ser objetos más cercanos a lo cotidiano de los seres humanos.

Mediante la física y el estudio de sus distintas ramas, es posible acercarse científicamente al mundo real en el que vivimos. Es así como, desde la primera unidad didáctica, que hace referencia a las magnitudes físicas, el estudiante se puede conectar con la realidad que implica medir bien dentro de una existencia en la que todo, en absoluto, se mide. Además, esto requiere conocer sobre sistemas de medida, unidades, notación científica y conversiones. También es necesario reconocer que todas las situaciones cotidianas y todos los objetos están sujetos a una medición y esta, a su vez, tiene una implicación a nivel global, lo que exige la mayor exactitud posible para asegurar confiabilidad en los resultados.

Según esto, la clase de Física debería facilitar el acercamiento científico de los estudiantes al contexto real de su diario vivir, mediante la aplicación de las leyes y los conceptos en el proceso de explicar distintos fenómenos. Sería poco útil saber el concepto de presión atmosférica, conocer sus unidades y resolver problemas numéricos, si no lo pueden emplear en la explicación de cuestionamientos como *¿por qué se nos tapan los oídos cuando viajamos en avión?*

Pensar en esta necesidad permite reflexionar sobre la realidad de las dinámicas de clase que en muchos casos caracteriza los conceptos aprendidos en elementos estáticos y sin utilidad frente a las situaciones reales que experimentamos como seres vivos. Poder tomar los aprendizajes como piezas fundamentales para entender los fenómenos del mundo real a la luz de la ciencia, se convierte entonces en el principal objetivo de esta consideración, que busca implementar en la clase de Física la lectura y la escritura de textos informativos como estrategias para alcanzar aprendizajes significativos. Otros propósitos particulares, como desarrollar una secuencia didáctica de cuatro pasos en la que explorar, leer y escribir textos informativos relacionados con las preguntas-problemas sobre los fenómenos naturales del entorno, permitirán reflexionar acerca del impacto de estas herramientas en los aprendizajes en la clase de Física. Del mismo modo, emplear la lectura y la escritura de textos informativos en esta materia, como estrategias con el doble propósito de informar a quienes leen y afianzan los aprendizajes de quienes escriben, será fundamental para determinar la efectividad del proceso motivo de ponderación.

De esta forma, la pregunta “¿son la lectura y la escritura de textos informativos estrategias para lograr aprendizajes significativos en la clase de Física?”, es posible pensarla al tener como referente una secuencia didáctica de cuatro pasos que se desarrollan en décimo y undécimo grados de educación media, pertenecientes a la Institución Educativa Santa Teresa de Jesús de la ciudad de Ibagué, en el departamento del Tolima. Esta estrategia metodológica, que ha sido diseñada, implementada e investigada por la docente Norma Constanza Sáenz durante más de diez años, arroja hallazgos importantes que vinculan los aprendizajes significativos en la asignatura Física con las estrategias competentes de lectura y escritura. La presente reflexión es el fruto de las observaciones directas de los procesos de aula en la clase de Física desarrollados durante el año escolar 2020; contó con la participación de seis grupos de educación media,

tres décimos y tres undécimos con un número de cuarenta estudiantes en cada uno, para un total de 240 participantes. Con una intensidad horaria de tres horas semanales en cada curso, se llevaron a cabo los procesos propios del enfoque de aprendizaje basado en problemas y la secuencia planteada de lectura y escritura, hasta llegar a publicar los seis libros digitales que reúnen los escritos y que dan evidencia de los aprendizajes significativos en clase de Física.

Es importante resaltar que esta reflexión pedagógica no pretende presentar resultados cuantitativos respecto a la efectividad del proceso. Por el contrario, estas líneas quieren mostrar de manera cualitativa la forma como la lectura y la escritura interactúan en los aprendizajes de un grupo de 240 estudiantes en la asignatura Física, así como el impacto que trae consigo la estrategia en los procesos de producción textual científica. Los hallazgos fundamentados en la evaluación de los escritos finales permiten detectar que en la mayoría de los casos los estudiantes lograron adquirir aprendizajes significativos durante el proceso, puesto que emplearon los conceptos, las leyes y las teorías de la física para explicar los fenómenos planteados en la pregunta-problema. Este capítulo, que corresponde a una postura reflexiva de la vivencia real en la clase de Física, permite ver las bondades de la lectura y la escritura en la experiencia educativa de los estudiantes, como también podrá ser de utilidad para futuras investigaciones.

### **Abordaje teórico y revisión de la literatura**

Conscientes de la importancia de la investigación en la evolución y el mejoramiento de las prácticas pedagógicas, fue indispensable hacer adecuaciones a las estrategias propias que se estaban empleando en la clase de Física. En palabras de Stenhouse (1991): “No basta con que haya de estudiarse la labor de los profesores; necesitan estudiarla ellos mismos” (p. 195). En realidad, era una necesidad lograr que los estudiantes hicieran transferencias efectivas de los aprendizajes, aun en medio de las estrategias tradicionales de la resolución de problemas. Si además de resolver problemas numéricos podían entender y explicar a otros la esencia científica de un suceso del mundo real, entonces ya se habría logrado trascender a un nivel superior de conocimiento.

Es así como la clase de Física se convirtió en un observatorio permanente, puesto que nuestra profesión nos permite que, como dice Stenhouse (1991),

“cada aula sea un laboratorio y cada profesor un miembro de la comunidad científica” (p. 194). La visión del autor resalta la importancia conectar el aula de clase con la cotidianidad y las reflexiones generadas gracias a esta conexión. Incluso, el conectar desde un rol de investigador implica involucrar la lectura y la escritura como herramientas que facilitan el aprendizaje de los conceptos de física y su aplicación.

Lograr que los estudiantes puedan realizar este tipo de acciones significa, entre muchas otras cosas, una de las tantas transferencias efectivas de un aprendizaje. Sin embargo, como lo afirma Hernández (2004), “el aprendizaje formal de la física implica tradicionalmente sólo transferir conocimientos desde o hacia las matemáticas” (p. 16). Usualmente, por ejemplo, la unidad didáctica de magnitudes físicas le permite al estudiante realizar conversiones de unidades dadas en distintos sistemas al emplear procedimientos matemáticos de la regla de tres simple directa y la notación científica. Y si además de esto el estudiante puede reflexionar sobre la importancia que tiene en el mundo medir con precisión y exactitud, para qué sirven los sistemas de medida y cómo evolucionaron a lo largo de la historia, qué función tiene el Instituto Nacional de Metrología (INM) en Colombia, o cómo medimos en nuestro país, en nuestra casa, en el colegio y en general en todos los espacios en donde coexistimos, entonces creo que tiene sentido todo lo que se enseña en la clase de Física.

Investigaciones de Whitelegg y Parry (1999), citados en Hernández (2004), dejan ver cómo la física para estudiantes de nivel secundario se presenta en la mayoría de los casos, de manera descontextualizada, ya que se enseñan principios básicos y luego se hacen aplicaciones que no facilitan una transferencia efectiva. Es así como ellos proponen utilizar contextos reales que hagan posible la discusión social de temas científicos.

Según Hernández (2004), “muchos físicos consideran que el aprendizaje de la física implica una aproximación al funcionamiento del mundo por medio de un método de indagación consistente con el científico, que ayuda a solucionar problemas aplicando conceptos fundamentales” (p. 19). Sin embargo, el aprendizaje de la física debe implicar mucho más que la simple solución de problemas numéricos.

En muchos casos se puede caer en la rutina de explicar una teoría de la física, extraer a manera de recetario las fórmulas y luego resolver problemas de

textos escolares. Ejercicio que se aleja del propósito real de la enseñanza de la física: acercar científicamente a los estudiantes al mundo real en el que existen. Pero, como dice en sus investigaciones Hernández (2004), “en la práctica la forma usual de desarrollar clases de física no permite esta aproximación científica, sino que se queda en las definiciones de conceptos y el uso de una serie de fórmulas que no explican el mundo por ellas mismas” (p. 19).

Los aprendizajes de la física deben ser tan útiles que le permitan al aprendiz interpretar la realidad de lo que acontece en cualquier contexto del mundo real. Explicar por qué deja de rechinar la bisagra de una puerta cuando se le aplica un poco de aceite, en términos de los coeficientes de fricción, revela la inmensidad teórica de un fenómeno aparentemente sencillo y que, sin duda, el estudiante ha vivido o presenciado. Conclusiones de investigaciones sobre aprendizaje activo de McDermott y Redish (1999), citados en Benegas, *et al.* (2013), afirman que en procura de lograr aprendizajes que sean duraderos y efectivos, “el alumno debe participar directa y activamente en su propio proceso de aprendizaje, el cual ha de partir del conocimiento e interpretación de los hechos de la vida cotidiana con que el estudiante arriba al aula de física” (p. 193).

Aunque sea tan cotidiano ver cómo explota un maíz pira, cómo silva la olla de presión en la que se preparan los fríjoles o percibir el arcoíris en un día de lluvia y sol, se sabe que para todos y cada uno de los fenómenos siempre existen explicaciones a la luz de las teorías científicas. Del dominio que se tenga sobre los conceptos depende el éxito de la explicación del porqué suceden las cosas. En otras palabras, el estudiante que además de saber resolver problemas entiende la esencia teórica de los conceptos físicos, tendrá mayor posibilidad de imaginar, entender, explicar y dialogar sobre la naturaleza misma de un fenómeno. Así, como lo sostienen Hernández y Yaya (2010) en relación con los ambientes de aprendizaje socioconstructivistas y los logros que se pueden obtener, “la transferencia que se realiza a sus disciplinas en la mayoría de los casos proviene de un manejo de los conceptos físicos a un nivel adecuado desde la física y no sólo desde lo cotidiano de su entorno” (p. 66). Esto hace que los estudiantes puedan explicar el mundo físico que los rodea de manera entendible a sus lectores, sin perder el dominio y la profundidad teórica de los conceptos que sustentan el fenómeno motivo de estudio.

Hace diez años inició esta propuesta pedagógica titulada “Lectura científica” en la asignatura Física con décimo y undécimo grados, a raíz de la necesidad de

encontrarle sentido a los aprendizajes de la física. Por ello, nació como un “plan de lectura” de artículos científicos existentes en revistas. Hoy está solidificada en un proceso que incluye dos poderosas herramientas, la lectura y la escritura, consideradas elementos potenciadores de aprendizajes significativos. Según Moreno (2005), un aprendizaje es significativo cuando “se está en contacto con el objeto de conocimiento. Se aprende a producir e interpretar textos si se tiene ocasión de interactuar con ellos, si se goza de la posibilidad de producirlos y reflexionar sobre ellos en todas las áreas” (p. 164). Ese es precisamente el propósito de la propuesta pedagógica motivo de este ejercicio, en la cual el estudiante, mediante la lectura y la escritura, puede tener un contacto con lo que estudia. Puede tener contacto con la “chicharra” al explicar por qué emite ese zumbido característico o puede ir a las profundidades del mar cuando trata de explicar cómo afecta la presión hidrostática a los buceadores.

Hoy esta propuesta se sustenta bajo el lema “Explorando ando, leyendo entiendo y escribiendo aprendo”, puesto que involucra, en primer lugar, la capacidad de sorprenderse frente a lo curioso de los sucesos normales del entorno. El profesor de física debe tener la habilidad para despertar el interés en sus estudiantes por saber sobre las cosas que antes no eran motivo de sorpresa, pero que tienen explicación sustentable en leyes científicas. Debe tener habilidad para llevar a sus estudiantes a curiosear sobre preguntas como, por ejemplo, por qué se derrama la leche cuando hierve, cómo emite su sonido el zancudo, por qué los humanos no podemos ver la luz infrarroja, por qué nos deslizamos al pisar una cáscara, o sencillamente, por qué un borrador puede borrar. Según Piaget (1969) y Perkins (1997), citados en Hernández (2004), se entiende el aprendizaje como un proceso “que parte de lo que quien aprende ya sabe desde su experiencia y que puede continuar también a partir de nuevas experiencias” (p. 15).

Explorar significa buscar explicaciones a lo que sucede y asumir el papel del investigador innato que existe en cada estudiante, del que busca las razones más allá de lo que pueden ver los sentidos y del que explora incansablemente hasta activar el pensamiento crítico, que le permita llegar a descubrir la razón oculta de los sucesos. Cuando se les presenta una pregunta problema, lo primero que los estudiantes hacen es pensar en lo que saben sobre ese fenómeno y, como dice Hernández (2004), “ellos saben algo de física, aunque sea elemental o errado, y si logro que usen esos conocimientos en el proceso de aprender nuevos, pueden llegar a ser cultos en los principios básicos de la física” (p. 15).

En segundo lugar, el que lee es como quien busca y encuentra. Cuando los estudiantes leen están confrontando lo que saben con lo que está escrito, un asunto de estudio de muchos otros científicos. Cuando los estudiantes leen globalizan sus saberes y se hacen fuertes en los conceptos; este dominio es el que les da cierta autoridad y les permite entender con sencillez el universo científico encerrado en cada fenómeno. La lectura es un acto necesario para confrontar lo que se conoce y lo que falta por conocer, de ahí la importancia de que los profesores, en sus prácticas pedagógicas, consideren la lectura de distintos contextos, como un ejercicio de gran valor en la formación de conceptos. Frente a la lectura, Lerner (2001) dice que lo necesario es “hacer de la escuela una comunidad de lectores que acudan a los textos buscando respuesta para los problemas que necesitan resolver, tratando de encontrar información para comprender mejor algún aspecto del mundo que es objeto de sus preocupaciones” (p. 26).

Escribir es un proceso tan importante como leer y no sabría decir cuál de los dos logra surtir mayor efecto en el aprendizaje de los conceptos en física. Creo que actúan de manera paralela y mientras se lee, se aprende, así como también se escribe. Cuando los estudiantes leen están obligados a entender la vida desde la perspectiva de quien escribe, están llamados a entender el mundo científico a la luz de lo que las leyes de la naturaleza predicen. No obstante, cuando escriben están llamados a tomar en sus manos los conocimientos del mundo explorado y gobernar el texto línea tras línea, para conducir a otro lector por caminos antes desconocidos, pero que lo llevan a la misma verdad en términos científicos. Es como tomar el concepto y moldearlo para poder producir un efecto o una transformación sin que se pierda el significado real sustentado en las leyes de la ciencia. Como dice Moreno (2005), al “transformar el conocimiento, nos referimos a apropiarnos de él, a adquirirlo o asimilarlo, a tener la posibilidad de acceder a él en cualquier momento, y ser capaces de reutilizarlo y generalizarlo pertinentemente en función de una intención comunicativa determinada” (p. 165). Escribir se convierte entonces en una habilidad que se consigue con el ejercicio que parte de la lectura minuciosa de textos, la organización de ideas, la estructuración de conceptos y el diseño planeado de lo que será el producto final del proceso. El escritor tiene también que enfrentarse a otros problemas mientras lee, puesto que en el propósito de encontrar la solución al asunto motivo de la lectura, se presentan muchos otros conceptos que

necesitan ser profundizados para entender en sí la literatura del texto. Escribir es como volver a componer un texto; no es una copia. Es lo que algunos autores llaman la recomposición de textos, que pueden ser de distintos ámbitos cognoscitivos como la literatura, las matemáticas, la biología o la física en nuestro caso. En particular, Moreno le ha llamado *trascodificación*:

La trascodificación, por tanto, implica, ante todo, realizar una lectura detenida de una información determinada para, después, presentarla de otra forma y mediante un código expresivo distinto. Semejante actividad sólo es posible si el alumno comprende bien el texto y, por tanto, ofrece al profesorado un buen sistema para conocer el grado alcanzado por el alumno en el desarrollo de la lectura comprensiva. (Moreno, 2005, p. 166)

Es importante anotar que este ejercicio de escribir a partir de la lectura no representa en sí un ejercicio de copia malintencionada de saberes. Es, por el contrario, una copia bien intencionada de saberes en torno a un problema planteado, en la cual quien escribe debe haber comprendido los conceptos que soportan el fenómeno, para poder modelar el texto hasta darle la originalidad que exige todo escrito auténtico. Al respecto, Moreno (2005) dice que

[...] la escritura se convierte, en este sentido, en la radiografía de nuestra capacidad para entender y expresar la complejidad que nos acucia. Si nuestro conocimiento de la complejidad del lenguaje es óptimo, también lo será nuestra expresión y, por tanto, la comprensión ajena. (p. 165)

Leer y escribir no son actos fáciles, aunque son actividades muy cotidianas en el ambiente escolar. Del mismo modo, leer para escribir implica la realización de procesos que ocasionan en el escritor el valioso resultado del aprendizaje.

[...] la escritura no es solo un canal de comunicación para transmitir ideas elaboradas con anterioridad, sino un instrumento para producir ideas, es decir, una actividad lingüística, cognitiva que permite repensar lo que se escribe y originar ideas nuevas, con lo cual la escritura tiene implicación en la comprensión del contenido disciplinar que se está abordando y que los docentes deben ayudar a comprender. (Rigo *et al.*, 2018, p. 155)

Según Moreno (2005), “el gran déficit del sistema educativo actual no es la lectura, sino la escritura. La forma más adecuada para hacer lectores es, por tanto, hacer escritores, o dicho por medio de un eslogan: a la lectura por la escritura” (p. 154). Y es que, tal vez, una de las mayores preocupaciones de los sistemas educativos es formar a los estudiantes como lectores competentes, lo que desplaza a un segundo plano el acto de escribir sobre lo leído e ignorando, el potencial que se esconde detrás del ejercicio escritor en cualquier área de formación. Es por esto que Lerner (2001) dice, una vez más, que lo necesario es que la escuela sea una comunidad de escritores que produzcan sus propios textos “para dar a conocer sus ideas, para informar sobre hechos que los destinatarios necesitan o deben conocer, para incitar a sus lectores a emprender acciones que consideran valiosas, para convencerlos de la validez de los puntos de vista” (p. 26). Cuando los estudiantes escriben, algo se transforma en su pensamiento, y es en ese momento cuando se puede evidenciar la profundidad de sus aprendizajes. En palabras de Castedo (2018), “la escritura transforma el mundo representado (el tiempo, el espacio, los objetos, la sociedad, el yo...) en objeto de reflexión y análisis porque afecta el proceso de pensamiento” (p. 19). Cuando escriben lo hacen no solo pensando en estructurar sus propios aprendizajes, sino buscando transmitir a una comunidad de lectores un aprendizaje sencillo sobre la realidad, con el ánimo de que quien lea también aprenda. Es entonces cuando el ejercicio de escribir tiene dos propósitos, no se trata de “escribir por escribir”. Es escribir para aprender y escribir para enseñar. Escribir para ordenar y estructurar un aprendizaje y, a la vez, escribir para enseñar algo a una comunidad de lectores, sobre la realidad del mundo físico en el que habitamos. Como dice Moreno (2005), es hacer que el estudiante se convierta en “emisor, autor, productor de textos, porque el hecho de escribir ayuda a la comprensión lectora [...]. Para hacerlo posible, habremos de entender la escritura como una forma privilegiada de explorar y descubrir ideas” (p. 164).

Es emocionante ver cómo en el proceso de aprendizaje interactúan de manera permanente estas dos estrategias. La lectura y la escritura se confabulan para lograr un propósito en quien lee y escribe. Cada una le aporta a la otra valiosos elementos para hacer posible en el sujeto, quien es lector y escritor a la vez, el acto de aprender. Lerner (2001) lo ratifica cuando dice que lo necesario es hacer de la escuela un ámbito donde la lectura y la escritura sean “prácticas

vivas y vitales, donde leer y escribir sean instrumentos poderosos que permitan repensar el mundo y reorganizar el propio pensamiento, donde interpretar y producir textos sean derechos que es legítimo ejercer y responsabilidades que es necesario asumir” (p. 26).

El lenguaje, ya sea oral, escrito o en cualquiera de sus expresiones, es tan indispensable para todo tipo de aprendizaje, puesto que siempre permite entender la realidad de lo que incluso no es tan evidente en los sentidos. Hernández y Yaya (2010) consideran importante el lenguaje en el proceso de aprendizaje ya que, cuando el estudiante discute los conceptos complejos o las teorías abstractas, “puede identificar si está lejos o cerca del razonamiento de la disciplina, evidenciar el tipo de razonamiento al interior de ésta y buscar ser coherente con esta nueva forma de entender la realidad” (p. 66). Realidad que siempre tocará la esencia de nuestros estudiantes y que le corresponde al profesor ser el activador de ese pensamiento crítico que permita buscar la explicación del porqué de las cosas.

No podría dejar de lado el proceso evaluativo de quien escribe, que en pocas palabras resulta ser la autoevaluación rigurosa del escritor, antes de dar a la luz su texto. Lo curioso de esta fase es que la evaluación autónoma de los escritos no es otra cosa distinta que la relectura minuciosa. Creo que este ejercicio es tal vez uno de los que toma mayor tiempo y dedicación, y puedo asegurar que es el que mayor esfuerzo representa para los estudiantes. Es necesario leer y releer los textos antes de presentarlos al lector, ya sea al profesor o a cualquiera otro, de la comunidad de lectores. En este proceso es necesaria la disposición de los estudiantes para revisar sus producciones, para mejorarlas y transformarlas en el medio eficaz para cumplir con los propósitos para los cuales fueron escritas. De esta forma, es posible que los estudiantes progresen en la adquisición de estrategias necesarias para revisar y perfeccionar sus propios trabajos, mediante la relectura detallada y continua de párrafo tras párrafo de sus textos (Lerner, 2001, p. 34).

En este proceso de leer, escribir y releer para corregir y volver a escribir, es indiscutible que se presente el afianzamiento de los aprendizajes. Es entonces cuando la escritura cumple, una vez más, con su doble función de ocasionar aprendizajes, no solo en quien escribe, sino también en quien lee el texto escrito, con la ventaja de que quien escribe ya habrá logrado mayores aprendizajes por

el acto de repetir la revisión de conceptos. Como se dice en Lerner (2001), “sin duda hay que leer para formar lectores y escritores, pero sobre todo hay que releer, conversar, pensar, discutir, ensayar, jugar y analizar... y volver a hacerlo muchas veces” (p. 19). Por esto mismo, es necesario que se delegue a los estudiantes la tarea de revisar sus propios escritos, para que de esta manera ellos se puedan enfrentar a los problemas de escritura que, tal vez, no podrían descubrir si el papel de revisor fuera ejercido siempre por el profesor (Lerner, 2001, p. 36).

Los procesos de lectura y escritura en clase de Física hacen parte de la dinámica estratégica del enfoque pedagógico institucional del aprendizaje basado en problemas. Los estudiantes se enfrentan al reto de dar respuesta a un interrogante que, en primer lugar, hace referencia a algún fenómeno de la naturaleza como, por ejemplo, por qué nos deslizamos al pisar una cáscara de banana. Después de planteada la pregunta y tras unos instantes de asimilación del suceso, los estudiantes escriben lo que piensan o creen saber de la situación planteada. Una lluvia de ideas hace posible la socialización y categorización de las necesidades conceptuales para llegar con éxito al abordaje de la situación. El docente que hace las veces de tutor enlaza estrategias (explicaciones, prácticas de laboratorio, solución de problemas, videos, ejercicios) para conducir al estudiante por una ruta de aprendizaje que permita entender el fenómeno, pero es sin lugar a dudas el mismo estudiante quien determina sus propios aprendizajes. En la etapa final, el estudiante asume el rol de escritor científico, tarea que le representa revisar sus aprendizajes varias veces, hasta lograr con éxito una buena versión de su publicación. Respecto a esto, es importante reconocer que el aprendizaje basado en problemas, como lo afirma Bermúdez (2021), “es uno de los métodos que favorece y ayuda a mejorar las habilidades, fortalecer sus capacidades, adquirir conocimiento, el concepto y la comprensión del currículo escolar” (p. 79). Por lo mismo, mediante su investigación, Bermúdez (2021) enfatiza en la necesidad de que en las instituciones educativas y universidades “se atiendan situaciones de la vida cotidiana, situaciones reales, resolver problemas y atender necesidades, en tanto que esto se logrará enfrentándolos a situaciones problemáticas reales, utilizando metodologías de aprendizaje” (p. 79).

## Metodología

En esta sección se presenta, en primer lugar, la metodología de la clase y del proyecto que se sustenta en el enfoque pedagógico del aprendizaje basado en problemas aplicado en la Institución Educativa Santa Teresa de Jesús de la ciudad de Ibagué. Por otro lado, se expone la metodología de investigación aplicada en estos últimos doce años de práctica pedagógica y que es la que ha permitido la presente reflexión.

Mediante el aprendizaje basado en problemas, el estudiante se enfrenta, primero, con un problema o una pregunta problematizadora, que resulta ser el pretexto perfecto para lograr todos los aprendizajes esperados y, en ocasiones, supera las expectativas, puesto que todo depende de qué tanto deseo científico tenga el estudiante por explorar el contexto que rodea al objeto motivo de estudio. La situación-problema enmarcada por el profesor debe ser tan genuina que logre despertar el pensamiento crítico de los estudiantes, al enfrentarse a una situación que necesita ser resuelta. Resolver esta pregunta o dar solución al problema por sí mismo no tiene mayor sentido. Lo relevante es realmente todo lo que el estudiante logra aprender mientras resuelve la pregunta. Por eso, la pregunta no es el aprendizaje en sí mismo. La pregunta o el problema es el camino para lograr muchos otros aprendizajes, y mientras se resuelve la pregunta o se encuentra la solución al problema, el estudiante logra crecer en conocimientos. Es, como dice Ribas (2004), “en el aprendizaje basado en problemas [que] el problema dirige todo el proceso. El problema no es más que una excusa para la construcción del conocimiento, pero es su centro aglutinador” (p. 85).

Lo que se observa tradicionalmente en las clases de física es que el profesor expone toda la información sobre una unidad didáctica específica y luego procede a aplicar los conceptos en la solución de problemas, que por lo general son de tipo numérico y requieren de una fórmula para su tratamiento. En el aprendizaje basado en problemas, el proceso sucede de manera distinta. Lo primero que debe presentarse al estudiante es el problema y a partir de este, sucede toda una serie de actuaciones que conducen a aprendizajes significativos. Como lo propone el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (2003), citado en Ribas (2004), “en el caso del ABP primero se presenta el problema, se identifican las necesidades de aprendizaje, se busca la información necesaria y finalmente se regresa al problema” (p. 84). De esta forma, los procesos

metodológicos que se realizan en clase de física se sustentan con esta secuencia, que parte del planteamiento de una pregunta-problema que se relaciona con el desempeño o la unidad correspondiente al periodo escolar.

En segundo lugar, viene la exploración de los saberes previos que tiene el estudiante en torno a la pregunta planteada y la identificación de los conceptos que deben ser estudiados para llegar a la solución del problema. En tercer lugar, se tiene el trabajo individual de indagación en el que se busca la información necesaria en distintas fuentes. Como etapa complementaria a la anterior y mediante prácticas pedagógicas tradicionales, se procede a la explicación grupal o individual de conceptos, lo cual se hace mediante exposiciones en el tablero, prácticas de laboratorio, realización de talleres, resolución de problemas numéricos y, en fin, todo el conjunto de estrategias que usualmente se consideran tradicionales. El trabajo individual en el ejercicio de escribir sobre la pregunta planteada es el siguiente paso, que se complementa con el trabajo colaborativo de exponer ante los demás grupos la solución a la pregunta planteada. Por último, se lleva a cabo la evaluación formativa, que incluye los procesos de autoevaluación, heteroevaluación y coevaluación.

La presente estrategia metodológica se encuentra caracterizada como un proyecto pedagógico institucional para décimo y undécimo grados de educación media, que se titula "Lectura científica. Explorando ando, leyendo entiendo y escribiendo aprendo". Después de diez años de implementación ha sufrido grandes transformaciones hasta llegar a ser hoy la estrategia que pretendo describir. No es un producto acabado y eso es interesante, porque indica que es un proceso que se encuentra vivo y que está sujeto a múltiples adecuaciones, porque siempre su éxito depende de los sujetos-autores de sus propios aprendizajes. No es el profesor el que ejerce el control sobre lo que deben aprender los estudiantes, son los estudiantes los que dirigen sus aprendizajes, que emplean, en este caso, la lectura y la escritura como los elementos potenciadores. Así, como asevera Ribas (2004), "en el aprendizaje por problemas el tutor es un facilitador ya que este proceso es responsabilidad exclusiva del alumno. El tutor debe actuar como catalizador, pero nada más" (p. 89).

El problema motivo de análisis (o la pregunta-problema que se planteó en la clase de Física) puede ser abordado de distintas formas; en el caso particular de la presente estrategia metodológica, es desarrollada mediante un proyecto

pedagógico, con base en una variable poco mencionada en el texto, pero que, sin lugar a dudas, influye en el éxito del proceso: el tiempo. En realidad, leer y escribir, así como releer para producir textos competentes, exige tiempo adicional al que puede ofrecer la jornada escolar habitual. De ahí que es el estudiante quien establece hábitos individuales de estudio que hacen posible el trabajo final en torno a la pregunta. En cuanto al trabajo individual, Hernández y Yaya (2010) destacan que “los aprendices están dispuestos a realizar acciones por su aprendizaje cuando éstas le aportan profundidad o mayor claridad” (p. 67). Esto es así, sobre todo, cuando los aprendizajes han logrado impactar y despertar la curiosidad por conocer más allá sobre los fenómenos de la naturaleza que son tan cotidianos, pero, después de estudiados, resultan ser realmente sorprendentes. Ahora, la ejecución de la propuesta pedagógica como un proyecto favorece, según Lerner (2001), “el desarrollo de estrategias de autocontrol de la lectura y la escritura por parte de los alumnos y abre las puertas de la clase a una nueva relación entre el tiempo y el saber” (p. 34). En ese sentido, es el mismo estudiante quien controla qué y en qué momento leer, cuánto tiempo destinar a la lectura y en qué momento está listo para dedicarse al ejercicio de escribir. Todo esto sucede de manera paralela, mientras transcurren los procesos tradicionales de la clase, la jornada habitual ordinaria en el ambiente escolar y el tiempo en casa.

Con el propósito de describir el artefacto y la secuencia didáctica, que contiene cuatro etapas y que de manera organizada marca el camino para el tratamiento de la pregunta-problema que se formuló en clase, se resalta un desempeño específico de la asignatura Física de undécimo grado y se presenta uno de los doce trabajos realizados por una de las estudiantes del curso en el 2020. Este se desarrolló con una extensión de cuatro páginas, tres de las cuales están manuscritas y la última digitada en Word.

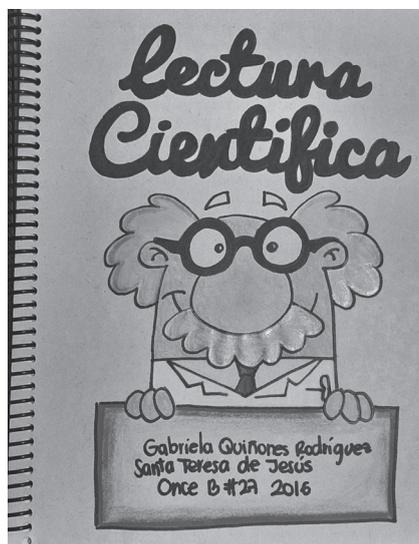
Para el desempeño relacionado con la unidad didáctica de ondas y específicamente ondas electromagnéticas, se presentó la siguiente pregunta: ¿por qué en el horno microondas es más fácil la cocción de alimentos? Esta pregunta es el punto de partida de la unidad y es el detonante de todos los aprendizajes que, como profesora, espero desarrollar en mis estudiantes. En un tiempo aproximado de cuatro semanas, con una intensidad horaria de tres horas de clase presenciales, pretendo que ellos adquieran los conceptos de onda, sus características, clases, tipos y fenómenos ondulatorios. Sin embargo, como el

aprendizaje, en este caso, es un proceso que depende del ritmo de estudio del estudiante, es muy posible que resulten muchos otros aprendizajes.

Para el proceso de construcción de los manuscritos se emplea un artefacto conocido coloquialmente como “cuadernillo de física”, que no es más que un conjunto de cincuenta hojas en blanco anilladas en un folleto, el cual es decorado llamativamente desde el comienzo del año escolar. Este viene siendo “la pizarra en blanco” en la que el estudiante explorador de la ciencia escribirá página a página la evolución de sus aprendizajes, a través de doce o más preguntas trabajadas detalladamente durante todo el año escolar. Como son varios cursos los que ejecutan el mismo proyecto, se ha elegido un color diferente para el empastado del cuadernillo con el propósito de facilitar la manipulación de este elemento cuando se hace la coevaluación de trabajos entre estudiantes de distintos grados. En la imagen 5.1 se muestra un modelo de cuadernillo empastado en color rosado con la portada respectiva.

Cuando se presenta la pregunta-problema, lo primero que hacen los estudiantes es escribir en su cuadernillo todo lo que creen saber sobre el fenómeno planteado, sin importar si ese conocimiento es cierto o falso. En este cuadernillo, los estudiantes plasman sus preconceptos, una expresión de algo que puede

Imagen 5.1. Cuadernillos como artefacto para escribir en clase de Física

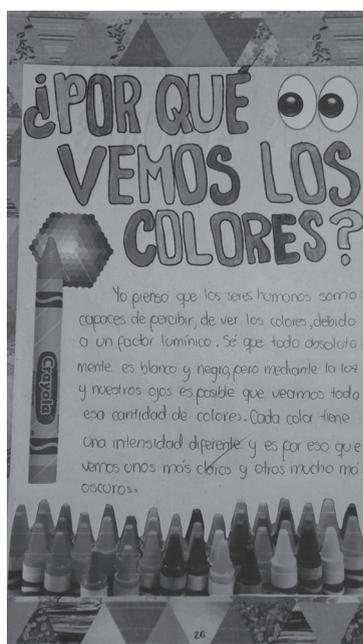


Fuente: datos de investigación. Fotografía propia.

ser poco o mucho, pero nunca suficiente, pues bien sabemos que siempre el ser humano está en constante aprendizaje y la ciencia evoluciona a cada instante. Cuando se plantea la pregunta, el estudiante escribe en una página titulada “¿Qué pienso?” todos los saberes previos asociados, tal vez, a experiencias reales vividas en su entorno. Para muchos, el mayor acercamiento al tema puede ser que nunca han tenido un horno microondas en casa y que tan solo han observado en comerciales de televisión que estos aparatos calientan en poco tiempo los alimentos que se introducen en un recipiente de vidrio. Aun si el estudiante cree no saber nada sobre el asunto, está obligado a especular sobre lo que podría ser este dispositivo y, de esta manera, empiezan a aparecer todas las necesidades conceptuales para salir de ese punto de insuficiencia en el que se encuentra. En la imagen 5.2 se muestra la primera página del proceso trabajado por un estudiante que, de manera sencilla, presenta los saberes previos que existen en su mente en relación con la pregunta planteada por el profesor.

Después de escribir esta sección, resultan muchos más interrogantes aparte de la pregunta en sí, y muchos más deseos de dedicarse a la lectura para conocer

Imagen 5.2. Sección “¿Qué pienso?” del cuadernillo de Física



Fuente: datos de investigación. Fotografía propia.

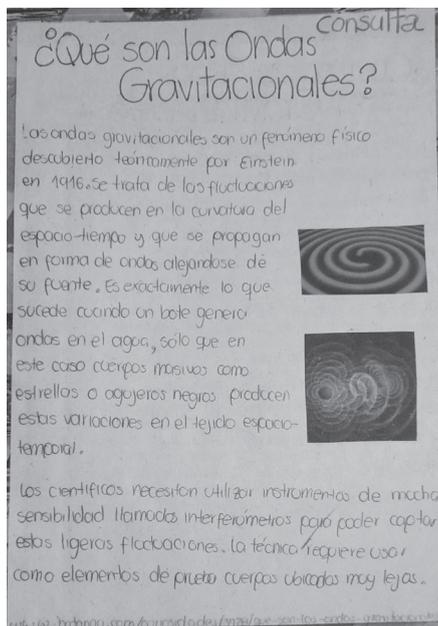
lo que encierra todo este misterioso aparato. Obsérvese que no es el fin principal responder la pregunta de por qué se cocinan más fácil los alimentos en este horno, sino conocer todo lo que científicamente encierra el fenómeno asociado al suceso. Tal vez lo primero que debe aparecer como cuestionamiento es qué es una microonda y, con ello, profesor y estudiantes, mediante conversaciones, van estableciendo una lista de conceptos conocidos y desconocidos, así como aquellos que son fundamentales en la revisión teórica. Es así como después de sondear un poco sobre lo que es una microonda, es necesario incluir otros conceptos como el de onda, del cual resulta implícito el concepto de energía y con el que es necesario también llegar a puntualizaciones.

Al hablar de ondas es necesario considerar su clasificación, ya que la onda, que es motivo de estudio, se encuentra dentro del espectro de radiaciones electromagnéticas. Por eso, el estudiante debe incluir en su estudio estos tópicos. Para poder entender las características de las microondas, debe saber identificar conceptos de periodo, frecuencia, longitud y velocidad de las ondas, entre otros aspectos. Es importante mencionar que mientras sucede el estudio individual por parte del aprendiz, el profesor, en los periodos de clase habitual, explica, pregunta, resuelve, soluciona, muestra experiencias, hace prácticas de laboratorio y, en general, amplía la visión teórica de lo que ocupa al estudiante.

El proceso anterior que sucede en tiempo extraclase se conoce como trabajo individual y se registra en forma manuscrita en la segunda página, titulada "Consulta", como se puede ver en la imagen 5.3. Allí el estudiante busca en varias fuentes la información necesaria para poder dedicarse, más adelante, al ejercicio de la escritura. La consulta puede realizarse durante varios días. Por eso, se les recomienda indicar la fecha de la consulta, la cita textual que servirá de apoyo para el artículo final y la fuente de la que proviene el aporte científico.

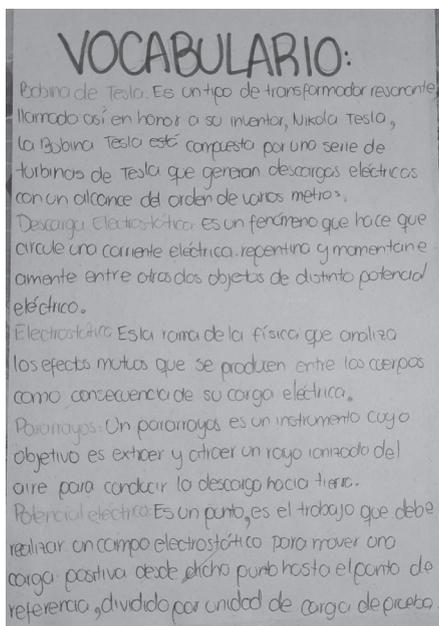
La tercera página contiene cinco términos que son las palabras claves del estudio realizado y que sirven para varios propósitos en el proceso. La primera función de esta página titulada "Glosario" y que se visualiza en la imagen 5.4 consiste en que quien escribe tenga en su mente una estructura detallada de cuáles son los saberes que se consideran estrictamente fundamentales y necesarios, para poder dar explicación al fenómeno. Quien va a escribir el texto final no podría dedicarse a este ejercicio sin tener completamente clara las definiciones de onda, frecuencia, Hertz, longitud de onda, microonda, onda electromagnética,

Imagen 5.3. Sección “Consulta” del cuadernillo de Física



Fuente: datos de investigación. Fotografía propia.

Imagen 5.4. Sección “Glosario” del cuadernillo de Física



Fuente: datos de investigación. Fotografía propia.

temperatura, calor, masa, entre otras. Una segunda función de esta página va asociada con el lector que en algún momento leerá el texto final. El lector tendrá de esta forma la definición amplia de cinco términos que dan cuenta de los saberes que sustentan la explicación. Son las palabras y las definiciones que le permitirán entender por qué el horno microondas puede cocinar más fácil los alimentos o incluso, dependiendo de lo que el lector quiera transmitir, podrá entender si es favorable o no el uso de hornos microondas en la vida saludable del ser humano. Una tercera función se puede asociar al papel evaluador del profesor, quien fácilmente podría determinar detalles de la profundidad del texto y del trabajo de indagación de quien escribe. Términos como alimentos, cocina, aparato, horno, rapidez, vueltas y muchos otros, aunque pueden ser de utilidad tanto para el lector como para el escritor, no son fundamentales a la hora de explicar todo lo que encierra el fenómeno y, por el contrario, desplazan a los que sí pueden dar cuenta de una explicación teórica de mayor peso científico.

Algo importante por destacar es que los textos finales siempre deben gozar de dos características esenciales. Por un lado, la profundidad teórica y, por otro, la sencillez en las explicaciones, de tal forma que quien lee entienda a cabalidad todos los argumentos. Tan sencillo como lo ratifica la frase célebre de Albert Einstein (1879-1955), en la que se consigna que “la mayoría de las ideas fundamentales de la ciencia son esencialmente sencillas y por regla general pueden ser expresadas en un lenguaje comprensible para todos”.

Una última etapa de este proceso escrito lo constituye la elaboración del texto final, que no es otra cosa que la estructuración del pensamiento en torno a la pregunta planteada. Es aquí en donde se producen los mayores aprendizajes, puesto que quien escribe se dispone, primero, a la tarea de hilar los aprendizajes en un tejido de conceptos que debe ser atractivo y sencillo para su comunidad de lectores. La escritura del texto, a diferencia de las tres secciones anteriores, se realiza en formato digital teniendo en cuenta algunas especificaciones de forma y fondo, como se observa en la imagen 5.5. La fuente tipográfica recomendada es Times New Roman, tamaño 12 puntos con espaciado de 1,0 y a dos columnas. Después del título, que resulta ser la misma pregunta planteada, el estudiante redacta una introducción que puede contener apartes de la sección “¿Qué pienso?”, o sencillamente aspectos llamativos sobre el objeto de estudio. Este será el párrafo que atraerá delicadamente al lector para que continúe con la lectura del texto.

### Imagen 5.5. Sección “Texto final” del cuadernillo de Física

**¿POR QUE EL MAIZ PIRA EXPLOTA ?**

En el grano de maíz, surge inmediatamente la pregunta: ¿por qué explotan y se convierten en palomitas?

Los amerindios ya hacían palomitas en tiempos precolombinos, pero a pesar de su larga historia, no fue hasta 1983 que se propuso un mecanismo que explicara su formación. Morfológicamente, el grano de maíz está recubierto por una cobertura o pericarpio y, en su interior, se encuentra el pequeño germen de la futura planta y el endospermo, donde se almacena el alimento para el embrión en forma de almidón, junto con algo de agua. En algunas variedades de maíz la cobertura es más gruesa y presenta una disposición muy densa de fibras de celulosa. Esto hace que dicha cobertura exterior se comporte como un recipiente estanco: dicho de otra manera, se comporta como una pequeña olla a presión.

Cuando se calientan los granos hasta una temperatura de 66°C, el almidón absorbe la humedad contenida en el interior del grano. Al continuar calentando llega un momento en que se alcanza la temperatura de ebullición del agua. Si el revestimiento fuera poroso, el vapor de agua escaparía del interior del grano. Pero el revestimiento en esta variedad de maíz no solo no es poroso sino que, además, es muy resistente. Así que, a medida que los granos se calientan a temperaturas superiores a los 100°C sin cambios notables, la presión interna en los mismos va aumentando. Cuando se alcanzan temperaturas del orden de 175-180°C, la presión interna en los granos llega a ser unas nueve veces superior a la atmósfera y la cobertura explota: el agua absorbida en el almidón se evapora y se expande rápidamente, y el almidón acaba en forma de espuma seca y crujiente. El almidón suave dentro de las palomitas de maíz se infla y se derrama, enfriándose inmediatamente y tomando la extraña forma que conocemos y amamos. ¡El grano se va a expandir de 40 a 50 veces su tamaño original!



Gabriela Quiñones Rodríguez

Fuente: datos de investigación. Fotografía propia.

Así, se continúa con el cuerpo del artículo, que goza de una estructura de conceptos que enlazan la explicación del fenómeno partiendo de lo particular a lo general o, por el contrario, del todo a las partes. Aquí quien escribe puede emplear definiciones, hacer citas textuales o parafrasear ideas de otros escritores. Lo importante es que pueda conducir al lector al entendimiento del fenómeno que se cuestiona en la pregunta. Es indispensable que se dedique el párrafo final para cerrar la explicación de la situación y concluir con base en la teoría o la ley científica que sustentaron los argumentos. Durante el proceso de escritura es importante la orientación del docente quien, como facilitador, sugiere a los estudiantes algunas recomendaciones respecto a la secuencia lógica de los contenidos. En nuestro caso específico, después del párrafo de introducción, el docente puede sugerir que en los cuatro párrafos siguientes, antes de concluir, se consideren respectivamente aspectos sobre lo que es una onda; luego, sobre el espectro electromagnético en general; después centrarse específicamente en las microondas, y finalmente llegar a analizar el funcionamiento del horno.

Este ejercicio puede motivar a los estudiantes a plantear otras secuencias en el proceso de escribir y es así como, después de la introducción, tal vez alguno quiera incluir como primer párrafo la descripción del horno para llegar finalmente a la explicación de lo que es una microonda dentro del espectro electromagnético. Después de imprimir el texto, los estudiantes proceden a pegar su artículo en el cuadernillo y presentarlo para su valoración, la cual está sujeta a procesos de heteroevaluación, autoevaluación y coevaluación. La autoevaluación sucede cuando el estudiante se enfrenta a la relectura de su texto, ejercicio que debe repetirlo varias veces y en voz alta con el fin de detectar errores en los procesos de escritura. La coevaluación sucede cuando el texto es leído y evaluado por compañeros del mismo curso o incluso de cursos diferentes. Allí los evaluadores, además de revisar ortografía, puntuación, uso de mayúsculas y redacción, deben identificar la idea central de cada párrafo, la teoría científica o definición que sustenta el fenómeno y determinar si existe una secuencia lógica que permita la conducción apropiada de la explicación. Además, debe identificar si la conclusión permite redondear los aprendizajes en física en torno a la pregunta planteada. No puede olvidarse la importancia de explicar el fenómeno con la mayor sencillez y naturalidad posible, a través del uso de ejemplos, comparaciones y demás recursos literarios. La heteroevaluación, que es el último proceso, la realiza el docente; esta etapa incluye, además de la revisión del texto final, la presentación de los resultados.

La socialización de resultados se ejecuta en grupos de trabajo que previamente se han reunido para compartir los saberes adquiridos en torno al ejercicio. Tales agrupaciones leen los trabajos de sus compañeros de manera cooperativa, retroalimentan aprendizajes y preparan una exposición que incluye todo lo que significó esta búsqueda. En un tiempo máximo de diez minutos socializan la respuesta a la pregunta, la cual, una vez más, no existe en sí misma, sino que es el pretexto para lograr todos los aprendizajes de los cuales ellos mismos fueron los protagonistas.

En relación con el método de investigación que ha facilitado la evolución de esta propuesta, es necesario resaltar la observación y la imaginación pedagógicas como elementos indispensables dentro de la investigación crítica que la sustenta. La observación de la propia práctica ha sido fundamental para detectar cuáles han de ser los agentes de cambio que surtirán los mejores efectos

en la transformación de los aprendizajes de los estudiantes. Carr (1996) dice que “mediante el poder de la práctica educativa, los docentes desempeñan una función vital en el cambio del mundo en que vivimos” (p. 17). Por eso, tener la posibilidad de observar la realidad en las clases de física e imaginar mejores aprendizajes son elementos de partida para asumir el rol de investigador en el aula. Cuando se imaginan otras posibilidades que pueden ser mejores que la situación concreta que se está llevando en el aula (situación actual), se activa el espíritu creativo del profesor que busca experimentar con sus estudiantes en ese laboratorio llamado salón de clase. Luego, al proponer una situación arreglada que es una alternativa práctica que surge de la negociación (situación dispuesta), se puede visualizar un nuevo escenario pedagógico (situación imaginada). Entre la situación actual y la dispuesta, existe una organización práctica que hace posible la implementación metódica de las estrategias planeadas, es decir, una puesta en marcha de todos los nuevos recursos que se imaginaron en procura de mejores resultados. Entre la situación dispuesta y la imaginada pueden suceder muchas cosas, y es mediante el razonamiento exploratorio con el que se pueden visualizar los hallazgos, los avances o las imperfecciones de los procesos. Por último, entre la situación actual y la situación imaginada, surge lo que se conoce como la imaginación pedagógica, esa misma capaz de producir grandes transformaciones en el diario quehacer del profesor y del estudiante. Esa imaginación pedagógica que, permeada por la negociación y cooperación permanente, actúa de manera paralela con la investigación crítica.

## Resultados

Para esta parte es necesario asumir el rol de observador dentro de este tejido llamado investigación. ¿Qué se observa en los estudiantes cuando ha finalizado el ciclo de responder una pregunta según la secuencia planteada?

En primer lugar, se observa lo tangible, lo visible, lo palpable, que en este caso es el producto escrito en los textos finales, los cuales dejan ver el trabajo organizado y planeado, propio de lectores y escritores competentes. Es distinto realizar una producción textual sin parámetros que realizar un escrito siguiendo unos protocolos establecidos. Por esta razón, destaco que el primer resultado radica en la aprehensión de conceptos de manera organizada y jerarquizada,

momento en el que el escritor se dio a la tarea de organizar lo que aprendió y, después de leer y releer su texto, afianzó sus conocimientos. Al escribir un texto, los estudiantes aprenden y esto se manifiesta en la coherencia de los escritos y en la forma como manifiestan haber entendido, de manera sencilla, aspectos de la física que antes eran confusos.

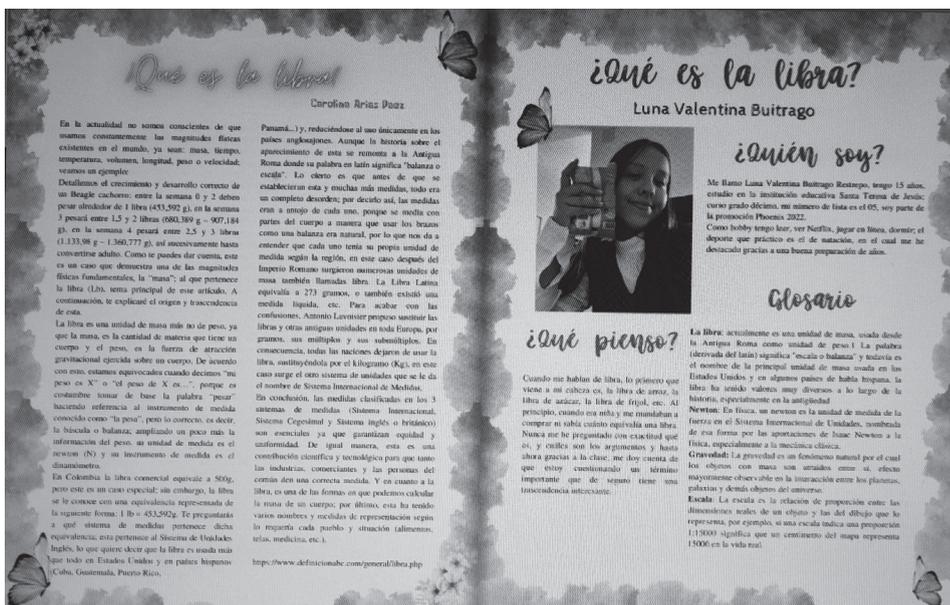
En segundo lugar, a partir de la pregunta propuesta, quien lee demuestra aprendizajes cuando, en la socialización de los saberes, habla con dominio teórico sobre todo lo que aprendió mientras leía y escribía. Diez minutos de exposición son pocos para hablar en público sobre el tema. Es más sencillo conversar de temas que se conocen y en los que, durante varias semanas, el aprendiz ha tenido la oportunidad de explorar. Sobran palabras para hablar y expresar todo lo que se quiere decir respecto a un concepto que antes era desconocido. No hay temor cuando hay confianza de haber manipulado el concepto y haber degustado, en sus múltiples presentaciones, la teoría que sustenta lo maravilloso de un fenómeno.

En tercer lugar, mientras resuelven preguntas de situaciones cotidianas, los estudiantes descubren lo maravilloso de la naturaleza en la que viven y se nota en ellos el deseo de descubrir otras situaciones nuevas. Esto es patente cuando, al empezar cada sección, sienten curiosidad por saber más de la física incluida en cada evento. No hay un indicador para medir este resultado, que se mueve entre el límite de lo teórico y lo emocional.

Para hacer mención del otro logro de este proceso, es necesario hacer la presentación de una de las innovaciones que, debido a la obligatoria inmersión de la escuela en la virtualidad a causa de la pandemia por COVID-19, surgió en 2020: se trata de la elaboración del libro digital en la página web Wix, en donde están publicados los libros de seis grupos estudiantiles, que cuentan con cuarenta artículos cada uno y que incluyen la solución a veinte preguntas relacionadas con fenómenos de la naturaleza, tal como lo muestra la imagen 5.6. En los años anteriores, los estudiantes presentaban su trabajo final impreso y se realizaba la encuadernación del compendio de cada uno de los libros de cada curso.

En relación con los resultados grupales, se observa que cada uno de los seis cursos publicó su libro digital de la clase de Física con cuarenta textos científicos correspondientes al trabajo de cada uno de los estudiantes del salón, lo que indica que todos lograron desarrollar varias habilidades para leer y escribir de manera competente. Cada estudiante, durante el año escolar, trabajó en diez

Imagen 5.6. Libros digitales de “Lectura científica”



Fuente: tomado de <https://lecturacientificas.wixsite.com/iestj>.

temas distintos correspondientes a las preguntas planteadas en la tabla 5.1 y al final seleccionó el tema que consideró de mayor interés o de mejor dominio según sus habilidades.

De los 240 textos publicados, 125 se encontraron en un nivel superior con calificaciones comprendidas entre 4,7 y 5,0, debido a la excelencia en la redacción, la ortografía, la puntuación y el manejo de la información al tener en cuenta las pautas dadas durante el proceso. De los restantes, 100 se ubicaron en un nivel alto con calificaciones comprendidas entre 4,0 y 4,6, debido a que, aunque lograron el objetivo de responder a la pregunta planteada, pueden mejorar ciertos aspectos de redacción y manejo de la información, de tal forma que exista secuencia y jerarquización de los conceptos. Solamente 15 de los 240 textos se ubicaron en un nivel básico, con calificaciones comprendidas entre 3,5 y 3,9, debido a que faltó profundidad en el dominio conceptual, ampliar la extensión del texto y llegar a una conclusión acertada de la presentación. Los criterios que se tuvieron en cuenta para determinar las calificaciones anteriores se encuentran especificados en la tabla 5.2, junto con los aspectos positivos y por mejorar observados por la docente.

**Tabla 5.1. Preguntas de los textos científicos publicados en los libros digitales de la clase de Física**

Pregunta-problema	Cantidad de textos publicados	Grado
¿Cómo se mide en Colombia?	15	Décimo
¿Qué es un pie (ft)?	15	Décimo
¿Por qué Estados Unidos no adopta en su totalidad el sistema internacional de medidas?	12	Décimo
¿A qué velocidad se mueve nuestro planeta tierra?	12	Décimo
¿Qué es el fenómeno de la gravedad?	12	Décimo
¿Qué es más veloz: la luz o el sonido?	12	Décimo
¿Cómo se produce el viento?	12	Décimo
¿Qué es el <i>fracking</i> ?	30	Décimo y undécimo
¿Cómo se <i>ecolocalizan</i> los murciélagos?	9	Décimo y undécimo
¿Qué es el eco?	9	Undécimo
¿Qué es la aceleración?	9	Undécimo
¿Por qué nos quedamos pegados a las cosas congeladas?	9	Undécimo
¿Por qué no podemos ver la luz infrarroja?	9	Undécimo
¿Cómo emite el zancudo su sonido característico?	9	Undécimo
¿Por qué una nevera puede enfriar?	9	Undécimo
¿Por qué debemos inclinarnos hacia adelante para levantarnos de la silla en la que estamos sentados?	9	Undécimo
¿Por qué sentimos que se nos tapan los oídos cuando vamos en un avión?	9	Undécimo
¿Por qué en el horno microondas es más fácil la cocción de los alimentos?	9	Undécimo
¿Qué es la aurora boreal?	9	Undécimo

Fuente: elaboración propia.

Aunque la principal preocupación y el objetivo del estudio era determinar si se logran aprendizajes significativos con la implementación de técnicas de lectura y escritura en clase de Física, es importante destacar que una inquietud adicional y transversal a todas las instituciones educativas es alcanzar puntajes superiores en las pruebas Saber 11 diseñadas por el Icfes, ya que es la forma como se determina el nivel de la calidad educativa de los colegios. Respecto

Tabla 5.2. Criterios de evaluación de los textos científicos presentados por los estudiantes

Criterio de evaluación	Aspecto positivo	Aspecto por mejorar
Párrafo introductorio que muestre una visión del contenido del artículo y que motive al lector.	La mayoría de los estudiantes logra relacionar anécdotas con el tema por desarrollar, lo cual muestra que el tema es interesante. Además, escriben este párrafo con gran naturalidad al emplear recursos literarios que hacen sentir al lector que lo que van a leer es algo sorprendente.	Algunos estudiantes inician su artículo definiendo la teoría científica y no logran cautivar al lector con una introducción sencilla. Algunas introducciones exceden el manejo de los recursos literarios, lo que aleja al texto de la objetividad propia de los artículos científicos.
Secuencia teórica dentro del texto que facilite el desarrollo de la teoría con un orden lógico del todo a las partes, o viceversa.	Los estudiantes dividen el cuerpo del artículo en cuatro o cinco párrafos, cada uno con una idea distinta. Cada párrafo contiene información diferente que permite entender el fenómeno planteado en la pregunta. Existe una secuencia lógica en los temas tratados en cada párrafo, de tal manera que se observa un orden en el desarrollo conceptual. No existen dos párrafos con el mismo tema.	Algunos artículos poseen un solo párrafo extenso que da explicación del fenómeno de manera compleja. En un solo párrafo existen muchas ideas que cansan visualmente al lector. En otros casos existen varios párrafos con la misma idea y ubicados de tal manera que no existe secuencia en el desarrollo de los contenidos. Se presentaron algunos casos de plagio.
Sencillez conceptual mediante la presentación de ejemplos variados de situaciones reales del entorno.	En el desarrollo del contenido se fueron presentando ejemplos de la vida cotidiana que permitieron entender las explicaciones de cada uno de los párrafos. No se emplearon fórmulas matemáticas, ni operaciones y símbolos que hicieran perder la continuidad del texto escrito.	Algunos artículos presentaron solamente la teoría científica sin ofrecer al lector algunos ejemplos o explicaciones para hacer más entendible el fenómeno. El trabajo presentado por algunos estudiantes tuvo la apariencia de resumen en vez de ser un texto original.
Redacción de calidad con párrafos bien estructurados, con buena ortografía y puntuación.	La escritura fue presentada con buena puntuación. El uso de las mayúsculas fue apropiado y la redacción del texto fue revisada varias veces y con gran detenimiento, para así lograr un escrito de alta calidad.	Existe dificultad para separar las ideas dentro de los párrafos empleando signos de puntuación, en especial el punto seguido. También se observó dificultad para el empleo de mayúsculas. Algunos párrafos tienen más de una idea y se hacen muy extensos. Se nota que no hubo revisión minuciosa de los escritos.

Continúa...

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Aspecto positivo</b>	<b>Aspecto por mejorar</b>
Párrafo final con la conclusión que redondea los conceptos científicos empleados.	En el párrafo final se expresa la conclusión teórica que sustenta el fenómeno motivo de estudio planteado en la pregunta-problema. La conclusión contiene máximo ocho líneas y se encuentra en el último párrafo del texto.	Existe dificultad para concluir el texto y concretar de esta forma la teoría científica que sustenta el fenómeno. El párrafo de conclusión no aparece al final, sino que está dentro del cuerpo del artículo. En algunos casos la conclusión es muy extensa o breve, y no cumple con el propósito.
Explicación clara y concisa del fenómeno físico.	Al finalizar la lectura del artículo, se entiende perfectamente la explicación del fenómeno.	Aunque se trabajó todo el artículo en dos columnas, no se logró llegar a la explicación del fenómeno.

Fuente: elaboración propia.

al objetivo de investigación, es evidente que se logran aprendizajes significativos, puesto que los 240 estudiantes lograron aplicar sus conocimientos en la explicación de por lo menos diez situaciones reales del entorno. A diferencia del resto de estudiantes que no escriben para publicar, estos estudiantes pudieron emplear procesos mentales para organizar sus ideas, enlazar conceptos, presentar ejemplos y comparaciones, y sobre todo, para leer y releer sus textos hasta alcanzar el nivel de calidad esperado.

Respecto al rendimiento en las pruebas Saber 11, los resultados siguen mostrando que el formar escritores competentes en clase de Física mediante esta estrategia no implica asegurar el éxito en los exámenes de Estado. Los puntajes indican que en la Institución Educativa Santa Teresa de Jesús de la ciudad de Ibagué, en el área de ciencias naturales, la tendencia en los últimos cuatro años es descendente, con promedios de 60 (2018), 60 (2019), 57,4 (2020) y 59 (2021).

Por otro lado, la encuesta de evaluación institucional anual realizada a estudiantes y padres de familia arroja apreciaciones variadas respecto al proceso en clase de Física. Aunque valoran la importancia del proyecto de aula, indican que el tiempo es un factor considerable, ya que exige muchas horas y esfuerzo para poder llegar al resultado final, que no corresponde a las tres horas de intensidad horaria destinada a esta asignatura. Por lo general, el tiempo empleado en casa es muy superior e implica largas jornadas que resultan en ocasiones agotadoras debido a que las estudiantes tienen muchas otras ocupaciones en las demás asignaturas.

Del mismo modo manifiestan que una pregunta implica el dominio de muchos temas y la profundidad que se le da a cada uno de ellos no es suficiente, por lo que parece ser muy disperso el contenido temático. Muchas estudiantes consideran que es mejor el desarrollo de las clases en la forma tradicional, ya que requiere menos esfuerzo y, además, al ser el docente quien orienta los aprendizajes, se garantiza mejor manejo del tiempo y el avance en los contenidos planeados para el año.

Como docente observo que los 240 estudiantes lograron el objetivo de publicar su texto informativo, siguiendo en su mayoría los estándares de calidad requeridos para el proceso; sin embargo, no todos demuestran el mismo interés y motivación. Para algunos, es un proceso emocionante y que se disfruta; sin embargo, otros hacen las actividades en busca de una calificación. Para mí, exige mucho más tiempo el proceso de evaluación, puesto que, aunque empleo estrategias de revisión entre cursos, es necesario dedicar esfuerzos para revisar los escritos de cada uno de los 240 estudiantes y dar pautas para mejorar los procesos.

Las tres horas semanales de clase resultan insuficientes y, ciertamente, aunque se trabajan los contenidos de manera tradicional con explicaciones en el tablero, prácticas de laboratorio y solución de problemas, es necesario emplear muchas horas de clase para desarrollar habilidades de lectura y escritura que no corresponden directamente con la asignatura. Esta situación pareciera mostrar una pérdida de tiempo incluso para las directivas y padres de familia. Como resultado, quedan entonces observaciones no muy favorables para mi labor docente, ya que las directivas piden implementar acciones correctivas para trabajar de manera más puntual los conceptos de física y lograr superar, en los próximos años, los resultados en las pruebas Saber 11 dentro del área de ciencias naturales.

## **Discusión**

Leer y escribir son actividades tan indispensables para el ser humano, puesto que hacen parte de los procesos de comunicación entre los individuos para facilitar la convivencia y supervivencia del hombre en el entorno. En la escuela, la lectura y escritura son usadas en todas las áreas de formación; sin embargo,

formar lectores y escritores competentes parece ser una tarea exclusiva del área de castellano. La presente reflexión pedagógica permite, en primer lugar, reconocer la importancia de la lectura y escritura en los procesos de aprendizaje de otra área del conocimiento como es la física, que es el principal hallazgo de la investigación. En segundo lugar, es importante identificar que son pocos los estudios en esta área, por lo que la secuencia didáctica presentada de cuatro pasos es una estrategia innovadora que reconoce en la lectura y la escritura el gran potencial existente para lograr aprendizajes significativos en esta asignatura. En tercer lugar, se destaca que lograr aprendizajes significativos es una tarea bastante compleja, por lo que la presente investigación, que focalizó su implementación en la solución de preguntas y problemas reales asociados a fenómenos de la naturaleza, representa un importante hallazgo que permite visualizar su éxito mediante evidencias reales, como los textos informativos escritos por los estudiantes.

En relación con el primer hallazgo y al responder a la pregunta “¿Qué y cómo aprenden los estudiantes mientras leen y escriben?”, no podría cuantificar una respuesta al respecto; sin embargo, al igual que otros autores, podría asegurar que se logran muchos más aprendizajes que los que se pueden conseguir por el método tradicional. Para escribir hay que leer y mientras se escribe se sigue leyendo. No sé en qué orden de importancia vayan estas dos herramientas, pero lo que sí sucede es que interactúan ambas de manera paralela para conseguir un aprendizaje fijado en el estudiante, que se dedica al ejercicio metódico de leer y escribir para aprender en la clase de Física. Al respecto, es importante destacar el papel fundamental que siempre ha desempeñado la lectura y la escritura en los procesos pedagógicos dentro del aula, de tal forma que es imposible concebir la educación sin estas dos estrategias; sin desconocer obviamente toda esa gama de recursos que interactúan. Del mismo modo, no se deben ignorar todos los factores externos que pueden influir para que un aprendizaje se torne significativo, incluidos los que se refieren a lo emocional. Lo que para un estudiante puede parecer sumamente importante, tal vez para otro resulte ser algo insignificante. Como lo dicen Solé y Castells (2004) “[...] asumimos que el aprendizaje y los procesos que conducen a él no constituyen una única entidad” (p. 6).

Y es cierto, puesto que además de que cada individuo aprende a su propio ritmo, existen también muchos criterios para poder determinar en qué nivel se

encuentra lo significativo de un aprendizaje. Lograr un aprendizaje significativo en clase de Física, sin importar cuál sea su nivel, es uno de los desafíos de todo profesor; sentir que mediante el ejercicio sistemático de la escritura se dan pasos en este logro es ya una ganancia. La escritura es una herramienta de aprendizaje significativo en clase de ciencias, ya que esta favorece la comprensión conceptual significativa en la medida en que, en el acto, el estudiante que escribe puede vincular nuevos conceptos con otros preexistentes (Correa, 2016). También, según Bereiter y Scardamalia, citados en Correa (2016), cuando un autor resuelve una tarea de escritura, la hace de tal forma que hace representaciones mentales, analiza el problema y establece los propósitos y objetivos que pretende conseguir mediante el texto. Seguidamente, se enfrenta a dos grandes aspectos de la composición escrita, como el saber qué va a escribir y cómo va a hacerlo. El primer aspecto queda resuelto en el espacio de problemas de contenido, en el cual toda la información que ha quedado almacenada en la memoria del escritor es transferida al espacio de problemas retóricos, un área en la que se deben resolver los problemas en torno a su verbalización, de tal manera que estén acordes con la audiencia hacia la cual va dirigido el texto. Bereiter y Scardamalia mencionan que estos procesos pueden llevar al escritor a nuevos problemas de contenido, lo cual obliga al escritor a volver a reflexionar sobre lo que está escribiendo, a buscar más información en otras fuentes y a recurrir a ideas complementarias, entre muchas otras posibilidades.

Se puede decir aquí que la escritura de textos informativos en clase de Física permite desarrollar todos los procesos antes mencionados. Los estudiantes tienen que reflexionar sobre lo que están escribiendo, cosa que se logra con la práctica de la lectura en voz alta y permanente de sus escritos. También deben considerar las distintas posibilidades para expresar una idea y la forma como esta idea se relaciona con las demás ideas en el texto. Del mismo modo, deben verificar si lo que está escrito coincide con el propósito para el cual fue escrito el texto, y si lo escrito expresa el significado que se quiere transmitir. De esta forma, como lo dice Correa (2016), “estas y otras operaciones cognitivas transforman la matriz ideacional del escritor de modo que, al finalizar el proceso de composición textual y gracias a la dialéctica propia de ese proceso, el escritor sabe más y/o comprende mejor aquello sobre lo que ha escrito” (p. 655). Experiencias como las mencionadas por los anteriores autores son algunas de las tantas que

se han vivenciado en clase de Física, mediante la ejecución de la estrategia. Son momentos que hacen significativo el impacto de este primer hallazgo.

En segundo lugar, la presente investigación, que lleva más de diez años de implementación en la institución educativa Santa Teresa de Jesús de la ciudad de Ibagué, es la primera secuencia didáctica de cuatro pasos que de manera sistemática involucra la lectura y la escritura de textos informativos relacionados con preguntas y problemas sobre fenómenos naturales del entorno en los procesos de aprendizaje de la asignatura Física. La evidencia del proceso muestra que es posible formar lectores y escritores competentes en esta área, por medio del ejercicio sistemático de estrategias que conducen a la apropiación progresiva del conocimiento, hasta el punto de poder producir textos informativos con los cuales el lector se informa, pero, sobre todo, con los que el escritor aprende. Es una estrategia innovadora que puede ser implementada en otras comunidades educativas, que no excluye poblaciones, puesto que sin importar que tan experto sea un estudiante en el ejercicio de escribir, la rutina de los cuatro pasos permite fortalecer paso a paso el dominio conceptual hasta formar lectores y escritores competentes en esta área. Requiere de tiempo y de esfuerzo, tanto de estudiantes como de docentes; sin embargo, la recompensa es grande cuando se ven los avances en la técnica de cada aprendiz. Otros investigadores también reconocen la importancia de la lectura y escritura en los procesos de aprendizaje de las distintas áreas del saber científico. Manifiestan la necesidad de implementar estrategias secuenciales encaminadas a lograr el objetivo de los aprendizajes significativos en la escuela. De esta forma, Castedo (2018) afirma que

[...] si se trata de aprender sobre un contenido de sociales o naturales (y no solamente informarse sobre un tema de interés), se requiere planificar secuencias que transiten las situaciones necesarias para avanzar en la comprensión de los contenidos de tales disciplinas. (p. 19)

Por eso, al igual que Castedo, considero que la secuencia de los cuatro pasos para leer y escribir en clase de Física resulta ser una de las tantas herramientas eficaces para producir aprendizajes significativos en las estudiantes. En tercer lugar, es importante destacar que los ejercicios de lectura y escritura adecuados

en cualquier asignatura resultan ser más dinámicos si tienen relación con sucesos que impactan la realidad de quien escribe. Pensar, leer y escribir sobre los fenómenos que la naturaleza nos regala a diario resulta sencillo, puesto que todos los seres humanos estamos expuestos a esa realidad que impacta nuestros sentidos. Cuando se trata de explicar un fenómeno natural, todos los estudiantes están llamados a iniciar desde un punto de partida igualitario para lograr la meta de un aprendizaje significativo, que puede ser diferente en cada uno según sus motivaciones. Comparto el mismo sentir de Lerner (2001), que en pocas palabras dice que lo necesario es “aunar nuestros esfuerzos para alfabetizar a todos los alumnos, para asegurar que todos tengan oportunidades de apropiarse de la lectura y la escritura como herramientas esenciales de progreso cognoscitivo y de crecimiento personal” (p. 42).

En cuanto a los obstáculos que se presentan en el proceso, es necesario mencionar el currículo y el tiempo, que deben ser tratados por los agentes directamente involucrados y que pueden ser los dinamizadores de los cambios a futuro. El currículo oficial muchas veces crea límites al establecer la secuencia de contenidos que deben ser desarrollados durante un periodo académico y con un tiempo específico. Sin embargo, cuando un estudiante se enfrenta a la visión teórica del objeto motivo de estudio, no tiene fronteras. Es ahí cuando, al igual que Lerner (2001), podría asegurar que “precisamente por ser prácticas, la lectura y la escritura presentan rasgos que obstaculizan su escolarización: a diferencia de los saberes típicamente escolarizables que se caracterizan por ser explícitos, públicos y secuenciales” (p. 28). También, como lo dicen Rigo *et al.* (2018), “el desafío de la escuela es proporcionar herramientas para un desarrollo más integral y seguramente más satisfactorio, habilitando la posibilidad de ligar el placer que puede generar el aprendizaje con las exigencias institucionales” (p. 165).

La propuesta motivo de la presente reflexión y que encaja en el enfoque pedagógico del aprendizaje basado en problemas requiere cambios significativos en el currículo institucional. No se puede continuar con un aprendizaje fundamentado en proyectos mientras que las dinámicas de los procesos están enmarcadas dentro del esquema de la escuela tradicional, con límites en la intensidad horaria y en los contenidos planeados. Mientras que, para la docente, el proceso representa la posibilidad de formar y fortalecer aprendizajes significativos,

para muchos estudiantes implica un trabajo que requiere demasiado esfuerzo y tiempo, que no corresponde con las calificaciones obtenidas. De esta forma, los resultados obtenidos y que comparto en la reflexión tienen el mismo sentir de la investigación realizada con estudiantes y profesores de la licenciatura de Biología sobre la implementación del aprendizaje basado en problemas como prueba piloto de adaptación al espacio europeo de educación superior, con estudiantes de seis promociones comprendidas entre 2005 y 2011, en Barcelona, España. Según Carrió *et al.* (2018), en su investigación se repitió el siguiente comentario: “era una manera de aprender que requería mucho tiempo de dedicación comparado con las actividades docentes tradicionales y se identificó un porcentaje bajo de estudiantes que prefería las clases expositivas al ABP” (p. 147).

En definitiva, estudios como este permiten ver, en primer lugar, la necesidad de seguir innovando en el aula, porque es la mejor manera de darle vida y utilidad a los aprendizajes. Del mismo modo, invita a hacer cambios radicales en los currículos de las instituciones, porque no se puede continuar con la escuela tradicional como camisa de fuerza tratando de limitar la movilidad de las innovaciones pedagógicas. Mientras que la intensidad horaria y los planes de asignatura sigan siendo los que establezcan los parámetros en la escuela, va a ser más difícil formar a los estudiantes para ser competentes en los distintos ámbitos que exige la realidad de la vida.

## Conclusión

La lectura y escritura en la clase de Física son mucho más que dos estrategias de estudio. Son herramientas que facilitan aprendizajes significativos, puesto que permiten aplicar los conceptos alcanzados en la explicación de sucesos reales del mundo cotidiano en el que se desenvuelve el estudiante. Saber qué aprenden mientras leen y escriben es difícil de determinar, por cuanto no existen límites de los aprendizajes cuando se explora en búsqueda del conocimiento, pero lo cierto es que aprenden mucho más de lo que sucede en una clase tradicional. Se puede concluir que superan el límite de emplear los aprendizajes de física para el simple propósito de resolver problemas numéricos, que en muchos casos no se ajustan con la realidad. Mientras leen y escriben, aprenden mucho más de lo planeado, mucho más que lo que el profesor pudo llegar a imaginar.

El ejercicio de la secuencia didáctica de los cuatro pasos (que inicia con la identificación de lo que sabe el estudiante de un fenómeno planteado; continúa con el ejercicio individual de lectura para profundizar en la teoría científica que lo sustenta; pasa por la elaboración de un glosario para enriquecer el vocabulario, y termina con la escritura del texto informativo), es una estrategia que hace posible que los estudiantes apliquen sus aprendizajes en la comprensión del mundo que los rodea. De manera sistemática, permite la formación de lectores y, sobre todo, escritores competentes en la asignatura Física.

## Referencias

- Benegas, J., Alarcón, H. y Zavala, G. (2013). Formación de profesorado en metodologías de aprendizaje activo de la física. En J. Benegas, M. C. Pérez de Landazábal y J. Otero (Eds.), *Aprendizaje activo de la física básica universitaria* (pp. 193-203). Andavira Editora, S. L.
- Bermúdez, J. (2021). El aprendizaje basado en problemas para mejorar el pensamiento crítico: revisión sistemática. *Innova Research Journal*, 6(2), 77-89.
- Carr, W. (1996). *Una teoría para la educación. Hacia una investigación educativa crítica*. Morata.
- Carrió, M., Agell, L., Rodríguez, G., Larramona, P., Pérez, J. y Baños, J. E. (2018). Percepciones de estudiantes y docentes sobre la implementación del aprendizaje basado en problemas como método de enseñanza. *FEM: Revista de la Fundación Educación Médica*, 21(3), 143-152.
- Castedo, M. (2018). *Leer y escribir para aprender. Alfabetización en la Unidad Pedagógica. Especialización docente de nivel superior*. Módulo 5. Ministerio de Educación de la Nación, Argentina.
- Correa, A. A. (2016). La escritura como herramienta de aprendizaje significativo. Un cuasi experimento en la clase de ciencias. *Revista complutense de educación*, 27(2), 653-668.
- Hernández, C. (2004). Física para diseñadores industriales. ¿Qué y cómo aprenden cuando diseñan? *Revista de Estudios Sociales*, (19), 15-31.
- Hernández H, C. y Yaya E. R. (2010). Una propuesta constructivista para la enseñanza de la física. *Voces y silencios. Revista Latinoamericana de Educación*, 1(1), 53-68.
- Lerner, D. (2001). *Leer y escribir en la escuela. Lo real, lo posible y lo necesario*. Fondo de Cultura Económica.

- Mestre, J. P. (2001). Implications of research on learning for the education of prospective science and physics teachers. *Physics Education*, 36(1), 44-51.
- Moreno, V. (2005). Lectores competentes. *Revista de Educación*, (Extra), 153-167.
- Ribas, A. F. (2004). Líneas maestras del aprendizaje por problemas. *Revista interuniversitaria de formación del profesorado*, 18(1), 79-95.
- Rigo, D. Y., Kowszyk, D. I., Fagotti Kucharski, E. y Piretro, M. (2018). Construcciones del sentido en torno a leer y escribir en estudiantes de nivel secundario... ¿el contexto sí importa! *Educación, Formación e Investigación*, 4(7), 141-161. [https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/98763/CONICET\\_Digital\\_Nro.9ed520c6-8076-4c99-8ed6-21e47138e868\\_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/98763/CONICET_Digital_Nro.9ed520c6-8076-4c99-8ed6-21e47138e868_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Solé, I., y Castells, N. (2004). Aprender mediante la lectura y la escritura. ¿Existen diferencias en función del dominio disciplinar? *Lectura y Vida*, 25(4), 6-17. <https://lecturacientificas.wixsite.com/iestj>
- Stenhouse, L. (1991). *Investigación y desarrollo del curriculum*. Morata.

## Capítulo 6. Propuesta didáctica para resolución de problemas de física por investigación dirigida\*

Adriana del Pilar Vega Pinzón

El presente capítulo muestra una experiencia didáctica que tiene por objetivo identificar los cambios en el desarrollo de las competencias científicas evaluadas por el Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación Superior (Icfes). Así, esta propuesta didáctica se centra en la resolución de problemas de física por investigación dirigida, trabajada con estudiantes de décimo grado de la Institución Educativa Integrado Joaquín González Camargo. Las competencias planteadas a partir de los referentes teóricos del Ministerio de Educación Nacional de Colombia (MEN) se refieren al uso comprensivo del conocimiento científico, a la explicación de fenómenos y a la indagación. Los conceptos del componente físico desarrollados en la propuesta son energía mecánica, transformación y conservación de la energía. La apuesta didáctica se diseña y se implementa con un grupo de estudiantes de la jornada C de la institución educativa mencionada. La investigación es de tipo cualitativo-descriptivo. El modelo general se ajusta a un diseño pretest-intervención-postest. Los principales hallazgos evidencian que después de la implementación se propicia el desarrollo de las capacidades para comprender conceptos y teorías, construir explicaciones de fenómenos físicos y entender que desde los procesos de investigación científica se construyen explicaciones sobre el mundo natural.

### Introducción

#### *Planteamiento del problema*

Uno de los desafíos de los docentes de ciencias naturales de secundaria es orientar el área del saber de manera que los estudiantes desarrollen las tres competencias

\* Para citar este capítulo: <http://doi.org/10.51573/Andes.9789587985061.9789587985078.6>

científicas establecidas por el MEN: uso de conceptos, explicación de fenómenos e indagación. Este reto implica el planteamiento y la implementación de estrategias didácticas que fomenten el desarrollo de dichas competencias. En la Institución Educativa Integrado, los resultados del Icfes muestran un bajo nivel de desempeño en las competencias científicas. Para este estudio se presentan resultados de los últimos cinco años, en los que se evidencia que el desempeño promedio de los estudiantes de la jornada C ha oscilado entre 51 y 54 puntos, en una escala de 0 a 100 puntos. Se observa que la mayor población se concentró en el segundo nivel de desempeño de los cuatro definidos. Esto evidencia que los estudiantes tuvieron un desempeño mínimo en las competencias exigidas en la prueba de ciencias naturales.

Investigaciones en didáctica como los planteados por Hernández (2005) han mostrado que el modelo tradicional es una de las principales causas del bajo nivel de desempeño de los estudiantes en las competencias científicas. Esto se debe a que la metodología de clase se centra en que el maestro transmite conceptos y ecuaciones, que muestra la ciencia como verdades inmutables y ya comprobadas. Los estudiantes se limitan a escuchar las explicaciones del docente, a desarrollar problemas de forma matematizada en la que se da una clara importancia al planteamiento de ecuaciones y sustitución de datos, a memorizar, y de vez en cuando se elaboran experimentos guiados como recetas de cocina. Esta situación se evidencia en los resultados de las pruebas Saber 11, en las que se refleja el desempeño promedio, el porcentaje de estudiantes por niveles de desempeño y el porcentaje promedio de respuestas incorrectas por cada aprendizaje. Para la institución y específicamente para la jornada C, se revela un insuficiente desarrollo de las tres competencias definidas en el marco teórico de la prueba. Estas competencias científicas están relacionadas con las capacidades que integran la comprensión de conceptos, leyes y teorías; la construcción de explicaciones y comprensión de argumentos, y la construcción de explicaciones y procedimientos a partir de la investigación.

Una solución a las dificultades en los procesos de aprendizaje fue planteada por investigadores en didáctica de las ciencias que coinciden en que “el aprendizaje y la enseñanza de las ciencias se desarrollen como un proceso de (re) construcción de conocimientos en un contexto de investigación” (Verdú, 2004, p. 9). Tal principio fue señalado por National Research Council (1996): “en todos los niveles, la educación científica debe basarse en la metodología de la

investigación” (p. 20). Lo que se traduce en que, en estos procesos formativos, el maestro organice e implemente un plan de enseñanza en torno al planteamiento de preguntas, la formulación de hipótesis, la comprobación de hipótesis por medio de resolución de problemas o procesos de experimentación, el análisis de datos y el planteamiento de conclusiones.

Propuestas pertinentes y claras en esta línea son las realizadas por Martínez y otros colegas (Becerra *et al.*, 2005; Martínez y Verdú, 2001; Verdú, 2004), las cuales han evidenciado que la propuesta didáctica de resolución de problemas por investigación dirigida permite solucionar las problemáticas relacionadas con las competencias científicas. Este modelo organiza la enseñanza de las ciencias como un proceso de investigación dirigida en torno a problemas de interés y en el que se generan espacios de planteamiento de preguntas, invención de conceptos y emisión de hipótesis fundamentadas. Asimismo, dicha apuesta se presta para la elaboración y puesta en práctica de estrategias de resolución, análisis y comunicación de los resultados, así como de estudios cualitativos de las situaciones problemáticas.

Con base en los planteamientos anteriores, esta investigación pretende organizar, planificar e implementar una propuesta didáctica para la enseñanza de la física en décimo grado, a partir del modelo de investigación dirigida para fomentar la resolución de problemas y soportada en el desarrollo de las competencias científicas en los estudiantes. La pregunta de investigación que vertebra este trabajo es: ¿qué cambios genera una propuesta didáctica de resolución de problemas de física por investigación dirigida, en el desarrollo de las competencias científicas de los estudiantes de décimo grado de la Institución Educativa Integrado Joaquín González Camargo de Sogamoso?

### **Fundamentación teórica**

Este estudio centra su fundamentación teórica en conceptos básicos de competencias científicas propuestos por el Icfes y el MEN. Además, se basa en el modelo del cambio conceptual para adquirir conocimiento científico planteado en la investigación de Claret, así como en el modelo de investigación dirigida propuesto por Martínez (Becerra *et al.*, 2005; Martínez y Verdú, 2001), que ha demostrado que promueve cultura científica (Gold *et al.*, 2005) y que, como guía de enfoque constructivista, fomenta el desarrollo de las competencias científicas.

### *Conceptos asociados a las competencias científicas*

Dentro de la revisión de la literatura es preciso incluir algunos conceptos pertinentes y la descripción de las competencias científicas, que son tenidos en cuenta para la construcción de los materiales pedagógicos de consulta. Estos se basan en los estándares básicos de competencias necesarios para que la institución educativa identifique con precisión los aprendizajes esperados en los estudiantes; a su vez, son los requisitos establecidos por el MEN en la matrices de referencia y constituyen los derroteros de este estudio. Así, se presentan los conceptos señalados por el MEN y el Icfes: competencia del uso comprensivo del conocimiento científico; competencia de explicación de fenómenos, y competencia de indagación, aprendizaje y evidencia (Icfes, 2019, p. 23; MEN, 2004; MEN, 2016, p. 2).

El desarrollo de estas tres competencias requiere de escenarios conceptuales y temáticas básicas que en esta investigación son: energía mecánica, transformación y conservación de la energía. Por lo tanto, se presenta en la tabla 6.1 la competencia, el aprendizaje y su respectiva evidencia, que se evalúan en las pruebas Saber 11 y que están relacionadas con estas temáticas. Con base en lo anterior, estos aspectos requieren ser trabajados para mejorar el nivel de desempeño en la institución con respecto a los resultados obtenidos en los cinco años anteriores. Se finaliza esta sección planteando que el puntaje numérico que se otorga a los estudiantes en el examen, y que se articula a los instrumentos y criterios de evaluación aplicados en este estudio, parte de “los niveles de desempeño, agrupados en cuatro niveles (1, 2, 3 y 4), de acuerdo con el desempeño observado en cada prueba Saber 11” (Icfes, 2018, p. 30).

### *El modelo del cambio conceptual*

El modelo del cambio conceptual de un sistema a otro, formulado por Claret (2000), es un proceso de construcción de un nuevo concepto en la escuela. Esto implica un ajuste de teorías, estructuras, conceptos y reglas. El punto de referencia para el cambio conceptual en la escuela es la historia de la ciencia, en la que el conocimiento progresa de un estado inferior a uno superior. Las investigaciones en didáctica de las ciencias han demostrado que tanto el científico como el estudiante están solucionando el mismo problema epistemológico: formar

Tabla 6.1. Competencia, aprendizaje y evidencia para la temática “Energía mecánica”

Competencia	Aprendizaje	Evidencia
<b>Uso de conceptos</b>	Comprender la conservación de la energía mecánica como un principio que permite cuantificar y explicar diferentes fenómenos mecánicos: choques entre cuerpos, movimiento pendular, caída libre, deformación de un sistema masa-resorte.	Identifica, en sistemas no conservativos (fricción, choques no elásticos, deformación, vibraciones) las transformaciones de energía que se producen en concordancia con la conservación de la energía.
	Asociar fenómenos naturales con conceptos propios del conocimiento científico.	Relaciona los tipos de energía presentes en un objeto con las interacciones que presenta el sistema con su entorno.
	Identificar las características de algunos fenómenos de la naturaleza con base en el análisis de información y conceptos propios del conocimiento científico.	Identifica las formas de energía presentes en un fenómeno y las transformaciones que se dan entre las formas de energía.
<b>Explicación de fenómenos</b>	Comprender la conservación de la energía mecánica como un principio que permite cuantificar y explicar diferentes fenómenos mecánicos.	Predice cualitativa y cuantitativamente el movimiento de un cuerpo al hacer uso del principio de conservación de la energía mecánica en diferentes situaciones físicas.
	Modelar fenómenos de la naturaleza con base en el análisis de variables, la relación entre dos o más conceptos del conocimiento científico y de la evidencia derivada de investigaciones científicas.	Usa modelos físicos basados en la dinámica clásica (modelo mecanicista) para comprender la dinámica de un fenómeno particular o describir un sistema.
	Explicar cómo ocurren algunos fenómenos de la naturaleza a partir de observaciones, patrones y conceptos propios del conocimiento científico.	Elabora explicaciones al relacionar las variables de estado que describen un sistema, así como argumenta a partir de los modelos básicos de cinemática y dinámica newtoniana.
<b>Indagación</b>	Observar y relacionar patrones en los datos para evaluar las predicciones.	Interpreta y analiza datos representados en textos, gráficas, dibujos, diagramas o tablas. Representa datos en gráficas y tablas.
	Utilizar algunas habilidades de pensamiento y de procedimiento para evaluar predicciones.	Da posibles explicaciones de eventos o fenómenos consistentes con conceptos de la ciencia (predicción o hipótesis). Diseña experimentos para dar respuesta a sus preguntas. Elige y utiliza instrumentos adecuados para reunir datos. Reconoce la necesidad de registrar y clasificar la información para realizar un buen análisis. Usa información adicional para evaluar una predicción.

Fuente: elaboración propia.

nuevos conceptos, establecer nuevas relaciones, definir nuevas integraciones y apropiarse de nuevos marcos de referencia. Por esto, requieren de un modelo cognitivo común de construcción de conceptos científicos.

La construcción del conocimiento depende del sujeto y del objeto de conocimiento, y esta relación se apoya en la teoría del conocimiento. Esta es la encargada de explicar la apropiación de conocimiento del sujeto, que implica un cambio conceptual entre el conocimiento del estudiante y el conocimiento científico. Por ello, es necesario explicar la teoría del cambio conceptual. En el conocimiento participan dos mundos: el de las ideas de ciencias y el de la realidad sionatural. Dentro de las ideas de las ciencias, hay dos interpretaciones: los conceptos de los estudiantes (A) y los conceptos científicos (B); el propósito de la teoría del cambio conceptual es transformar A en B. Casi siempre ocurre que A actúa exitosamente con un dominio particular de la realidad (C), pero no con una segunda sección de la realidad (D). Esta imposibilidad de que A no actué exitosamente con D es la base para el conflicto cognitivo.

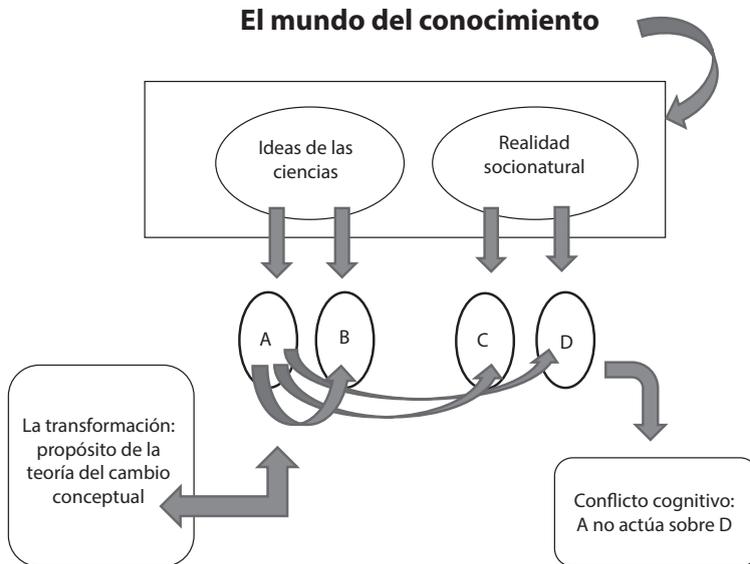
Hay dos tipos de conflicto cognitivo cuando A no puede actuar exitosamente con D y con B; los dos conflictos se resuelven por procesos de demarcación en los que se revela el dominio de explicación de cada uno y se indica la realidad en la cual los conceptos puedan ser utilizados. La teoría del cambio conceptual se esquematiza en la figura 6.1.

Cuando el aula se convierte en un mundo de cambios conceptuales, debe organizarse un espacio para que los estudiantes solucionen situaciones-problemas. Asimismo, las actividades pedagógicas que se llevan a cabo deben contemplar el proceso que se presenta en la figura 6.2.

### *Modelo de enseñanza de las ciencias como investigación dirigida*

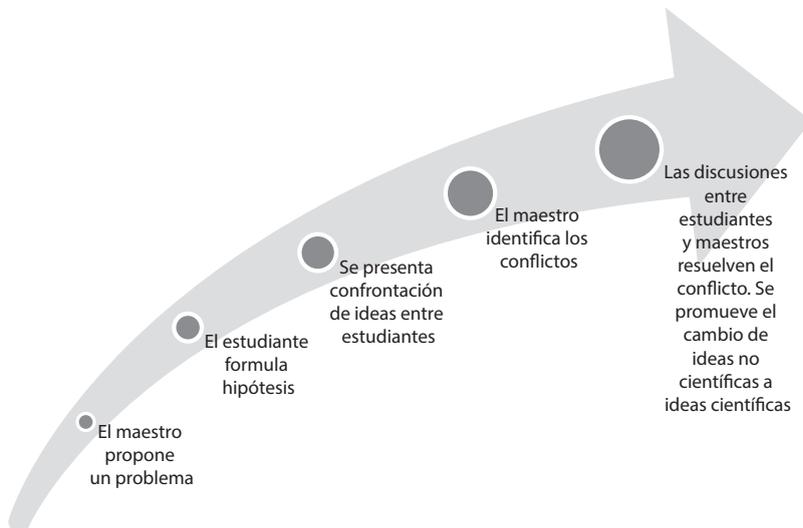
En la experiencia pedagógica, los maestros observan cómo los estudiantes, al presentarles una situación física con previa explicación de los conceptos básicos, tienden a contestar a lo que perciben y observan en la cotidianidad. Por ejemplo, al preguntarles si se realiza un trabajo en el instante en que se empuja una pared, la mayoría de los estudiantes contestan “sí se realizó trabajo”, y argumentan su respuesta exponiendo que se efectuó un esfuerzo, que se cansaron, que sudaron y, por lo tanto, realizaron esa actividad. Este ejemplo refuerza las

Figura 6.1. Teoría del cambio conceptual de Claret (2000)



Fuente: elaboración propia con base en Claret (2000).

Figura 6.2. Proceso de actividades pedagógicas para resolución de problemas propuesto por Claret (2000)



Fuente: elaboración propia.

ideas espontáneas, que suelen ser generalizadas y manejadas automáticamente en contextos variados sin una mínima reflexión sobre la validez de estas (Hashweh, 1986).

Con este ejemplo se pretende advertir las razones por las cuales los estudiantes tienen ideas con las que explican las situaciones que observan y están alejadas de las concepciones del mundo científico. Preguntas relacionadas con el cambio de las ideas espontáneas han promovido investigaciones como las planteadas por Martínez (2000), que evidencian la necesidad de un cambio epistemológico (conocimiento de la naturaleza de las ciencias) simultáneo entre las concepciones espontáneas y científicas.

El modelo de enseñanza de las ciencias como investigación dirigida, propuesto por Verdú (2004), Martínez y Verdú (2001) y Gil *et al.* (1991), cumple con la expectativa anterior. Reconoce que el aprendizaje significativo de los conocimientos científicos solo es posible si los estudiantes hacen suyas las formas en que se producen y se aceptan los conocimientos científicos, lo que quiere decir que se produce un cambio de la metodología o epistemología del sentido común a la epistemología científica (Verdú, 2004, p. 46).

Estos cambios en la metodología solo son posibles si se generan nuevos ambientes de aprendizaje en los que continuamente se pongan en práctica formas de construir el conocimiento científico. Esto coincide con lo propuesto por Moya *et al.*, que sostienen que este modelo es un método de construcción de conocimientos científicos en la que se asocia el aprendizaje con el tratamiento de situaciones problemáticas (Moya *et al.*, p. 130). Dentro de las secuencias lógicas planteadas para la enseñanza de un tema científico, se plantean las siguientes etapas: planteamiento de problemas; formulación de hipótesis; puesta a prueba de los conceptos mediante la experimentación o resolución de problemas, y análisis e interpretación de resultados (Moya *et al.*, 2011, p. 124).

Con esta metodología de resolución de problemas, los estudiantes verán provechosas e interesantes las concepciones científicas. Estarán convencidos de los conceptos, ya que realizaron la construcción conceptual. Con este modelo, el aprendizaje es definido como proceso de evolución de cambio conceptual y metodológico de los conocimientos científicos. Asimismo, la enseñanza es asumida como un plan que se desarrolla en el aula para favorecer estos cambios (Verdú, 2004, p. 49).

Tabla 6.2. Estructura del desarrollo del tema en el plan-guía de actividades

Etapas del desarrollo del tema	Explicación de cada etapa
Introducción y planteamiento del problema	¿Por qué es necesario e importante realizar este estudio? ¿Cuál es el problema que guía la investigación?
Formulación de hipótesis de conceptos y ecuaciones	Conceptos necesarios para el estudio. Operativización de los conceptos (profundización de los conceptos y reconstrucción de expresiones para su medida).
Comprobación de hipótesis	Puesta a prueba de los conocimientos construidos mediante la resolución de problemas o la experimentación.
Análisis de resultados y síntesis	Realización de resúmenes, mapas conceptuales o mentales. Descripción de dificultades o dudas presentadas.
Problemas abiertos	Problemas cualitativos.

Fuente: elaboración propia.

En este modelo, el ambiente de aprendizaje está dado alrededor del estudiante, que es tratado como un investigador aprendiz. Él construye el conocimiento a partir de situaciones-problemas. La estructuración del desarrollo del tema se traduce en el plan-guía de actividades. En la tabla 6.2 se plantean los aspectos más relevantes de las etapas del desarrollo del tema con su respectiva explicación.

La propuesta didáctica de resolución de problemas por investigación dirigida supone un aumento significativo en la capacidad para resolver problemas, así como una mejora de los indicadores de una resolución que es coherente con la metodología científica. Esta forma de resolver problemas se refuerza enormemente, debido a que toda la enseñanza se ha organizado en forma coherente con la metodología científica (Becerra, 2004, p. 145).

Para determinar la capacidad para resolver problemas y la metodología que utilizan los estudiantes al resolverlos, Martínez y Verdú (2001) plantean una serie de etapas coherentes con el trabajo científico que se plantean a continuación y son aplicadas en el desarrollo de situaciones-problemas en esta propuesta:

- **Análisis cualitativo:** descripción interpretativa de lo que ocurre teniendo en cuenta las condiciones del problema y las incógnitas que se presentan; deducciones de la situación presentada).

- Formulación de hipótesis: emitir una proposición para responder a la pregunta, que tenga en cuenta los factores de los que depende la magnitud buscada y la forma de esta dependencia).
- Estrategia de solución: proponer un plan para la solución del problema).
- Solución del problema: poner en marcha la estrategia planteada).
- Análisis de resultados: analizar las relaciones entre las magnitudes dadas y las que nos piden, como también contrastar los resultados obtenidos con las hipótesis planteadas).
- Análisis de perspectivas: considerar la posibilidad de abordar nuevas situaciones de interés).

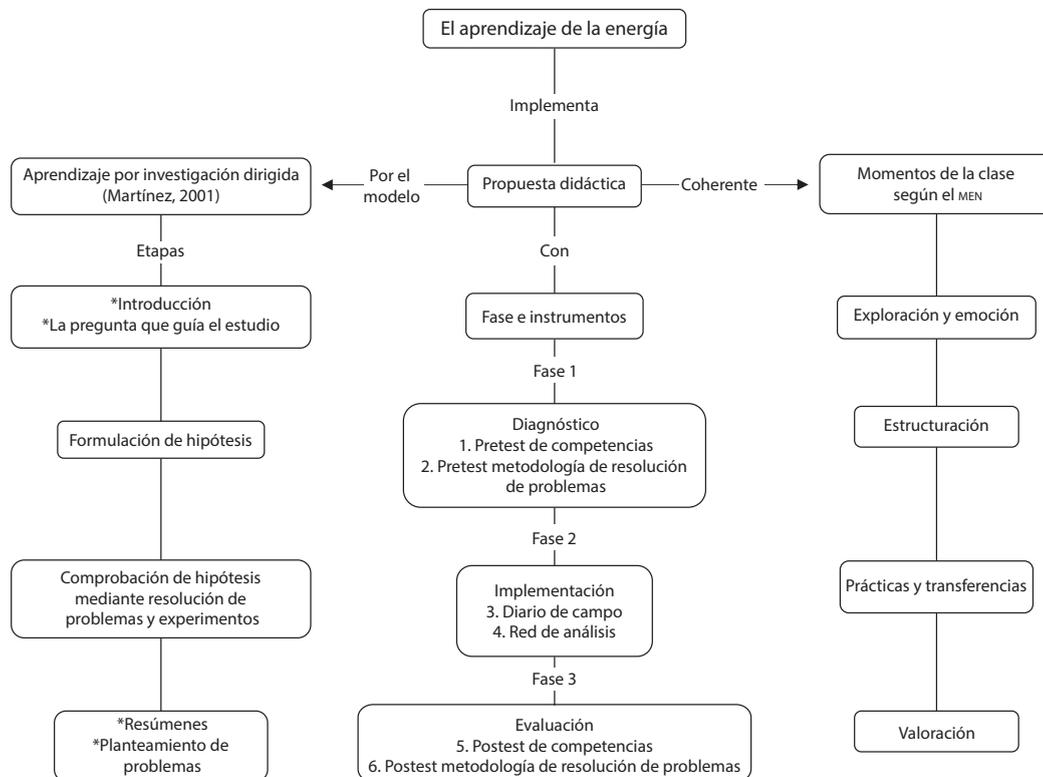
El MEN, en su programa “Todos a aprender 2.0”, plantea un recurso didáctico coherente y de calidad para el seguimiento de la planeación, la implementación y la evaluación. Esta iniciativa presenta los momentos de la clase como elementos esenciales para el plan de aula y preparador de clase. Estos momentos son articulados en esta investigación con las etapas del desarrollo del tema propuestas por Martínez y Verdú (2001). Al ser una propuesta de ciencias experimentales es pertinente que se incluya y se adecue el aprendizaje de los conceptos científicos, que puede estar acompañado del aprendizaje metodológico, es decir, de formas de producir y aceptar conocimientos que caracterizan el trabajo científico (Becerra, 2007).

La estructura de enseñanza problematizada se enmarca dentro de los momentos de la clase como elementos esenciales para el plan de aula y/o preparador de clase, que son, además, establecidos por el MEN. En la figura 6.3 se muestra el esquema que relaciona las fases de esta investigación con las etapas del modelo de investigación dirigida de Martínez y Verdú (2001), así como los momentos de la clase establecidos por el MEN.

Ahora bien, es importante destacar algunos estudios realizados en esta línea de investigación. La presentación de estos trabajos se realizará en la dirección del desarrollo de las competencias científicas y la enseñanza por investigación dirigida.

El primer estudio muestra los resultados de una investigación realizada con estudiantes de undécimo grado de un colegio público de Bogotá. El objetivo de este estudio fue desarrollar las competencias científicas propuestas por el

Figura 6.3. Relación entre las fases de la investigación, las etapas del modelo y los momentos de la clase



Fuente: elaboración propia.

marco conceptual del Programa Internacional de Evaluación de Estudiantes (PISA), a través de la implementación de la estrategia didáctica del modelo de aprendizaje por investigación dirigida y enfocada al estudio de la contaminación química del agua. Los resultados obtenidos evidenciaron que los modelos basados en investigación favorecen el desarrollo de competencias. Así, se encontró que aproximadamente el 80% de los estudiantes demostraron un avance en el reconocimiento de los procesos relacionados con la competencia de identificación de cuestiones científicas. Para la segunda competencia, explicación de fenómenos, se reveló que aproximadamente el 65% de ellos se ubicaron entre los niveles tres y cuatro. Respecto a la competencia de uso de evidencias científicas, se logró determinar un cambio en sus desempeños, ya

que un aproximado del 85% de los estudiantes demostraron un progreso, para así ubicarse en los niveles tres, cuatro y cinco (Vásquez *et al.*, 2013).

Un segundo trabajo pretende impulsar y desarrollar la competencia científica entre los estudiantes que cursan materias como Física. Plantea que debe hacerse de forma conjunta a través de contenidos claves para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, como son: la introducción de conceptos, la resolución de problemas y los trabajos prácticos. En este estudio se muestra cómo, a través de la resolución de un problema de física, se pueden contemplar estos aspectos esenciales de la competencia científica en la resolución de problemas. También se plantea la posibilidad de incorporar a la resolución, de manera funcional, elementos prácticos y nuevas tecnologías (Carrascosa *et al.*, 2020).

La tercera investigación implementa una unidad didáctica basada en el modelo de investigación dirigida para el aprendizaje de la estequiometría. Para el abordaje de esta temática se emplean las fases del ciclo de aprendizaje constructivista de Jorba y Sanmartí (1996). La estrategia se aplicó en dos grupos de estudiantes de las instituciones educativas Presbítero Antonio Baena Salazar de Sabaneta y Carlos Vieco Ortiz de Medellín. La indagación no buscó realizar comparaciones, sino mostrar la incidencia que tiene la implementación de la estrategia en el aprendizaje de la estequiometría. Los resultados evidenciaron aprendizajes en el manejo de conceptos, procedimientos y actitudes luego de la ejecución de la propuesta (Villarreal y Sánchez, 2018).

Para finalizar, otra investigación planteó el objetivo de evaluar el impacto en el fortalecimiento de competencias científicas en química usando la investigación como estrategia pedagógica. Para este caso se aplicó una metodología cuasiexperimental. Se realizó la comparación del nivel de competencias científicas: uso comprensivo del conocimiento científico; indagación y explicación de fenómenos, antes y después de la aplicación de la estrategia. Se concluye que la investigación como estrategia pedagógica fortalece las tres competencias científicas. En ese sentido, se comprobó la hipótesis de investigación mediante la prueba estadística T-Student. Se logró identificar los desempeños de los estudiantes relacionados con las competencias científicas durante la implementación de la estrategia (Hernández y Salamanca, 2017).

## **Metodología**

Esta investigación es de corte cualitativo-descriptivo, que según los autores Taylor y Bogdan (2000), implica recoger las palabras y las conductas de las personas involucradas en la investigación. En principio, el investigador estudia a las personas en su contexto y en las situaciones en las que se encuentran. Se elabora un microanálisis con base en las autoras Schettini y Cortazzo (2015), definido como un estudio detallado de los datos que se retoman selectivamente del diario de campo, aspectos que responden al desarrollo de las competencias científicas y a la resolución de problemas. Este análisis conduce a conocer, interpretar y establecer conceptos en torno a las capacidades de los estudiantes.

Para ello, se implementa una propuesta didáctica de resolución de problemas de física relacionados con el tema de energía, bajo el modelo de investigación dirigida (Martínez y Verdú, 2001). Después, se valoran los cambios producidos en un grupo de estudiantes de décimo grado con respecto a las competencias científicas establecidas por el Icfes (esto se efectúa por medio de una prueba). El modelo general se ajusta a un diseño pretest-intervención-posttest.

Los instrumentos utilizados fueron un pretest y posttest. Las preguntas de ambas pruebas fueron de selección múltiple con única respuesta obtenidas de cuadernillos liberados por el Icfes. Así, se tuvo en cuenta el componente de procesos físicos y se trabajó con las tres competencias evaluadas en las pruebas Saber 11. También se hizo uso del diario de campo y de una red de análisis de la socialización de las actividades propuestas en el plan-guía de actividades y de la mirada del docente frente a la experiencia, de acuerdo con los aspectos del proceso de resolución de problemas. Con la información anterior se valoraron las tres competencias científicas y la metodología para la resolución de problemas abiertos basados en el trabajo científico.

## **Análisis de resultados**

Los resultados de esta investigación se presentan por fases, teniendo en cuenta sus respectivos instrumentos aplicados desde cada una de las competencias científicas y la metodología de resolución de problemas basados en el trabajo científico. En principio se presentan los análisis de porcentajes de cada nivel de desempeño antes y después de la implementación de la propuesta.

## *Análisis de porcentajes antes y después de la implementación de la propuesta*

### *Fase diagnóstica y fase de evaluación*

En estas fases se diseñaron y aplicaron, antes y después de la implementación de la propuesta, dos instrumentos para determinar nivel de desempeño en competencias científicas y la metodología de los estudiantes al resolver un problema abierto. Las pruebas de competencias siguieron la estructura de selección múltiple para analizar por qué eligieron una respuesta; además, se solicitó a los estudiantes que justificaran cada escogencia. Los resultados del pretest y el postest de las competencias evaluadas y la metodología de resolución de problemas basadas en el trabajo científico se presentan en las tablas 6.3, 6.4, 6.5 y 6.6.

**Tabla 6.3. Resultados del pretest y postest en la competencia de uso comprensivo del conocimiento científico**

Descripción del desempeño	Nivel de desempeño	Porcentaje pretest	Porcentaje postest
No reconoce información y/o no presenta respuesta.	0	20 %	0%
Posiblemente reconoce la información, pero no la asocia con nociones de los conceptos básicos de energía.	1	63,3%	3,3 %
Reconoce la información y la asocia con nociones de los conceptos básicos de energía.	2	10 %	16,6%
Reconoce la información y la asocia con nociones de los conceptos básicos de energía; además, interrelaciona conceptos y leyes de la energía con información presentada en diversos contextos, en los que intervienen dos o más variables, para hacer inferencias sobre una situación-problema o un fenómeno natural.	3	6,6%	66,6%
Reconoce la información y la asocia con nociones de los conceptos básicos de energía; además, interrelaciona conceptos y leyes de la energía con información presentada en diversos contextos, en los que intervienen dos o más variables, para hacer inferencias sobre una situación-problema o un fenómeno natural. Asimismo, usa conceptos, teorías o leyes en la solución de situaciones-problemas que involucran procedimientos, habilidades, conocimientos y un lenguaje propio de las ciencias naturales.	4	0%	13,3%

Fuente: elaboración propia.

Se puede apreciar en la tabla 6.3 que, antes de la implementación de la propuesta, el 83,3% de los estudiantes se situaron en nivel 0 y 1, ya que no presentaron respuesta o no la asociaron con conceptos de energía. Después de la implementación de la propuesta, todos los estudiantes respondieron las preguntas, pues el 80% se ubicaron en niveles 3 y 4, lo que evidencia el desarrollo de la competencia de uso comprensivo del conocimiento científico.

Tabla 6.4. **Resultados del pretest y el postest en la competencia de explicación de fenómenos**

Descripción del desempeño	Nivel de desempeño	Porcentaje pretest	Porcentaje postest
No reconoce información y/o no presenta respuesta.	0	20%	0%
Posiblemente reconoce la información, pero no la asocia con nociones de los conceptos básicos de energía.	1	56,6%	13,3%
Reconoce la información y la asocia con nociones de los conceptos básicos de energía.	2	23,3%	20%
Reconoce la información y la asocia con nociones de los conceptos básicos de energía; además, interrelaciona conceptos y leyes de la energía con información presentada en diversos contextos, en los que intervienen dos o más variables, para hacer inferencias sobre una situación-problema o un fenómeno natural.	3	0%	56,6%
Reconoce la información y la asocia con nociones de los conceptos básicos de energía; además, interrelaciona conceptos y leyes de la energía con información presentada en diversos contextos, en los que intervienen dos o más variables, para hacer inferencias sobre una situación-problema o un fenómeno natural. Asimismo, usa conceptos, teorías o leyes en la solución de situaciones-problemas que involucran procedimientos, habilidades, conocimientos y un lenguaje propio de las ciencias naturales.	4	0%	10%

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 6.4 se puede observar que, antes de la implementación de la propuesta, el 76,6% de los estudiantes se situaron en nivel 0 y 1, ya que no respondieron la prueba o no asociaron las preguntas con conceptos de energía. Así, después de la implementación de la propuesta, todos los estudiantes presentaron

respuesta, como muestra el registro del 66,6 %, que representa los niveles 3 y 4, lo que evidencia el desarrollo de la competencia de explicación de fenómenos.

En la tabla 6.5 se puede ver que, antes de la implementación de la propuesta, el 66,6 % de los estudiantes se situaron en nivel 0 y 1, mientras que después de la implementación de la propuesta el 76,6 % de ellos se ubicaron en los niveles 3 y 4. Esto revela una mejora en el desarrollo de la competencia de indagación.

Tabla 6.5. Resultados del pretest y el postest en la competencia de indagación

Descripción del desempeño	Nivel de desempeño	Porcentaje pretest	Porcentaje postest
No reconoce información y/o no presenta respuesta.	0	20 %	0 %
Posiblemente reconoce la información, pero no la asocia con nociones de los conceptos básicos de energía.	1	46,6 %	0 %
Reconoce la información y la asocia con nociones de los conceptos básicos de energía.	2	20 %	23,3 %
Reconoce la información y la asocia con nociones de los conceptos básicos de energía; además, interrelaciona conceptos y leyes de la energía con información presentada en diversos contextos, en los que intervienen dos o más variables, para hacer inferencias sobre una situación-problema o un fenómeno natural.	3	13,3 %	66,6 %
Reconoce la información y la asocia con nociones de los conceptos básicos de energía; además, interrelaciona conceptos y leyes de la energía con información presentada en diversos contextos, en los que intervienen dos o más variables, para hacer inferencias sobre una situación-problema o un fenómeno natural. Asimismo, usa conceptos, teorías o leyes en la solución de situaciones-problemas que involucran procedimientos, habilidades, conocimientos y un lenguaje propio de las ciencias naturales.	4	0 %	10 %

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 6.6 se puede observar que, antes de la implementación de la propuesta, el 46,6 % de los estudiantes no respondieron la prueba o sus respuestas no fueron correctas. Después de la implementación, el 83,3 % de los estudiantes se ubicaron en niveles 3 y 4, asunto que expone los beneficios de la metodología en resolución de problemas.

**Tabla 6.6. Resultados del pretest y el postest: resolución de problemas basados en el trabajo científico**

Descripción del desempeño	Nivel de desempeño	Porcentaje pretest	Porcentaje postest
No reconoce información y/o no presenta respuesta.	0	46,6 %	0 %
Presenta análisis cualitativo de la situación.	1	43,3 %	0 %
Formula de forma correcta hipótesis.	2	6,6 %	16,6 %
Elabora el plan y desarrolla la situación-problema de acuerdo al plan.	3	0 %	53,3 %
Realiza análisis de los resultados, contrasta con las hipótesis y plantea otras situaciones-problemas.	4	3,3 %	30 %

Fuente: elaboración propia.

*Fase de elaboración e implementación de la propuesta de resolución de problemas mediante la investigación dirigida*

En primer lugar, se diseña un plan-guía de actividades estructurado con el modelo de resolución de problemas a través de la investigación dirigida, con base en los referentes teóricos de Martínez y Verdú (2001); Gil *et al.* (1991); Becerra (2004), y las investigaciones del Centro de Altos Estudios Universitarios de la Organización de Estados Iberoamericanos. En segundo lugar, se realizó la implementación de la propuesta que tuvo en cuenta los siguientes aspectos: las actividades tuvieron un tiempo de duración de doce horas; se entregaron a cada estudiante para que individualmente fueran trabajadas; luego, organizados en grupos, socializaron sus ideas para llegar a acuerdos sobre las posibles respuestas, y finalmente, se expusieron ante el grupo de tal manera que lograran expresar, argumentar y debatir sus ideas entre ellos y con el profesor. Mientras se desarrollaba la secuencia de enseñanza, las cuestiones del pretest y del plan guía fueron comentadas, analizadas y corregidas en clase. Por medio de un grupo de WhatsApp se socializaron y debatieron las ideas generadas y las dificultades presentadas por los estudiantes, con el objetivo de que cada estudiante hiciera un proceso de autorregulación de su aprendizaje y corrección de conceptos erróneos.

El diseño del plan-guía de actividades se realizó teniendo en cuenta los aportes de Martínez y Verdú (2001) y los resultados de la prueba piloto realizada a

grupos de estudiantes de tres colegios diferentes. Esto permitió realizar ajustes en los casos en que los estudiantes mostraron baja motivación o comprensión ante la realización de las actividades.

La validación de este instrumento se realizó de la siguiente forma: el plan-guía de actividades se presentó a dos estudiantes de décimo grado de cada una de las instituciones educativas seleccionadas; a dos docentes expertos en estructura problematizada; a una docente experta en desarrollo de la cultura científica, y a dos docentes universitarios de Física. Se les solicitó que, a través de una lectura comprensiva y un diálogo crítico con el investigador sobre la claridad y la coherencia de las actividades, determinaran las fortalezas, las dificultades que encontrarán en el plan-guía de actividades y se registraran las recomendaciones, para luego realizar los cambios pertinentes. Este plan es el resultado final del proceso de revisión y ajuste realizado durante nueve años a partir de los aportes de los estudiantes, de los expertos y de las experiencias en la implementación de esta propuesta por la docente investigadora.

A continuación, se presenta en la figura 6.4 un ejemplo de una actividad del plan-guía. La actividad 13 pretende desarrollar la competencia científica y el uso comprensivo del conocimiento científico mediante la evidencia de aprendizaje;

Figura 6.4. **Actividad 13 del plan-guía de actividades**

Momento de estructuración del marco teórico: formulación de una hipótesis para la actividad 13

Actividad 13. Indique, para cada una de las formas de energía (mínimo 10 formas), en qué puede estar basada su capacidad de transformar la materia: en la velocidad de los cuerpos (relacionada con la energía cinética) o en la posición que ocupan en un sistema (relacionada con la energía potencial).

Ejemplo:	Fuente	Forma	En qué está basada su capacidad de transformación
	Aire	Eólica	velocidad de las partículas de aire
	Caída de Agua	Hidráulica	La posición o la altura en la que se encuentra el agua

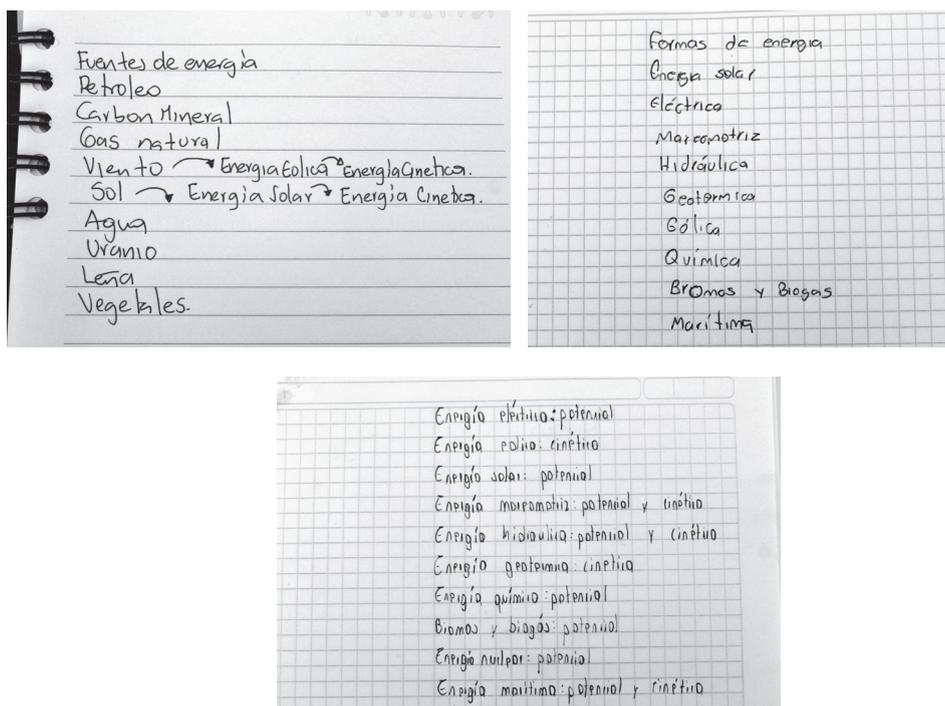


Fuente: datos de investigación, evidencia documental.

en otras palabras, busca relacionar los tipos de energía presentes en un objeto con las interacciones que presenta el sistema con su entorno (Martínez y Verdú, 2001). Esta actividad desarrolla la capacidad para relacionar las fuentes con las formas de energía y, a su vez, indicar en que está basada su capacidad para transformar la materia (velocidad o posición). De este modo, se puede generalizar que todas las formas de energía están relacionadas con la energía cinética o la energía potencial.

La evidencia fotográfica del desarrollo de la actividad 13 se muestra en la imagen 6.1. Para efectos de disminuir el volumen del material dentro del cuerpo del trabajo, se presentan los resultados de tres estudiantes que fueron escogidos por su nivel de desempeño. En esta actividad se debía relacionar los tipos de energía activos en un objeto con las interacciones que presenta el sistema con su entorno.

Imagen 6.1. Evidencia fotográfica del desarrollo de la actividad 13 por parte de los estudiantes



Fuente: datos de investigación, evidencia documental.

Aquí los estudiantes dieron cuenta de las relaciones que existen entre las fuentes y las formas de energía; a su vez, indicaron en qué está basada su capacidad para transformar la materia (velocidad o posición). De este modo se demostró que todas las formas de energía están relacionadas con la energía cinética o la energía potencial.

### *Análisis de la fase diagnóstica y la fase de evaluación*

El análisis de la implementación de la propuesta se construyó a partir del desarrollo de las actividades de los estudiantes y de las evidencias de aprendizaje evaluadas en la prueba Saber 11. Estas últimas son definidas como “los productos que pueden observarse y comprobarse para verificar los desempeños o acciones a los que se refieren los aprendizajes” en cada una de las competencias (Icfes, 2015, p. 1).

Así, se presenta un microanálisis que responde a las tres competencias científicas y a la metodología de resolución de problemas basadas en el trabajo científico. Para efectos de disminuir el volumen del material dentro del cuerpo del trabajo, se presentan resultados de una de las evidencias de aprendizaje de cada una de las competencias en la tabla 6.7.

Se puede observar que, antes de la implementación de la propuesta, el 92,9% de los estudiantes no reconocen información o presentan solamente los datos y las incógnitas; mientras que después de la implementación de la propuesta se refleja que el 100% presenta un desarrollo en todas las etapas del trabajo científico. Finalmente, el 83,3% de los escolares se hallan en los niveles de desempeño 3 y 4. A continuación, se describen los resultados de cada etapa seguida en el proceso:

- Antes de la implementación de la propuesta, el 89,9% de los estudiantes no muestran habilidades para verbalizar qué magnitudes físicas se requieren en el problema y en la realización de una descripción interpretativa del fenómeno. Algunos estudiantes, en esta etapa, se limitan a escribir los datos y las incógnitas, pues utilizan la simbolización. Después de la implementación de la propuesta, todos los estudiantes muestran que describen la situación planteada de forma correcta, teniendo en cuenta las condiciones del problema y las incógnitas que se presentan.

**Tabla 6.7. Resultados de una de las evidencias de aprendizaje para las tres competencias en la implementación de la propuesta**

Competencia	Evidencia	Resultados de la fase diagnóstica	Resultados de la fase evaluación
Uso comprensivo del conocimiento científico.	Identifica las formas de energía presentes en un fenómeno y las transformaciones que se dan entre las formas de energía.	<p>El 83% de los estudiantes se situaron en nivel 1, ya que no identificaban las formas de energía, no diferenciaban las fuentes, las formas y los tipos de energía, y no identificaban las transformaciones entre las formas de energía.</p> <p>El 10% de los estudiantes se ubicaron en nivel 2, pues reconocieron la información, pero no la asociaron con las transformaciones de las formas de energía.</p> <p>El 6,6% de los estudiantes se ubicaron en el nivel 3, debido a que identificaron la información y la asociaron a transformaciones de las formas de energía, pero no usaron conceptos o leyes.</p> <p>Ningún estudiante se ubicó en el nivel 4.</p>	<p>0% de los estudiantes se ubicaron en el nivel 1.</p> <p>El 23,3% de los estudiantes se ubicaron en el nivel 2, ya que reconocieron la información, pero no la asociaron con las transformaciones de las formas de energía.</p> <p>El 63,3% de los estudiantes alcanzaron el nivel 3, porque reconocieron la información y la asociaron a transformaciones de las formas de energía, pero no usaron conceptos o leyes.</p> <p>El 13,3% de los estudiantes se hallaron en el nivel 4, ya que identificaron la información y la asociaron a transformaciones de las formas de energía al usar conceptos o leyes.</p>
Explicación de fenómenos	Usa modelos físicos basados en la dinámica clásica (modelo mecanicista) para comprender la dinámica de un fenómeno particular o un sistema.	<p>El 76,6% de los estudiantes se ubicaron en nivel 1, pues no elaboraron explicaciones al relacionar la energía potencial con la posición en un sistema.</p> <p>El 23% de los estudiantes se registraron en el nivel 2, debido a que reconocieron la información, pero no la asociaron mediante la</p>	<p>El 0% de los estudiantes se ubicaron en nivel 1, ya que no elaboraron explicaciones al relacionar la energía potencial con la posición en un sistema.</p> <p>El 33,3% de los estudiantes se ubicaron en el nivel 2, porque reconocieron la información, pero no la asociaron mediante la ecuación que relaciona la</p>

*Continúa...*

Competencia	Evidencia	Resultados de la fase diagnóstica	Resultados de la fase evaluación
		ecuación que relaciona la energía potencial con la altura. Ningún estudiante se ubicó en los niveles 3 y 4.	energía potencial con la altura. El 66,6 % de los estudiantes lograron el nivel 3, ya que reconocieron la información y la asociaron mediante la ecuación que relaciona la energía potencial con la altura.
Indagación	Interpreta y analiza datos representados en textos, gráficas, dibujos, diagramas o tablas.	El 33,3 % de los estudiantes se instalaron en el nivel 1, ya que no interpretaron y analizaron datos presentados en tablas. El 36,6 % de los estudiantes se ubicaron en el nivel 2, ya que reconocieron la información, pero no la asociaron a conceptos físicos. El 13,3 % de los estudiantes se hallaron en nivel 3, por lo que interpretaron y analizaron datos presentados en tablas.	El 0 % de los estudiantes obtuvieron el nivel 1, debido a que no interpretaron y analizaron datos presentados en tablas. El 20 % de los estudiantes se ubicaron en el nivel 2, pues reconocieron la información, pero no la asociaron a conceptos físicos. El 66,6 % de los estudiantes se reportaron en nivel 3, debido a que interpretaron y analizaron datos presentados en tablas. El 13,3 % de los estudiantes alcanzaron el nivel 3, ya que interpretaron y analizaron datos presentados en tablas, además usaron conceptos y teorías de energía en la solución de un problema

Fuente: elaboración propia.

- En la etapa de emisión de hipótesis, el 93,4 % de los estudiantes no formulan hipótesis o son emitidas de forma incorrecta; se pudo evidenciar que muchos de ellos no comprenden el significado de la hipótesis. Tras la implementación de la propuesta se evidencia que el 100 % de las hipótesis presentadas son correctas, e incluso, un 83,3 % tiene en cuenta todos los factores de los que depende la magnitud buscada.

- Con respecto a la etapa de elaboración y ejecución del plan de resolución, se puede evidenciar que el 96,7% de los estudiantes no proponen plan o lo proponen de forma desenfocada y desorganizada. Luego de la implementación de la propuesta, el 83,3% propone un plan; los porcentajes en este caso están dados de la siguiente forma: el 33,3% formula un plan de forma aproximada; el 36,6% estructura un plan de forma clara y completa, y el 30% plantea un plan de forma clara, completa y organizada.
- En cuanto a la etapa de análisis de resultados, se evidencia que el 100% no presenta respuesta o analiza de forma desenfocada. Después de la implementación de la propuesta, el 30% presenta una respuesta correcta. Es importante resaltar que el 70% analiza los resultados de forma aproximada, lo que quiere decir que hay dificultad en la interpretación y en las relaciones de dependencia con la magnitud buscada.
- Finalmente, en la etapa de perspectivas, se puede evidenciar que el 100% no muestra una respuesta frente a la situación planteada. Pasada la fase de la implementación de la propuesta, el 30% plantea las situaciones-problemas de manera correcta, creativa y con mayor dificultad. Es importante destacar que un 70% presenta problemas en torno a la falta de creatividad; los estudiantes se limitan a exponer otras situaciones muy parecidas a las propuestas por el maestro.

### *Fase de la implementación de la propuesta*

A través de un diario de campo y una red de análisis, se recolectó información sobre lo que ocurre en clase con las actividades. Así, se realizó un estudio de las ideas presentadas por los estudiantes, de las discusiones generadas y de los acuerdos modelados por el profesor. En este sentido, se valoraron las tres competencias científicas y la metodología para la resolución de problemas basados en el trabajo científico con la estructura de enseñanza problematizada. Para una mejor comprensión de los errores conceptuales de los estudiantes y las capacidades que se promovieron con la implementación de la propuesta, se presentan en la tabla 6.8 los resultados obtenidos en las competencias científicas.

**Tabla 6.8. Errores conceptuales y aprendizajes que se promovieron antes y después de la implementación de la propuesta**

Competencias	Errores conceptuales de los estudiantes antes de la implementación de la propuesta	Aprendizajes que se promovieron después de la implementación de la propuesta
Uso comprensivo del conocimiento científico	<p>Los conceptos de trabajo y energía los percibían basados en la vida cotidiana.</p> <p>No relacionaban el trabajo con la variación de la energía.</p> <p>No relacionaban fuentes y formas de energía, así como en qué está basada la capacidad para transformar la materia.</p> <p>No identificaban los sistemas conservativos y los no conservativos.</p> <p>No comprendían la conservación y dejación de la energía.</p>	<p>Reconocieron el concepto científico de trabajo.</p> <p>Comprendieron que los conceptos científicos evolucionan.</p> <p>Comprendieron conceptos como: liberación, variación de energía y energía constante.</p> <p>Explicaron la ley de conservación de la energía.</p> <p>Reconocieron sistemas conservativos y no conservativos.</p> <p>Comprendieron las transformaciones de las propiedades mecánicas del sistema.</p> <p>Definieron y diferenciaron fuentes, formas y tipos de energía.</p> <p>Establecieron el concepto de transformación y degradación de la energía.</p>
Explicación de fenómenos	<p>Se les dificultó predecir los movimientos de los cuerpos al utilizar la ley de conservación de la energía mecánica.</p> <p>Se les dificultaba interpretar fenómenos y solucionar ecuaciones derivadas de situaciones-problemas relacionadas con la energía, al emplear leyes físicas.</p> <p>No reconocían algunas variables de estado (magnitudes que se emplean para describir el estado de un sistema).</p>	<p>Predijeron cualitativamente y cuantitativamente, por medio de enunciados, gráficas y diagramas, los movimientos de los cuerpos al implementar el principio de conservación de la energía en situaciones diferentes.</p> <p>Interpretaron situaciones-problemas utilizando leyes de la energía y planteando modelos físicos.</p> <p>Explicaron situaciones-problemas al reconocer las magnitudes que se emplean para describir un sistema y las argumentaron mediante modelos de sistemas mecánicos.</p>
Indagación	<p>Presentaban dificultades para graficar de magnitudes físicas en plano cartesiano.</p> <p>Presentaban dificultad al relacionar una tabla de datos con su respectiva gráfica.</p> <p>No definían y no diferenciaban correctamente modelo, teoría, ley, explicación, predicción e hipótesis.</p>	<p>Representaron, interpretaron y analizaron datos representados en textos, gráficas, dibujos, diagramas o tablas.</p> <p>Plantearon hipótesis y predicciones.</p> <p>Diseñaron, construyeron y tomaron datos de experimentos para dar respuesta a las situaciones-problema planteadas.</p>

*Continúa...*

Competencias	Errores conceptuales de los estudiantes antes de la implementación de la propuesta	Aprendizajes que se promovieron después de la implementación de la propuesta
	<p>Se les dificultaba diseñar, construir y tomar datos precisos de experimentos para dar respuesta a situaciones-problemas.</p> <p>Se les dificultaba realizar análisis e interpretación de datos obtenidos de experimentos reales o mentales.</p> <p>Se les dificultaba plantear conclusiones utilizando información validada por especialistas.</p>	<p>Reconocieron la importancia de registrar y clasificar la información para realizar un buen análisis e interpretación de información.</p> <p>Consultaron información relevante y validada para evaluar predicciones.</p>

Fuente: elaboración propia.

En la competencia de uso comprensivo del conocimiento científico se identificaron cambios conceptuales, ya que la mayoría de los estudiantes mejoraron en sus niveles de desempeño al llegar a 3 y 4. Se concluye que desarrollaron la capacidad para comprender la conservación de la energía mecánica como un principio que permite cuantificar y explicar diferentes fenómenos mecánicos, asociar fenómenos naturales con conceptos propios del conocimiento científicos e identificar las características de algunos fenómenos de la naturaleza basados en el análisis de información y conceptos propios del conocimiento científico.

En la competencia de explicación de fenómenos se fomentó la capacidad para construir explicaciones, pues la mayoría de los estudiantes, después de la implementación de la propuesta, se ubicó en niveles de desempeño 3 y 4. Lo anterior se evidenció en el desarrollo de la relación entre dos o más conceptos del conocimiento científico y de la evidencia derivada de investigaciones científicas, así como de la explicación de cómo ocurren algunos fenómenos de la naturaleza basada en observaciones, patrones y conceptos propios del conocimiento científico.

En la competencia de indagación se evidencia el desarrollo de la observación y relación de patrones en los datos para evaluar las predicciones, debido a que, después de la implementación de la propuesta, la mayoría de los estudiantes logró niveles de desempeño 3 y 4.

Con respecto a la resolución de problemas basados en las etapas del trabajo científico, se pudo comprobar que durante la implementación de la propuesta se fomentó en los estudiantes una evolución en el desarrollo de cada una de las etapas. Durante el trabajo de cada una de las situaciones-problemas, se les presentaba a los estudiantes un microanálisis de los errores conceptuales que se exhiben en cada una de las etapas. En la tabla 6.9 se expone un microanálisis de una de las actividades.

Durante el proceso de la implementación, los estudiantes detectaron sus errores conceptuales, evolucionaron en la resolución de problemas y, de esta manera, comprendieron la importancia de utilizar el método de las etapas del

**Tabla 6.9. Microanálisis del desarrollo de una situación-problema basada en las etapas del trabajo científico**

**Errores conceptuales en el desarrollo de problemas  
basados en las etapas del trabajo científico  
Número de estudiantes: 60**

<b>Etapas</b>	<b>Microanálisis del desarrollo de los estudiantes</b>	<b>Número de estudiantes que participaron</b>
Análisis cualitativo	Falta lectura comprensiva del enunciado del problema, ya que no especifica datos e incógnitas. No especifica los dos casos que se plantearon en el problema. No establece relación entre valores con magnitudes físicas. No hay claridad y orden en la presentación de datos e incógnitas.	14
Hipótesis	Plantea dependencias incorrectas, ya que involucra magnitudes que no sirven para la resolución del problema: velocidad y aceleración.	6
Plan	No plantea un plan para desarrollar el caso 2.	2
Desarrollo	No plantea un desarrollo para el caso 2.	12
Análisis	Presenta errores en el análisis 2, ya que en la hipótesis no se plantea que el trabajo realizado por la fuerza 2 era cero. No justifica por qué se cumplió la hipótesis.	6
Perspectivas	No redacta de forma organizada y con sentido el enunciado del problema. Faltan datos para que el problema quede bien planteado.	3

Fuente: elaboración propia.

trabajo científico. Así, pudieron plantear y desarrollar la situación, realizar inferencias y proponer otras situaciones-problemas de forma clara, correcta y creativa.

## Discusión

Este apartado presenta los hallazgos relacionados con el desarrollo de las competencias científicas propuestas y la metodología de resolución de problemas basada en el trabajo científico. Como se ha dicho, este enfoque fomenta la enseñanza por investigación dirigida y sus relaciones con investigaciones previas, bases teóricas y marcos conceptuales.

Uno de los hallazgos significativos de esta investigación es que la implementación de la propuesta didáctica de investigación dirigida favorece el desarrollo de las competencias científicas. Lo anterior se evidenció en que, antes de la implementación, los estudiantes de niveles 3 y 4 se encontraban entre el 0% y el 13,3%; después de la implementación de la propuesta, el porcentaje aumentó significativamente entre el 66,6% y el 83%. Una causa de este mejoramiento en el nivel de desempeño de los estudiantes corresponde a la estructura problematizada planteada por Martínez y Verdú (2001), quienes plantean que las actividades diseñadas para la presentación de problemas, la formulación y comprobación de hipótesis, el análisis de resultados y el planteamiento de problemas abiertos, propician espacios para que se desarrollen capacidades y habilidades científicas. Estas capacidades están traducidas en usar, comprender y establecer relaciones de los conceptos y las leyes de la energía mecánica para la solución de situaciones-problemas; en construir explicaciones y comprender argumentos y modelos que justifiquen las transformaciones mecánicas, y en comprender que, a partir de la investigación, se construyen los conceptos y las leyes de trabajo y energía.

Estos hallazgos revelan similitudes con las investigaciones de Claret (2000), ya que en su teoría expone que las apropiaciones de los conceptos científicos implican cambios conceptuales entre el conocimiento del estudiante y el conocimiento científico. Los resultados del postest y la evolución en los desarrollos de las actividades de los estudiantes muestran cambios conceptuales experimentados por los estudiantes. Además, el Icfes y el MEN, a partir de la

interpretación de diferentes definiciones de competencias científicas, plantean que las capacidades requieren producir, apropiar o aplicar comprensiva y responsablemente los conocimientos científicos. Este estudio es coherente con esos requerimientos, porque muestra cómo, a partir de actividades fundamentadas en la estructura problematizada, los estudiantes fomentan la construcción y aplicación de los conceptos y leyes de la energía (Icfes, 2019).

Otro de los hallazgos relevantes es el desarrollo en la resolución de problemas de física basado en el trabajo científico. Lo anterior se evidencia en que, antes de la implementación de la propuesta, los estudiantes se tornaban pesimistas ante el desarrollo de situaciones-problemas basadas en el trabajo científico. Cuando se les planteó las etapas del desarrollo, consideraban que era innecesario practicarlas, ya que una ecuación y el reemplazo de datos bastaba para la solución. Durante la implementación de la propuesta, los estudiantes expresaban que era más fácil desarrollar y solucionar las situaciones-problemas por medio de las etapas. Este proceso les permitía leer, analizar, desarrollar e interpretar de forma correcta la situación-problema planteada.

Por lo anterior, se pudo comprobar que la adquisición de habilidades en las etapas del trabajo científico para la resolución de problemas está fundamentada en plantear a los estudiantes que no basta con resolver los problemas de forma matematizada (reemplazar datos en ecuaciones). Así, proponer y estimular, desde un planteamiento cualitativo, la formulación de hipótesis, la organización de un plan, el análisis de resultados y el planteamiento de más situaciones-problemas, contribuyen a desarrollar la capacidad de enfrentarse a resolver problemas y fomentar destrezas y habilidades científicas. Aspectos similares fueron planteados con el modelo de resolución de problemas de las investigaciones de Becerra *et al.* (2005), quienes plantean que enseñar a los estudiantes a resolver problemas implica crear ambientes en los que existan oportunidades de poner en práctica las formas de pensamiento y acción de la actividad científica.

Además, el diseño e implementación del plan-guía de actividades con estructura problematizadora ha sido una experiencia emocionante y gratificante, ya que el proceso vivido en la realización, organización y enriquecimiento de cada una de las actividades promueve la formación de los docentes de ciencias físicas, tanto para la disciplina como para el desarrollo de las competencias científicas. Los resultados obtenidos con los estudiantes muestran la motivación en

la realización de las actividades y el cambio de actitud hacia el aprendizaje de la física.

Este último hallazgo presenta aproximaciones similares con la tesis doctoral de Verdú (2004), que presenta planteamientos relacionados con la motivación y apropiación de conceptos de los estudiantes y docentes. De acuerdo con esta autora:

Los estudiantes que han sido instruidos dentro de la estructura problematizada consiguen una mayor apropiación de lo tratado (orientación, recuerdo relevante e implicación/ motivación), manifiestan mejores actitudes hacia el aprendizaje de la física y química y valoran muy positivamente la propia estructura. (2004, p. 192)

Además, los profesores que participan en cursos de formación en los cuales tienen oportunidad de conocer la estructura propuesta para organizar los temas y cursos de física y química, muestran expectativas muy positivas sobre la medida en que dicha configuración mejoraría la enseñanza y el aprendizaje.

## **Conclusiones**

La propuesta didáctica de resolución de problemas de física por investigación dirigida en los estudiantes de décimo grado, de la Institución Educativa Integrado Joaquín González Camargo, fomenta cambios en el desarrollo de las competencias científicas en el tema de energía que, a su vez, son evaluadas por el Icfes.

Se puede afirmar que es necesario incluir actividades que desarrollen algunas habilidades de pensamiento y de procedimiento para evaluar las predicciones y la modelación de fenómenos de la naturaleza basadas en el análisis de variables. En ese sentido, es claro que persisten dificultades en estos aprendizajes de competencias.

No es una tarea fácil modificar la forma tradicional como se enseña física, o como se enseñan ciencias naturales en la institución, pero el desarrollo de esta investigación abre las posibilidades para que la autora, con la apropiación conceptual y con la experiencia de doce años de trabajo en esta propuesta, pueda

empezar a propiciar los espacios de debate en la institución, en el contexto académico.

Esta investigación plantea nuevas líneas de investigación en torno a la planificación y organización de todas las unidades temáticas que conforman las ciencias físicas de educación media, a través del modelo de resolución de problemas por investigación dirigida. Esta pesquisa muestra la necesidad inaplazable de desarrollar estudios en esta línea para poblaciones de educación básica de colegios públicos, ya que la formación científica enfocada en teorías acabadas y consolidadas expone una imagen de la ciencia distorsionada y empobrecida, que produce desinterés y desmotivación, lo cual se convierte en un obstáculo para el aprendizaje en la educación media.

Otra línea de investigación por desarrollar es la organización e implementación de propuestas para las prácticas pedagógicas de profesores en formación y activos. Los docentes de ciencias experimentales deben implementar propuestas didácticas de aprendizaje que estén basadas en la construcción del conocimiento científico, a la manera en que los científicos han edificado sus modelos, leyes y teorías.

## Referencias

- Becerra, C. (2004). *La enseñanza de la mecánica newtoniana con una estructura problematizada n el primer curso universitario. Efectos sobre el clima del aula, el aprendizaje conceptual y la capacidad para la resolución de problemas* [tesis doctoral, Universidad de Alicante, España].
- Becerra, C. (2007). La física con una estructurada problematizada. Efectos sobre el aprendizaje conceptual, las actitudes e intereses de los estudiantes universitarios. *Revista Brasileira de Esino de Física*, 29(1), 95-103. <https://www.scielo.br/j/rbef/a/CvfZGCRRpZYXcRN7XrtmL8v/?lang=es->
- Becerra, C., Gras, A. y Martínez, J. (2005). ¿Cómo se enseña a resolver problemas de física en bachillerato y primeros cursos universitarios? *Revista Docencia Universitaria*, 6(1), 37-54.
- Carrascosa, J., Martínez, S. y Alonso, M. (2020). Competencia científica y resolución de problemas de física. *Revista Científica*, 38(2), 201-215. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/revcie/article/view/16211>

- Claret, A. (2000). *Relación entre el conocimiento del estudiante y el conocimiento del maestro en las ciencias experimentales*. Instituto de Educación y Pedagogía, Universidad del Valle.
- Gil, D., Carrascosa, J., Furio, C. y Martínez, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la Educación Secundaria*. ICE-Horsori.
- Gold, B., Martínez, J., Sifredo, C., Valdés, y Vilches, A. (2005). *¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años*. Unesco; Andros impresores.
- Hashweh, M. Z. (1986). Toward an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8(3), 229-249.
- Hernández, C. (2005, 11 de octubre). *¿Qué son las “competencias científicas”?*. Foro Educativo Nacional. [http://artemisa.unicauca.edu.co/~gerardorengifo/Documentos/ExperimentacionI/2018\\_Exp\\_IP\\_lectura%20CompetenciasEval30por.pdf](http://artemisa.unicauca.edu.co/~gerardorengifo/Documentos/ExperimentacionI/2018_Exp_IP_lectura%20CompetenciasEval30por.pdf)
- Hernández C. y Salamanca X. (2017). Fortalecimiento de competencias científicas. La investigación como estrategia pedagógica. *Horizontes Pedagógicos*, 19(2), 91-100.
- Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación Superior (Icfes). (2015). *Matriz de referencia. Ciencias naturales 11*.
- Icfes. (2018). *Reporte de resultados del examen Saber 11° por aplicación. Establecimientos educativos*. <https://www.datos.gov.co/Educacion/Resultados-Saber-11-2018-1-Refinado/ptck-fi3s>
- Icfes. (2019). *Marco de referencia para la evaluación. Prueba de ciencias naturales, Saber 11*. <https://www.icfes.gov.co/documents/20143/1500084/Marco+de+referencia+ciencias+naturales+saber+11.pdf/1713a30f-87e5-e944-b8bc-07645b9a9a4e>
- Jorba, J. y Sanmartí, N. (1996). *Enseñar, aprender y evaluar: un proceso de regulación continua. Propuestas didácticas para las áreas de Ciencias de la Naturaleza y Matemáticas*. Ministerio de Educación.
- Martínez, J. y Verdú, R. (2001). *¿Cómo organizar la enseñanza para un mejor aprendizaje? La estructura de los cursos y los temas en la enseñanza por investigación. Enseñanza de las Ciencias*, (Extra), 97-98.
- Ministerio de Educación Nacional (MEN). (2016). *Matriz de referencia. Ciencias Naturales 11*. Panamericana Formas e Impresos S. A.
- MEN. (2004). *Estándares básicos de competencias en Ciencias Naturales y Ciencias Sociales. Formar en Ciencias: ¡el desafío!* Espantapájaros Taller; Cargraphics. [http://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-81033\\_archivo\\_pdf.pdf](http://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-81033_archivo_pdf.pdf)

- Moya, A., Chaves E. y Castillo K. (2011). La investigación dirigida como un método alternativo en la enseñanza de las ciencias. *Revista Ensayos Pedagógicos*, 6(1), 115-132. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5409402>
- National Research Council. (1996). Principles and definitions. En *National Science Education Standards* (pp. 19-26). The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/4962>
- Schettini, P. y Cortazzo, I. (2015). *Análisis de datos cualitativos en la investigación social. Procedimientos y herramientas para la interpretación de información cualitativa*. Editorial Universidad de la Plata.
- Taylor, S. y Bogdan, R. (2000). *Introducción a los métodos cualitativos*. Paidós.
- Vásquez, E., Arenas A. y Becerra S. (2013). La investigación dirigida como estrategia para el desarrollo de competencias científicas. *Revista Científica* 18(1), 76-89. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/revcie/article/view/5563/15555>
- Verdú, R. (2004). *La estructura problematizada de los temas y cursos de física y química como instrumento de mejora de su enseñanza y aprendizaje* [tesis doctoral, Universidad de Valencia, España]. <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/2782/1/tesis.pdf>
- Villarreal, J. y Sánchez, L. (2018). *Incidencia de la implementación de una unidad didáctica diseñada en el modelo de investigación dirigida en el aprendizaje de la estequiometría* [tesis de maestría, Universidad de Antioquia]. <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/12283>

## Capítulo 7. ¿Es posible enseñar física sin matemáticas? Una propuesta desde la dinámica de sistemas\*

Mónica Alarcón Rodríguez

La dinámica de sistemas es una metodología ampliamente usada en diferentes campos, que desde hace algunas décadas se ha empleado en la educación. El objetivo de este capítulo es presentar la implementación de una propuesta de aula que contempla los principios cualitativos de la dinámica de sistemas, con énfasis en la ponderación del análisis cualitativo y la comprensión de los fenómenos sobre el manejo de las ecuaciones. En este estudio cualitativo se utiliza la metodología de investigación basada en diseño, en la que se presentan los resultados de dos iteraciones de la propuesta dirigida a estudiantes de décimo grado. Cada iteración corresponde al mismo diseño con un fenómeno diferente: estudio del vaciado de un tanque y estudio de la caída de objetos. En este texto se presentan los resultados de esta propuesta a partir del análisis de contenido de las respuestas y las participaciones de los estudiantes en los diferentes momentos de la implementación. Este análisis cualitativo está vinculado a tres categorías: pensamiento en término de modelos, pensamiento dinámico y pensamiento interrelacionado. Los resultados se interpretan bajo dos aspectos: la clase de Física y la dinámica de sistemas en el aula. Los resultados muestran que plantear una estructura de clase diferente fomenta un mayor protagonismo, motivación y compromiso con el aprendizaje por parte de los estudiantes. Así, revelaron la diversidad en las explicaciones y discusiones productivas. En el análisis de las explicaciones se evidencia que los estudiantes incluyen variables que normalmente no son tenidas en cuenta en los problemas de física. También establecen relaciones entre variables de forma compleja y, en algunos casos, sus explicaciones implican bucles de retroalimentación.

\* Para citar este capítulo: <http://doi.org/10.51573/Andes.9789587985061.9789587985078.7>

## Introducción

Para los estudiantes de secundaria, la clase de Física representa un reto debido a la complejidad en el uso de las ecuaciones. En el proceso de enseñanza, gran parte del tiempo está enfocado en la comprensión matemática de los fenómenos físicos; sin embargo, los resultados en los aprendizajes de los estudiantes muestran que la comprensión es mínima (Gil *et al.*, 1988) y que, a su vez, genera conflictos epistemológicos (Becerra *et al.*, 2004).

Es común que, en los textos de física, tanto para la educación media como universitaria, se ofrezca una explicación conceptual de los temas y se vayan introduciendo paulatinamente ecuaciones que representan la relación cuantitativa entre las variables del fenómeno explicado. Sin embargo, es grande la brecha que existe entre los fenómenos que se quieren estudiar en la clase y las ecuaciones que se presentan para resolver los ejercicios, ya que tienen consideraciones implícitas para disminuir la complejidad matemática de su solución y así desprestigiar<sup>1</sup> variables. Si bien este proceso fue clave en el desarrollo de la física, estas simplificaciones en la enseñanza conllevan a que la ecuación deje de ser parte de la explicación del fenómeno observable. En consecuencia, en el aprendizaje, la comprensión y la explicación de los fenómenos queda relegada a un segundo plano y el centro de las actividades gira en torno a despejar ecuaciones para hallar una determinada variable de un fenómeno ideal, sin considerar el análisis de fenómenos físicos o el planteamiento de problemas. Por esta razón, es relevante la utilización de una metodología alternativa para la clase de física, como la dinámica de sistemas, en la que lo relevante no es estudiar los fenómenos ideales, sino comprender los fenómenos observables.

Para esta investigación, los fenómenos estudiados son: el vaciado de un tanque y la caída de objetos. El propósito consiste en analizar estos fenómenos mediante el establecimiento de modelos mentales, para así identificar la interrelación entre las variables a lo largo del tiempo y establecer bucles de retroalimentación entre estas. Particularmente, cuando se enseña el fenómeno del vaciado de un tanque, se utilizan ecuaciones que no tienen en cuenta la

<sup>1</sup> En los textos de física es común encontrar palabras como *desprestigiar* o *desprestiable* cuando se asumen valores constantes o que pueden aproximarse a cero.

velocidad de la superficie del líquido que se vacía. Cuando se enseña el problema de la caída de objetos, las ecuaciones no tienen en cuenta la fricción del objeto con el aire.

En esta investigación se propusieron sesiones de clase con dos grupos de décimo grado de la Escuela Pedagógica Experimental (Bogotá, Colombia). Las sesiones tuvieron la siguiente estructura: planteamiento de preguntas en grupos pequeños; socialización con el grupo general; diseño y realización de experimentos para comprobar las explicaciones, y por último, sesiones de clase de cierre en las que se retomaron las preguntas y las discusiones que se dieron durante las primeras sesiones. El enfoque de esta investigación es cualitativo y sigue el paradigma del constructivismo al hacer uso de la metodología de investigación basada en diseño. Esta investigación se llevó a cabo para identificar cuáles habilidades propias de la dinámica de sistemas logran los estudiantes al plantear la clase de Física desde esta perspectiva.

### **Dinámica de sistemas**

La dinámica de sistemas surge en la segunda mitad del siglo XX, en la misma época en la que surgían perspectivas que respondían a un nuevo paradigma. Desarrollos como la cibernética, la teoría general de sistemas, el pensamiento sistémico o la complejidad eran alternativas al estudio de fenómenos no simplificados o idealizados, por lo cual implicaba considerar que la suma del todo no era igual a la suma de las partes; así, el concepto de sistema era el eje central. En el presente puede verse que durante la evolución de estos campos de conocimiento han existido tanto puntos en común como puntos divergentes (Drack y Pouvreau, 2015).

Para comprender las bases teóricas sobre las que se fundamenta este capítulo, es importante exponer y aclarar por qué se habla aquí de dinámica de sistemas y pensamiento sistémico. Este último abarca una variedad de enfoques que reconocen la importancia de ver las situaciones o fenómenos como sistema, así como de entender la interacción entre las partes (Senge *et al.*, 2012). Por otra parte, la idea central de la dinámica de sistemas se basa en plantear un modelo mental que considere los fenómenos como un conjunto de elementos o componentes que se encuentran integrados (pensamiento sistémico) y que, debido a

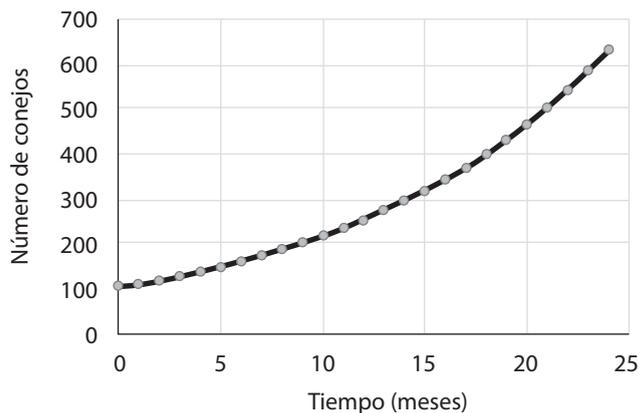
su interacción y a su relación con el entorno, tienen un comportamiento particular. Dentro de su metodología se reconocen tres principios: modelos mentales, procesos de retroalimentación y simulación por computador (Forrester, 1996).

Los modelos mentales son claves en la conceptualización de los fenómenos y se evidencian en la forma en que vemos y comprendemos nuestro entorno. Los sistemas retroalimentados nos rodean en todo lo que hacemos. Existe un proceso de retroalimentación cuando la acción afecta la condición de un sistema y esa condición afecta la acción futura. La simulación por computador permite una simplificación matemática, como también probar de manera más eficiente el modelo mental de un fenómeno.

Uno de los ejemplos iniciales en los cursos de dinámica de sistemas es el estudio de la variación, a lo largo del tiempo, de la población de una determinada especie. En la gráfica 7.1 se observa el comportamiento de una especie con tasa de reproducción alta, como los conejos. Al cabo de un tiempo, el número de conejos va a ser elevado, si en el presente cuentan con un ambiente propicio y recursos suficientes para sobrevivir.

Esta gráfica nos indica que el número de conejos en un determinado ambiente crecerá rápidamente en pocos meses y con tendencia a seguir aumentando. Tanto en la escuela como en la universidad, cuando se aborda este tema, se presentan las siguientes ecuaciones:

Gráfica 7.1. Tasa de reproducción de una población de conejos



Fuente: elaboración propia.

$$P = P_i \times K \quad (1)$$

$$P = P_i e^{Kt} \quad (2)$$

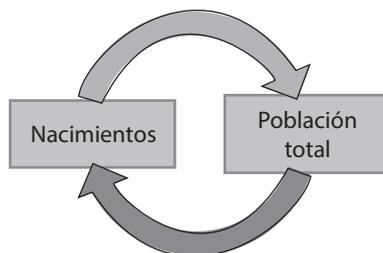
Convenciones:  $P$ : población en determinado tiempo;  $P_i$ : población inicial;  $K$ : tasa de natalidad;  $t$ : tiempo;  $e$ : exponencial.

La ecuación 1 se introduce normalmente en los cursos iniciales de la educación básica secundaria; la ecuación 2, en los cursos universitarios Ecuaciones Diferenciales o Ecología. En los ejercicios propuestos se dan a los estudiantes datos como la población inicial y la tasa de natalidad; a su vez, se plantea calcular la población en determinado tiempo. Si bien estas ecuaciones son correctas, funcionan como cajas negras en la comprensión del fenómeno. Los estudiantes pueden comprenderlas, pero al plantearles preguntas sobre el fenómeno o cómo es el comportamiento de la población, las dudas siguen siendo las mismas, a pesar de que conocen el manejo matemático de las ecuaciones de población.

El análisis de este problema, con base en la dinámica de sistemas, puede ser abordado al estudiar sus variables e interrelaciones. Dicho estudio se puede representar mediante el siguiente bucle de retroalimentación (figura 7.1).

Este es un bucle de retroalimentación que refleja el movimiento de la población de conejos en determinado tiempo. En palabras, esto se expresa de la siguiente manera: entre más conejos hay, más nacimientos pueden darse y, a su vez, entre más nacimientos, mayor es la población de conejos. En el análisis de este problema surge la pregunta de qué tan viable es que el número de conejos crezca indefinidamente; como no es sustentable una población infinita,

Figura 7.1. Bucle de retroalimentación n.º 1 relacionado con la población de conejos



Fuente: elaboración propia.

emerge naturalmente la necesidad de encontrar un elemento que regule este crecimiento. En este caso, los elementos que controlarían la población podrían ser la falta de recursos para subsistir en el ambiente o la existencia de un depredador que también habite la zona. Con este nuevo elemento, el modelo se amplía y se representa en la figura 7.2.

Por lo general, esta relación que se presenta en la figura 7.2 se lleva a cabo en la enseñanza media y universitaria al utilizar la ecuación 3, que representa la población de una especie teniendo en cuenta una variable para la mortalidad de la población. En los cursos de matemáticas se presenta como una ecuación logística.

$$P = \frac{C}{1 + Ae^{-rt}} \quad (3)$$

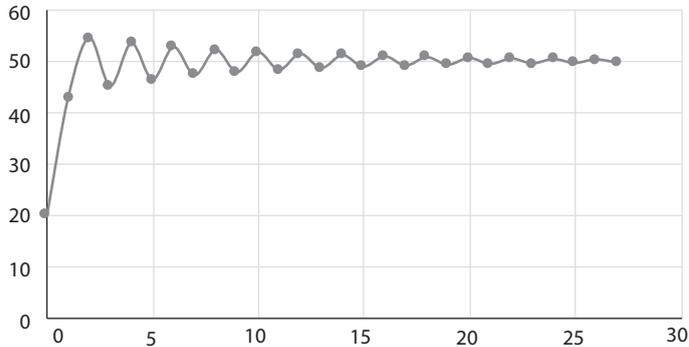
Convenciones:  $P$ : población total;  $C$ : capacidad de carga del ambiente o límite de la población;  $A$ : coeficiente;  $r$ : coeficiente vital de la población.

En los cursos universitarios de matemáticas, los estudiantes se encuentran con ejercicios de libro de texto (Ureña, 2009) del siguiente tipo: “Supongamos que en un lago se introducen 100 peces. Después de tres meses sabemos que hay 250 peces. Un estudio ecológico predice que el lago puede mantener a 1000 peces. Vamos a encontrar una fórmula para el número  $y(t)$  de peces en el lago,  $t$  meses después de la introducción de los 100 peces” (p. 70). Este tipo de ejercicios van más orientados al manejo de las ecuaciones y no a la comprensión del fenómeno; los coeficientes o las constantes que aparecen en las ecuaciones surgen como resultado de la solución de las ecuaciones diferenciales, pero poco se comprende acerca de su aplicación. En la gráfica 7.2 se observa lo que se

Figura 7.2. Bucle de retroalimentación n.º 2 relacionado con la población de conejos



Fuente: elaboración propia.

Gráfica 7.2. **Dinámica poblacional de una especie**

Fuente: elaboración propia.

obtiene al graficar estas ecuaciones. Estas gráficas expresan más el comportamiento de la población de conejos que las ecuaciones, pues a partir de ellas se pueden realizar análisis; no obstante, para llegar a ellas, se utilizó una ecuación como una caja negra para obtener los resultados. A través de programas de simulación o al utilizar ecuaciones sencillas recurrentes, podría llegarse a los mismos resultados desde la dinámica de sistemas, pero con el componente adicional de la representación en bucles de retroalimentación de las variables que están involucradas en el problema de estudio. Así, este enfoque fortalecería la comprensión del fenómeno.

### **Dinámica de sistemas en la educación**

La dinámica de sistemas se ha aplicado al estudio de múltiples problemas y fenómenos, principalmente en Europa y Norteamérica. Se ha empleado en diversos ámbitos, desde lo corporativo hasta la construcción de teorías en ciencias sociales. En Colombia, los desarrollos en educación se han dado primordialmente en ingeniería industrial, ecología, y economía.

Además de las anteriores aplicaciones, esta metodología ha permeado también ambientes educativos como una alternativa para hacer frente a las crecientes críticas por no preparar a los estudiantes en el abordaje de problemas de la vida moderna (Forrester, 1996). Si bien otras metodologías y didácticas plantean alternativas ante estas críticas, la dinámica de sistemas y el pensamiento

sistémico promueven una enseñanza de naturaleza no fragmentaria que explique una sociedad más compleja y estrechamente interconectada. Por lo regular, se espera de los estudiantes que formen una unidad conceptual a partir de los fragmentos de experiencias educativas; sin embargo, esta habilidad de síntesis no se logra en la mayoría de los cursos.

Estas y otras dificultades que se presentan en la educación son contempladas en los artículos de investigación sobre dinámica de sistemas en el aula. Uno de los primeros trabajos de aplicación fue realizado por la docente norteamericana Nancy Roberts (1975, citada en Forrester, 1990), quien mostró la dinámica de sistemas como una opción para desarrollar capacidad de síntesis en estudiantes de niveles quinto y sexto grado (10-12 años) (Roberts, 1978). La autora plantea una estrategia de enseñanza basada en la dinámica de sistemas en la que da marcha atrás a la secuencia educativa tradicional y concluye que los resultados positivos de la investigación muestran la posibilidad de implementar esta estrategia con otros grupos.

En la actualidad, el Massachusetts Institute of Technology es pionero y abandonado del estudio de la dinámica de sistemas. Ofrece seminarios para conocer y profundizar en esta metodología. En cuanto a la educación, desde 1991, la organización The Creative Learning Exchange (<http://www.clexchange.org/>) fomenta un proceso de aprendizaje activo, tanto para docentes como para estudiantes. Este involucra la resolución de problemas reales a través del pensamiento sistémico y la dinámica de sistemas. En Europa, la dinámica de sistemas también se ha difundido; como caso particular, existe una comunidad de científicos que trabaja sobre las investigaciones llevadas a cabo por Guenther Ossimitz, en Austria (Ossimitz y Kainz, 2002). En este trabajo del 2002, los autores pretenden determinar si los estudiantes son capaces de analizar, a partir de la dinámica de sistemas, una situación particular teniendo como punto de partida la lectura de gráficas. Otro ejemplo es la labor llevada a cabo en la Alta Scuola Pedagogica (Locarno, Suiza), donde se utiliza el programa Stella<sup>2</sup> (d'Anna, 2006).

En Latinoamérica, los trabajos de dinámica de sistemas no son numerosos y los trabajos desarrollados apuntan a la educación universitaria (Molina, 2007;

<sup>2</sup> Stella es un lenguaje de programación visual para el modelado de dinámica de sistemas introducido por Barry Richmond en 1985.

Palma, 2005). Desde el 2003 se viene realizando el Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas por parte de la Asociación Colombiana de Dinámica de Sistemas, ACDS, (<https://comunidadcolombianads.com/>), cuyo objetivo es congregar estudiantes e investigadores interesados, o personas que han hecho desarrollos en campos como energía, educación, sostenibilidad y medio ambiente e innovación en el marco de esta metodología. La participación de investigaciones o trabajos realizados en educación son escasos.

Los pocos trabajos presentados en estos congresos, en los últimos cinco años, han sido propuestos por universidades colombianas. Un ejemplo es el grupo SIMON de la Universidad Industrial de Santander (UIS), que ha llevado a cabo una propuesta de aplicación del pensamiento sistémico en la educación media. Este grupo participó en la creación de la Maestría en Informática para la Educación de la UIS, por lo que algunos trabajos también van orientados al pensamiento sistémico y la dinámica de sistemas (Perdomo *et al.*, 2020). La Universidad Autónoma de Bucaramanga ha incursionado también en esta metodología y en el 2020 un grupo de académicos presentó el trabajo titulado *La dinámica de sistemas en la educación básica primaria colombiana, una experiencia en el marco de Computadores para Educar* (Niño *et al.*, 2008). En este texto se propone la incorporación de la dinámica de sistemas en la educación básica primaria, basada en un método didáctico soportado en el aprendizaje conceptual y colectivo.

En Bogotá, los trabajos de mayor número están centrados en la enseñanza universitaria (Aceros *et al.*, 2011). Dentro de los aportes en educación básica y media se encuentran los trabajos de grado desarrollados por estudiantes del grupo de Sistemas Dinámicos de la Universidad Pedagógica Nacional (por ejemplo, Peñaloza, 2013). También se cuenta con las contribuciones desarrolladas por estudiantes de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, que hacían parte del grupo de Dinámica de Sistemas de la Corporación Escuela Pedagógica Experimental (por ejemplo, Alarcón, 2012).

Los trabajos publicados sobre dinámica de sistemas y pensamiento sistémico son aproximaciones que reflexionan y evidencian algunos beneficios interesantes en la educación, tanto en la comprensión de fenómenos por parte de los estudiantes como en la forma alternativa de analizar situaciones cotidianas. Aunque las publicaciones no sean numerosas, estos conceptos hacen parte

de marcos teóricos importantes como, por ejemplo, el marco de referencia de Competencias Ciudadanas, que tiene como uno de sus componentes el pensamiento sistémico (Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación Superior, Icfes, 2019).

## Metodología

Este texto se vincula con la perspectiva metodológica de investigación basada en diseño, la cual ha sido acogida en educación porque permite realizar investigación en contextos reales que impactan directamente la práctica educativa (McKenney y Reeves, 2013). La investigación basada en diseño se enfoca en la implementación de intervenciones iterativas en el aula; utiliza tanto métodos de investigación cualitativa como cuantitativa y mixta. La diferencia con otras metodologías en educación radica en su compromiso con la comprensión teórica en el diseño y el desarrollo de las intervenciones en aula (McKenney y Reeves, 2012). El proceso cíclico de esta metodología implica las siguientes fases: diseño, implementación, evaluación y reflexión. En la figura 7.3 se presenta la adaptación de estas fases para el diseño planteado en esta investigación.

Figura 7.3. Las cuatro fases de la investigación basada en diseño



Fuente: elaboración propia.

## Diseño

El telón de fondo en el diseño de las actividades para concretar estas reflexiones fue, para el caso 1, el problema del vaciado del tanque; para el caso 2, la caída de objetos. En esta investigación se realizaron dos iteraciones cuyo diseño estuvo determinado por las reflexiones relacionadas con la pregunta “para qué la clase de física”, así como con la dinámica de sistemas en el aula.

### *La clase de Física*

A continuación, se presenta en la figura 7.4 el esquema de la propuesta que tiene tres elementos transversales para la clase de Física.

Estos tres elementos se tienen en cuenta para cada uno de los momentos de la implementación, de la siguiente manera:

- **Confianza en la racionalidad:** implica que el estudiante sea protagonista de la clase, en tanto que interioriza que lo que está a su alrededor es susceptible de ser conocido y comprendido. Este aspecto se refleja en el diseño de esta propuesta, pues permite que sean las respuestas de los estudiantes las que aporten y determinen, en gran medida, su desarrollo. Esto suscita que su argumentación se consolide y que, a partir de esta, se pueda dar cuenta del comportamiento del fenómeno (Segura, 2000).
- **Experimentación:** este elemento se introduce como un aspecto decisivo que ubica al estudiante en un escenario concreto y que aporta a la clase de Física. El elemento cuantitativo de la dinámica de sistemas es la simulación por computador; en esta investigación no se abordará esta parte y será la experimentación la que pondrá a prueba los modelos mentales.

Figura 7.4. Elementos de la clase de Física



Fuente: elaboración propia.

Este aspecto se refleja en el diseño de esta propuesta, un asunto posterior a la socialización de los casos en que los estudiantes plantean un experimento que les permita tener evidencia empírica y que confirme los modelos planteados. Este momento es fundamental, pues, en general, los experimentos en la clase de Física son reducidos e incluso inexistentes. Los desarrollos, a lo largo de la Física y por lo regular de la ciencia, se han logrado a partir del bucle de retroalimentación teoría-experimentación. Esta práctica no se debe desconocer en la escuela.

- **Socialización:** uno de los aspectos relevantes en la ciencia es la comunidad científica y el trabajo en equipo. La clase debe ser un espacio que promueva la interacción entre estudiantes en la que la exposición de argumentos a la clase sea una oportunidad para validar o reformular las explicaciones, establecer consensos y construir conocimiento. Este aspecto se refleja en el diseño de esta propuesta posterior a la primera parte del planteamiento de preguntas. La socialización no solo es importante por la labor académica que representa, sino porque permite que los estudiantes reconozcan en la argumentación una forma de participación válida en la que la racionalidad está por encima de actitudes agresivas o de imposición de una idea; es, además, un ejercicio en el que los estudiantes deben reconocer a sus pares como interlocutores válidos (Segura *et al.*, 1995).

### *Dinámica de sistemas en el aula*

El estudio de modelos ideales que corresponden a la física se opone desde el primer momento a los modelos de los estudiantes sobre el funcionamiento de las cosas que los rodean. La física se convierte entonces en un recetario de fórmulas para memorizar y utilizar en los exámenes. A partir de los sistemas dinámicos se pueden reconocer algunas variables o parámetros que están fuera del modelo ideal y que permitirían una mayor comprensión del fenómeno estudiado. La parte cualitativa de la dinámica de sistemas será el enfoque que se propone en esta investigación, que está relacionada con los modelos mentales y los bucles de retroalimentación.

- Modelos mentales: el hecho de explicar fenómenos de la vida cotidiana implica expresarlos en términos de los modelos mentales propios, exponer la forma como se ven las cosas, realizar análisis cualitativos y establecer relaciones entre las variables que se consideren relevantes. En el proceso de explicar se construye el conocimiento a partir de la relación entre el sujeto y el fenómeno estudiado; para este fin, el taller está compuesto por una serie de interrogantes organizados de tal manera que exijan una constante ratificación o contraargumentación de sus propias respuestas. Los modelos surgen como una manipulación mental de una situación hipotética (Mettini, 2020).
- Bucles de retroalimentación: hacen referencia a un pensamiento circular, en donde las variables forman una cadena cerrada, es decir, no constituyen ni causas ni efectos, y no se puede identificar un inicio o final. En la mayoría de los trabajos relacionados con la dinámica de sistemas (y en menor medida en los relacionados con pensamiento sistémico) se hace intencionadamente una introducción a los conceptos de bucle de retroalimentación y a diagramas de flujo-depósito para estudiar un fenómeno particular. En esta investigación se orientó el diseño de clase utilizando los principios de la dinámica de sistemas sin presentar estos conceptos a los estudiantes.

### *Primer momento: experimentos mentales*<sup>3</sup>

Sobre estos dos conceptos se realizó el diseño llevado a cabo en cuatro momentos (véase la figura 7.5).

Los experimentos mentales son situaciones hipotéticas que implican imaginar una situación concreta. Se plantean en el diseño, a través de preguntas que tienen dos objetivos: el primero, conocer cuáles y cómo son las explicaciones de los estudiantes; segundo, conocer cuáles son las variables y parámetros que los estudiantes consideran relevantes para la explicación del fenómeno. Este aspecto da indicios para conocer qué tipos de relaciones plantean los estudiantes

<sup>3</sup> Se entiende por *experimento mental* la acción de visualizar y predecir el comportamiento de un fenómeno para un determinado caso. Responde a la pregunta “¿Qué pasaría si...?”.

Figura 7.5. **Diseño para la clase de Física**

Fuente: elaboración propia.

para explicar los fenómenos. Los modelos mentales quedan reflejados en la verbalización o la escritura de las respuestas a las preguntas planteadas. En las respuestas se evidencia cómo los modelos están relacionados tanto con conocimientos teóricos como empíricos.

### *Diseño de las preguntas*

El objetivo de las preguntas diseñadas para el momento 1 tenían el efecto de emocionar, cuestionar y causar curiosidad. Diferentes autores han escrito sobre la necesidad de la acción consciente de preguntar en el aula (Freire, 2013; Romero, 2006); incluso, en los *Estándares Básicos de Competencias*, documento oficial del Ministerio de Educación Nacional, se propone que los estudiantes desarrollen habilidades científicas y las actitudes requeridas para explorar fenómenos, así como para resolver problemas a través de devolverles el derecho de preguntar para aprender (Ministerio de Educación Nacional, MEN, 2004). En la sección “Me aproximo al conocimiento como científico(a) natural o social”, la acción de preguntar se incluye en todos los grados y aparece 71 veces. Este

dato muestra la importancia de plantear preguntas para que los estudiantes se acerquen a los conocimientos de la ciencia.

Al considerar estos planteamientos, no es de esperar que las preguntas que se plantean en clase sean un detalle menor. En el diseño de esta propuesta, las preguntas están orientadas a fomentar que los estudiantes construyan experimentos mentales para conocer cuáles y cómo son las explicaciones que los alumnos elaboran de la situación presentada. Las preguntas del taller para cada iteración no tienen una estructura idéntica, pero sí tienen en común sus objetivos. Este aspecto es fundamental porque permite familiarizarse tanto con el lenguaje como con el punto de vista que tienen frente al conocimiento. Para ello, las preguntas son abiertas, incluyen preguntas orientadas a relacionar la variable tiempo con otros aspectos; también se permite la comparación entre fenómenos modificando una sola variable, o las preguntas contraintuitivas. En conjunto, las preguntas están diseñadas de tal manera que la pregunta fundamental no es “¿cómo son las cosas?”, sino “¿cómo cambian las cosas?”. Estas preguntas, en su conjunto, apuntan también a identificar en qué momentos los estudiantes construyen modelos, qué tipo de modelos, cómo relacionan las variables, y si tienen en cuenta el tiempo como un asunto clave.

### *Segundo momento: discusión entre pares*

Este punto es fundamental, ya que es un espacio en el que se comunican y se confrontan argumentos y explicaciones. Es clave para la construcción de conocimiento<sup>4</sup> (Segura, 2003).

La forma en la que se orienta inicialmente el fenómeno a partir de las preguntas busca generar debate; por lo común, se presentarán como mínimo dos posturas opuestas. Para cada estudiante o para el grupo esta discrepancia presenta un reto; demostrar al otro que se tiene razón tiene un efecto gatillador en la elaboración de modelos, explicaciones y experimentos.

<sup>4</sup> Dino Segura plantea que “la conversación es una instancia generadora de conocimiento en donde la recursividad, la creatividad y la experiencia de cada individuo juegan el papel más determinante” (Segura, 2003, p. 32).

### *Tercer momento: diseño y realización de experimentos*

El objetivo posterior a la discusión de los casos es el diseño de un experimento por parte de los estudiantes que les permita tener evidencia empírica que confirme los modelos planteados. Este aspecto es fundamental, pues el material escogido y las medidas en el experimento determinarán los resultados; por lo tanto, esto no es una cuestión azarosa, sino que debe estar sustentada en el análisis previo que hicieron del caso planteado. Este planteamiento es también una alternativa para los experimentos o laboratorios que se desarrollan en las clases de Física, que en algunos casos se convierten en recetas (Flores *et al.*, 2009) que deben llevar a cabo y cuyos resultados deben coincidir con la teoría.

### *Cuarto momento: análisis de los resultados experimentales en clase*

Después de cada experimento es ineludible dedicar un tiempo al análisis de los datos obtenidos; este aspecto comprende el estudio del comportamiento de las variables, la identificación de relaciones de proporcionalidad que existe entre dos variables y el análisis de gráficas. A partir del análisis anterior, se espera que los estudiantes tengan herramientas para refinar<sup>5</sup> y determinar qué tan satisfactorio resulta el modelo inicialmente planteado. Este momento tiene un valor formativo adicional que se fundamenta en el reconocimiento del error o de las inconsistencias que se plantearon inicialmente. Esta fase dentro del diseño se dio únicamente en el caso 2: caída de un objeto. La inclusión del análisis de resultados en este caso se dio después de la fase de reflexión sobre el caso 1: vaciado de un tanque; en este se evidenció la importancia de ampliar la fase de experimentación para llevar a cabo un análisis más detallado de los resultados obtenidos.

<sup>5</sup> Al respecto, D. C. Baird, en su libro *Experimentación*, comenta que “[...] debemos sentirnos en libertad de modificar o cambiar nuestros modelos en el momento en que sea necesario. Puesto que probablemente es imposible construir una descripción verbal o matemática de un fragmento de la realidad natural que sea un equivalente exacto y completo de éste, es preciso aceptar que un proceso de refinamiento continuo y de eventual reemplazo de los modelos, forma parte natural del acontecer científico” (Baird, 1991, p. 57).

## Implementación

Los cuatro momentos expuestos antes no necesariamente corresponden a una secuencia lineal; estas acciones se realizan recurrentemente y son la base del conjunto de actividades que se les presentan a los estudiantes. El caso 1 se desarrolló con estudiantes de décimo grado de la Escuela Pedagógica Experimental, en 2009, y el caso 2 se ejecutó durante el 2011, también con estudiantes de décimo grado.

El taller se trabajó inicialmente de forma escrita para plantear interrogantes acerca de los fenómenos; estos se propusieron a grupos de 3 o 4 personas. Después se realizó una socialización en la que cada grupo exponía su punto de vista y participaba argumentando o contraargumentando las respuestas de sus compañeros; a partir de estas discusiones se llegaba a consensos. Cuando tal no era el caso, los estudiantes optaban por realizar un montaje experimental para dirimir la respuesta. Las preguntas estaban orientadas a identificar qué parámetros eran relevantes para los estudiantes en el análisis del fenómeno. Los parámetros planteados en las preguntas son las fronteras que delimitan, en principio, el fenómeno que se quiere estudiar.

### *Caso 1: vaciado de un tanque*

El fenómeno del vaciado de un tanque es un tema extenso en los libros de texto universitarios sobre mecánica de fluidos. En la educación media se presenta el tema al abordar el teorema de Torricelli, que afirma que la velocidad del agua que sale por el orificio de un tanque es idéntica a la que adquiere un objeto que se deja caer libremente desde una altura igual a la de la superficie libre del líquido, hasta el orificio.

Para llegar a esta conclusión y a la ecuación del teorema de Torricelli, se asume que el diámetro del orificio de salida del agua es mucho menor en comparación al diámetro del tanque; por esta razón, la velocidad de la superficie del agua al bajar puede aproximarse a cero. Estas simplificaciones resultan en una ecuación cuadrática que los estudiantes de educación media pueden resolver; sin embargo, el fenómeno no se comprende, porque cualquiera que observe el fenómeno puede ver que el agua baja con cierta velocidad. Entonces, esta aproximación matemática de asumir que es un valor despreciable que tiende a cero es algo que los estudiantes asumen como un axioma sin lograr su comprensión.

Este fenómeno tiene múltiples aristas para ser tenidas en cuenta cuando se quiere saber y predecir el tiempo en el que se vacía un tanque, dadas unas condiciones iniciales. Por una parte, están las consideraciones sobre el tanque: forma, inclinación, diámetro, forma del orificio de salida, diámetro del orificio de salida, si es abierto o cerrado; por otra, las consideraciones de lo que se esté vaciando, que podría ser líquido o granular, y además considerar su densidad y volumen.

### *Caso 2: caída de un objeto*

El fenómeno de caída de un objeto es un problema clásico de la física. Al respecto, se han escrito diferentes artículos tanto en filosofía, física y didáctica de la física; una búsqueda rápida en internet puede mostrar como el número de resultados de este tema supera casi cuatro veces al tema “leyes de Newton”, que también es un asunto del que la mayoría de las personas ha escuchado alguna vez.

Este fenómeno fue un punto de inflexión en el desarrollo de lo que conocemos como física moderna. En el siglo XVII, Galileo planteó que dos objetos soltados desde la misma altura iban a llegar al piso al mismo tiempo. Esta afirmación contradecía los principios propuestos por Aristóteles y también las observaciones que podía llegar a hacer cualquier persona, tanto en esa época como en el presente. Entonces, surge la pregunta, ¿por qué es válido lo propuesto por Galileo? Dentro de las bases de la física moderna, la idealización o simplificación de los fenómenos es clave, de ahí que Galileo mencionara: “en un medio totalmente desprovisto de resistencia, todos los cuerpos caerán a la misma velocidad [...]” (March, 2004, p. 23). Por esta razón, en los libros de texto, tanto de educación media como universitaria, se habla de la caída libre de objetos; la palabra *libre* hace referencia a lo planteado por Galileo. Esta idealización solo es posible desarrollarla en experimentos controlados o en la famosa experiencia que realizó el astronauta David Scott en la misión a la Luna, conocida como Apolo 15. En esa ocasión, Scott soltó un martillo y una pluma para demostrar, en efecto, lo que aseveraba Galileo, pues no había resistencia del aire durante la caída de los objetos.

En el desarrollo de la física moderna, la simplificación o idealización de fenómenos es necesaria, pero para llegar a esta abstracción se requiere un camino

que permita comprender su utilidad. Si bien la teoría predice que caerán al mismo tiempo y esto es lo que se enseña, se contradicen las concepciones (Verisatium, 2012) e incluso las observaciones sobre este fenómeno; por lo tanto, no es sencilla la comprensión del fenómeno, ya que para llegar a la teoría es necesario simplificar el problema y esta simplificación no es para nada obvia. Los estudiantes afirman que un objeto más pesado llega primero al suelo en comparación a uno liviano, incluso después de haber cursado o de haber estudiado este tema en clase de Física (Alma *et al.*, 2012; Montecinos, 2014).

Al igual que el fenómeno anterior, este tiene múltiples variables para ser tenidas en cuenta cuando se quiere saber y predecir el tiempo en el que llega un objeto al suelo, dadas unas condiciones iniciales. Por una parte, están las consideraciones sobre el medio en el que cae el objeto: puede ser vacío, gaseoso, líquido; por otra, las consideraciones del objeto que cae: forma, masa, peso (gravedad), área superficial, altura y velocidad inicial.

Teniendo en cuenta las diferentes consideraciones, se puede afirmar que estos dos problemas pueden ser todo lo complejo que se quiera y podría extenderse su estudio a un tiempo considerable. En el diseño para esta investigación se acotó el fenómeno y se establecieron los siguientes parámetros:

- **Caso 1: vaciado de un tanque**
  - Forma cilíndrica del tanque
  - Inclinación vertical del tanque
  - Forma circular del orificio de salida
  - Tanque abierto a la atmósfera
  - Líquido: agua
- **Caso 2: caída de un objeto**
  - Altura fija inicial del objeto
  - Medio en el que cae: aire
  - Velocidad inicial igual a cero
  - Gravedad: aceleración de la gravedad en la Tierra

Al delimitar el fenómeno estableciendo estos parámetros, el siguiente paso es proponer las preguntas que servirán para que los estudiantes realicen los experimentos mentales. Para ello, se propondrán preguntas (véase la tabla 7.1) en

Tabla 7.1. Estructura de las preguntas planteadas

	Caso 1: vaciado de un tanque	Caso 2: caída de un objeto
Variables y parámetros	Nivel de altura del agua en el tanque (N) Volumen de agua (V) Diámetro del tanque (D) Diámetro del orificio de salida (d)	Masa del objeto (m) Forma del objeto (f) Área superficial del objeto (A)
Pregunta base	¿Cuál de los dos tanques se desocupa en menos tiempo? ¿Por qué?	¿Cuál de los dos objetos llega primero al suelo tiempo? ¿Por qué?
Variables controladas	= V, = d, ≠ N, ≠ D = V, ≠ d, = N, = D ≠ V, = d, = N, ≠ V	≠ m, = f, = A = m, ≠ f, ≠ A ≠ m, ≠ f, = A

Fuente: elaboración propia.

las que se fijan alternadamente ciertas cantidades, con el fin de estudiar la influencia de una variable o un parámetro sobre el resto. Además de estas preguntas, durante las sesiones de clase se plantearán preguntas del tipo “¿qué pasaría si...?”, “¿por qué sería correcto afirmar que...?”, o “¿cuál es la diferencia...?”.

Después de ver qué relevancia le dan los estudiantes a cada uno de los parámetros, se plantea una pregunta de profundización que no busca comparar dos tanques o dos objetos, sino plantear explícitamente una pregunta en la que los estudiantes analicen el fenómeno en función del tiempo. Esto tiene también como objetivo explorar si en las respuestas de los estudiantes incluyen bucles de retroalimentación. Las variables y los parámetros planteados para cada caso son:

### Caso 1: vaciado de un tanque

Pregunta. Un tanque está lleno con agua, al destapar el orificio que se encuentra en el fondo del tanque se desocupa completamente en 58 s. ¿En cuánto tiempo se desocupará el tanque si se llena con agua hasta...

- a. la mitad del tanque?
- b. un cuarto del tanque?
- c. tres cuartos del tanque?

## Caso 2: caída de un objeto

Preguntas. Al aumentar la altura, ¿cuál es la variación de la velocidad? ¿Qué puede inferir a partir de la secuencia que se presenta en la imagen del video?<sup>6</sup> ¿Qué análisis puede hacer con respecto a la velocidad del objeto que está cayendo? ¿Cuál es su valor? ¿El movimiento del objeto es acelerado? Si ese es el caso, ¿cuál es su valor?

## Análisis

Los resultados se recogieron inicialmente de forma escrita; luego, en la socialización, se realizó grabación de voz y en los experimentos se contó con video e imágenes. La recolección de información se hizo a partir del registro escrito de los estudiantes de cada una de las sesiones de clase y el registro de grabación de voz de las discusiones durante la socialización y experimentación. A los estudiantes se les informó sobre el proceso que se iba a llevar a cabo en esta investigación y se les garantizó el anonimato. Las intervenciones de los estudiantes se categorizaron en tres aspectos. Para esta fase se utilizó la técnica de análisis de contenido cualitativo y se consolidaron tres categorías.

- Pensamiento en términos de modelos (Ossimitz, 2000): las explicaciones que se dan sobre un fenómeno hacen parte de un modelo mental que se ha desarrollado y se valida a lo largo del tiempo.
- Pensamiento en bucles (Ossimitz, 2000; Richmond, s. f.): concebir las situaciones y los fenómenos como bucles, así como ser capaz de establecer las interacciones entre los componentes que interactúan y causan un comportamiento global.
- Pensamiento dinámico (Ossimitz, 2000): se caracteriza por tener en cuenta la evolución de las variables en el tiempo.

<sup>6</sup> En el caso 2, después de haber comparado dos objetos cayendo, se propuso el estudio de la posición, la velocidad y la aceleración del objeto que cae. Para realizar este análisis, se utilizaron los videos empleados antes y se hizo uso de un programa de visualización de imágenes que permitía seguir la secuencia del objeto cuadro a cuadro. Así, se exportaron los datos de la posición y el tiempo de caída. El programa se denomina VideoPoint Physics Fundamentals.

## Resultados y discusión

Para cada una de las iteraciones se presentan los resultados más relevantes enmarcados en el análisis de cada una de las categorías; además, se incluye el impacto del diseño en la clase de Física. En la sección anterior se encuentran las evidencias escritas de las explicaciones que dan los grupos de estudiantes en los diferentes momentos de la implementación en los casos 1 y 2.

### *Categorías*

#### *Pensamiento en términos de modelos*

Esta capacidad está ampliamente ejemplificada en la primera parte de la aplicación de la propuesta. Los modelos que los estudiantes ingenian pueden clasificarse en dos tipos: sencillos y complejos. Un modelo sencillo es aquel en el que se asocia un comportamiento a una propiedad; en un modelo complejo se establecen relaciones entre variables. Para ello, se muestran a continuación:

- Respuestas escritas de los grupos
- Ejemplos en el caso 1 de modelos sencillos y complejos
- Modelo sencillo

[...] el tanque a se desocupa primero porque se nota que tiene menos cantidad de agua. (grupo 2)

[...] el tanque largo tiene más presión, por eso se desocupa primero. (grupo 4)

[...] no importa la cantidad de presión porque la cantidad de agua es la misma. (grupo 1)

- Modelo complejo

[...] como tiene esa forma (tanque a) tiene más presión y menos agua entonces sale más rápido. (grupo 3)

[...] [se] desocupan al mismo tiempo, porque, aunque las dimensiones sean diferentes, la cantidad de agua es la misma. (grupo 6)

Si el lugar donde está el agua es más pequeño el agua tiene que bajar con mucha más fuerza, tendría más presión para bajar. Igual, el otro tiene más espacio, el agua va a bajar más despacio porque no tiene tanta presión. (grupo 5)

[...] es más rápido el angosto porque el agua gira más rápido y se desocupa con mayor agilidad. (grupo 5)

- Ejemplos en el caso 2 de modelos sencillos y complejos
- Modelo sencillo

El objeto 1 cae más rápido porque es más pesado. (grupo 1)

[...] la fuerza de la gravedad es la misma y caen al mismo tiempo. (grupo 3)

En toda ley de la matemática y de la física hay una excepción y el ejemplo de la hoja es la excepción, el efecto que hace es cortar el viento por eso no va a caer igual. (grupo 5)

- Modelo complejo

[...] no es solo la fuerza que atrae los objetos, el peso no hace que caiga más rápido, por ejemplo, la fuerza que atrae los objetos no hace que caigan más rápido; digamos que pones a saltar a una persona de determinada altura y a otra que pesa más, van a caer igual. (grupo 2)

[...] la que tiene más peso va a con velocidad, porque se impulsa más, como tiene menos peso tiene menos impulso menos fuerza para caer. (grupo 6)

[...] es diferente ya que juega otra fuerza que es el viento, hay objetos que no fluyen en el viento, entonces ahí ya hay otra fuerza que influye en el experimento. (grupo 4)

El objeto con mayor área transversal ejerce más presión sobre el aire que el de menor área transversal haciendo que la de menor área caiga primero. Un objeto plano hace más resistencia que uno redondo. (grupo 2)

Indagar las explicaciones de los estudiantes permite identificar la forma en que están comprendiendo el fenómeno. La mayoría de los modelos presentados se categorizaron como complejos y aquí es importante aclarar que no necesariamente un modelo complejo es más extenso. En algunas de las respuestas

de modelo complejo se observa cómo el conocimiento empírico influye en las explicaciones; los estudiantes recurren a analogías para explicar y, en algunos grupos, la información previa se sobrepone a argumentos empíricos en la explicación. En uno de los grupos fue evidente cómo la información previa se antepuso a razones empíricas en la explicación.

### *Pensamiento dinámico*

El pensamiento dinámico es claro en afirmaciones como:

[...] esta sería la explicación simple. Pero el razonamiento conjunto nos lleva a deducir que el tiempo varía de acuerdo con la cantidad de agua que haya. Si hay más agua va a salir más rápido y entre menos haya es más lento. (grupo 6)

[...] pero puede ser que entre más tiempo transcurra disminuiría la presión y el agua podría fluir mejor. (grupo 3)

[...] va a salir mucho más rápido cuando hay más cantidad de agua, porque hay más peso por encima, eso la empuja hacia abajo. (grupo 5)

[...] se disminuye la velocidad de salida de agua variando la cantidad de líquido. (grupo 3)

[...] La diferencia entre dos objetos que caen va a ser mínima y no se nota casi, es como el ejemplo de la carrera de atletismo donde uno de los corredores no le lleva mucha distancia desde el principio, pero con el paso del tiempo esta diferencia se incrementa, igual pasa con los objetos. (grupo 2)

[...] Un objeto redondo caería primero porque apresura su caída a una mayor velocidad, ya que la esfera no se estrella con el aire. (grupo 6)

La velocidad es creciente, va cambiando y depende de la altura. (grupo 6)

[...] diferencia entre dos objetos que caen va a ser mínima y no se nota casi, es como el ejemplo de la carrera de atletismo donde uno de los corredores no le lleva mucha distancia desde el principio, pero con el paso del tiempo esta diferencia se incrementa, igual pasa con los objetos. (grupo 4)

Los fenómenos o sistemas pueden estudiarse a través de su comportamiento a lo largo del tiempo. Algunas características de los fenómenos no podrían ser

comprendidas sin tener en cuenta la dimensión temporal. Los grupos incluyeron la variable tiempo con mayor frecuencia solo cuando dentro de la pregunta también se incluía dicha variable. En los casos en los que no estaba contenida en la pregunta, las explicaciones relacionaban otros factores, incluso aspectos que no estaban involucrados con la pregunta; por ejemplo, en el caso 2 de la caída de un objeto era más común que vincularan los cambios con la altura del objeto.

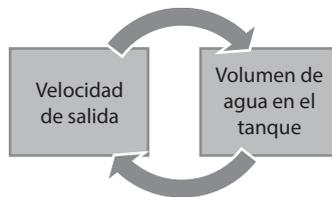
### *Pensamiento interrelacionado*

En las siguientes respuestas se observa este tipo de pensamiento:

- Caso 1

[...] esta sería la explicación simple. Pero el razonamiento conjunto nos lleva a deducir que el tiempo varía de acuerdo a la cantidad de agua que haya. Si hay más agua va a salir más rápido y entre menos haya es más lento. (grupo 6).

Figura 7.6. **Pensamiento interrelacionado caso 1**



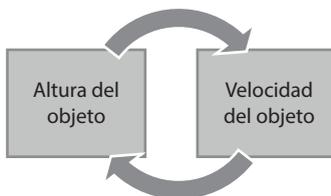
Fuente: elaboración propia.

- Caso 2

En el momento en que se suelta el objeto empieza a caer lento y cuando va a llegar al suelo es más rápido. (grupo 4)

Entre más larga sea la distancia entre el objeto y el lugar de caída, va a aumentar más la velocidad. (grupo 6)

Entre mayor sea la altura se pueden obtener más diferencias. (grupo 4)

Figura 7.7. **Pensamiento interrelacionado caso 2**

Fuente: elaboración propia.

Ante la pregunta base “¿cómo cambian las cosas?”, las respuestas escritas de los grupos indicaron una forma de razonamiento basada en la causalidad circular. Las explicaciones en las que se evidencia el pensamiento interrelacionado revelan efectos directos e indirectos que se pueden expresar en forma de bucles de retroalimentación. En los casos 1 y 2 fue recurrente plantear un modelo en términos de interrelación utilizando bucles de retroalimentación; si bien los alumnos no los formulaban en términos de esquemas, en la escritura sí quedaba claro esta relación de causalidad circular. Tanto para el caso 1 como el 2, los estudiantes incluyeron variables que no se mencionaron inicialmente y en algunas de las explicaciones sustentaban cómo el agua se mueve dentro del tanque o cómo el objeto se movía mientras caía.

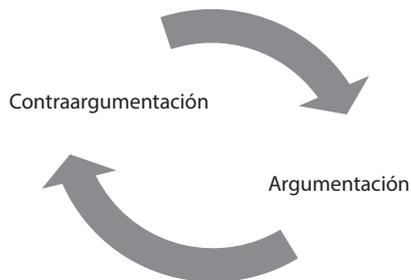
Dentro del diseño en el caso 2 se planteó realizar preguntas que apuntaran hacia la relación entre las variables velocidad y resistencia del aire para establecer la interrelación entre ellas. No obstante, para los estudiantes, esta no era una relación evidente, pues consideraban la resistencia del aire en términos de un parámetro. Esta dificultad puede presentarse debido a que la variación en la magnitud de la resistencia del aire no es observable, como sí lo era la relación entre la cantidad de agua en el tanque con la velocidad de salida del agua.

En el caso 1 esta relación es relativamente sencilla de visualizar; en el caso 2, la resistencia que produce el aire sobre el objeto que cae varía, pero no es evidente ni observable. Una posible alternativa para una futura implementación sería incluir preguntas/actividades que involucren el análisis de los datos de posición y velocidad del objeto que cae. En los dos casos esta última pregunta causó mayor debate y también fueron claves las respuestas de los grupos que consideraban relaciones lineales en las variables, porque fue en este momento en el que los grupos se plantearon diseñar experimentos para dirimir las explicaciones.

### *Impacto de la dinámica de sistemas en el aula*

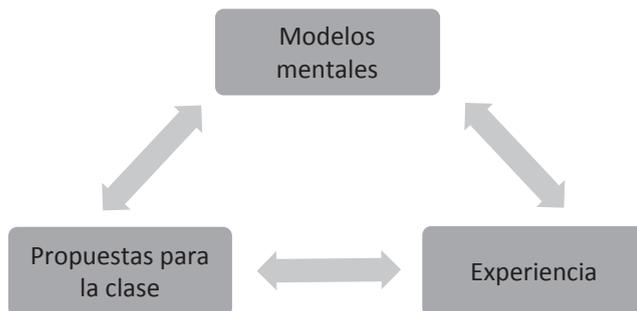
La exploración de la dinámica de sistemas va un poco más allá del estudio del problema del vaciado del tanque o la caída de objetos en la clase de física. Esta se articula también con una propuesta de clase; durante la implementación se consideró que el conocimiento no iba en una sola vía. En la discusión entre pares fue posible la construcción de conocimiento; la experiencia y los modelos de los estudiantes fueron herramientas importantes tanto para concebir la comprensión de la realidad como para el desarrollo de la clase. La función de la maestra fue guiar a partir de la experiencia y el conocimiento como docente, para así cuestionar e indagar sobre las respuestas dadas. Visto así puede considerarse la clase como un sistema. A continuación, se presenta en las figuras 7.8 y 7.9 dos bucles de retroalimentación que representan la clase desde esta perspectiva:

Figura 7.8. **Bucle relacionado con la discusión entre pares**



Fuente: elaboración propia.

Figura 7.9. **Bucle relacionado con las formas de trabajo en la clase**



Fuente: elaboración propia.

Dentro de un bucle de retroalimentación de este tipo no existe fin. Sin embargo, los actores dentro de este bucle le ponen fin, ya sea por cuestiones de tiempo o simplemente por desidia para continuar con el trabajo.

## Conclusiones

El trabajo de exploración con un enfoque pedagógico alternativo, a partir de la perspectiva de la dinámica de sistemas, aportó elementos para la construcción de una propuesta pedagógica basada en la aproximación al estudio de fenómenos desde una mirada sistémica. Los resultados mostraron que este diseño, en el que no se explicaban los conceptos de la dinámica de sistemas al grupo de estudiantes, permitió que estos dilucidaran y analizaran dos fenómenos de la física mediante la identificación de habilidades propias de esta metodología. El análisis de las explicaciones bajo las tres categorías mostró que, al presentar este diseño, los alumnos desarrollaron justificaciones en las que se incluyen relaciones entre las variables; elaboraron en su mayoría modelos complejos y, en algunos casos, plantearon las exposiciones en términos de bucles de retroalimentación.

Esto posibilita que una mirada desde esta perspectiva (y tal vez una introducción a estos conceptos) represente ventajas en la enseñanza de las ciencias y en particular de la física. En la exploración de la dinámica de sistemas como perspectiva en la clase de ciencias es importante destacar que las preguntas sobre los fenómenos no son del tipo “¿cómo es?”, “¿de qué está compuesto?”, sino “¿cómo cambian las cosas?”. Esta forma de preguntar implica una forma de reflexión que va más allá de la descripción y permite que el grupo de estudiantes se centre en las relaciones entre variables o parámetros, es decir, una comprensión cualitativa del fenómeno. Así, la meta de la actividad en la clase de Física no es el aprendizaje de las teorías vigentes o el desarrollo de la matemática compleja e involucrada en el estudio de estos fenómenos; la apuesta se orienta a lograr que los estudiantes comprendan las relaciones que existen entre diferentes variables y que, a partir de la contrastación de hipótesis y de la experimentación, lleguen a la comprensión de los fenómenos. Así pues, es el estudiante el que construye, prueba, refuta o consolida un modelo del fenómeno estudiado, basado en sus propios modelos, en la socialización y discusión

con sus pares, así como apoyado en la experimentación. Desde la perspectiva presentada en este trabajo, es posible que los estudiantes reconozcan que las simplificaciones son un caso especial del modelo planteado. Esto no demerita en absoluto el impacto e importancia que tiene la abstracción, simplemente la ubica en un contexto diferente.

Este enfoque es acertado en cuanto al estudio cualitativo de los fenómenos y que, con respecto a lo cuantitativo, es necesario recurrir al análisis de gráficas para poder realizar un puente entre lo cualitativo, la experimentación y lo cuantitativo. Lo cuantitativo es un proceso que involucra la medida y que debe ser muy cuidadoso para que no se pierda de vista la relación que existe entre el fenómeno y el número. Esto último constituye un reto pedagógico, no obstante, para los fines de esta investigación; no se incluye como tal, pero se espera que esta exploración llevada a cabo sirva como base para la realización de muchos otros trabajos que consideren esta perspectiva una alternativa para la clase de Física y en general de las ciencias.

## Referencias

- Aceros, V., Díaz, A., Escobar, J. E., García, A., Gómez-Quintero, J., Olaya, C. y Otero, V. (2011). *Competentes a los porrazos: la enseñanza de dinámica de sistemas en la Universidad de los Andes* [conferencia]. 9.º Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas, Bogotá, Colombia.
- Alarcón, M. (2012). *Estudio del fenómeno de la caída de los objetos desde la perspectiva de los sistemas dinámicos: una propuesta para el desarrollo de competencias científicas* [tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11574>
- Alma, E. D., Kendrick, C. C. y Mae, J. M. (2012). Free fall misconceptions. A comparison between science and non-science university majors. *Am. J. Phys. Educ*, 6(1), 145-148. [http://www.lajpe.org/icpe2011/26\\_Eleanor\\_Alma\\_Jugueta.pdf](http://www.lajpe.org/icpe2011/26_Eleanor_Alma_Jugueta.pdf)
- Becerra, C., Gras-Martí, A. y Martínez, J. (2004). Análisis de la resolución de problemas de física en secundaria y primer curso universitario en Chile. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(2), 275-286. <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/download/21978/21812>
- Creative Learning Exchange. (2023, 1.º de diciembre). *Working to develop Systems Citizens in K-12 Education*. <http://www.clexchange.org/>

- d'Anna, M. (2006). *Modeling in the classroom. Linking physics to other disciplines and to real-life phenomena* [conferencia]. Modeling in Physics and Physics Education, Ámsterdam, Países Bajos. <https://www.iederkindeentalent.nl/wp-content/uploads/2012/06/Girep-Proceedings-CD.pdf>
- Drack, M. y Pouvreau, D. (2015). On the history of Ludwig von Bertalanffy's "General Systemology", and on its relationship to cybernetics. Part III: Convergences and divergences. *International Journal of General Systems*, 44(5). <https://doi.org/10.1080/03081079.2014.1000642>
- Flores, J., Caballero, M. y Moreira, M. A. (2009). El laboratorio en la enseñanza de las ciencias. Una visión integral en este complejo ambiente de aprendizaje. *Revista de Investigación*, 33(68), 75-111. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1010-29142009000300005&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-29142009000300005&lng=es&tlng=es)
- Forrester, J. (1990). System dynamics as a foundation for pre-college education. En System Dynamics Society (Ed.), *The 8th International Conference of the System Dynamics Society Chestnut Hill, Massachusetts USA* (pp. 367-380). Massachusetts Institute of Technology. <https://proceedings.systemdynamics.org/1990/proceed/pdfs/forre367.pdf>
- Forrester, J. (1996, 30 de mayo). *System dynamics and K-12 teachers*. <http://static.clexchange.org/ftp/documents/roadmaps/RM1/D-4665-5.pdf>
- Freire, P. (2013). *Por una pedagogía de la pregunta*. Siglo XXI.
- Gil, D., Martínez, J. y Senet, F. (1988). El fracaso en la resolución de problemas de física: una investigación orientada por nuevos supuestos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 131-146. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/51079>
- Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación Superior (Icfes). (2019). *Competencias Ciudadanas: Pensamiento Ciudadano. Acciones y Actitudes Ciudadanas. Marco de referencia para la evaluación Icfes*. <https://www.icfes.gov.co/documents/39286/16858871/Marco+de+Referencia+++Competencias+Ciudadanas+Saber+3%C2%B0%2C+5%C2%B0%2C+9%C2%B0.pdf/cf89c15c-143f-1be1-cfc9-a967782060de?version=1.1&t=1670248067460>
- Kainz, D. y Ossimitz, G. (2002). Can students learn stock-flow-thinking? An empirical investigation [conferencia]. 20th International Conference of the system dynamics society, Palermo, Italia. <https://proceedings.systemdynamics.org/2002/proceed/papers/Kainz1.pdf>
- March, R. (2004). *Física para poetas*. Siglo XXI.

- McKenney, S. y Reeves, T. (2012). Part I. Foundations. En *Conducting educational design research* (pp. 5-61). Routledge.
- McKenney, S. y Reeves, T. (2013). Systematic review of design-based research progress. *Educational Researcher*, 42(2), 97-100. <https://doi.org/10.3102/0013189X12463781>
- Mettini, M. G. (2020). La filosofía de los experimentos mentales. *Jornadas de Epistemología e Historia de la Ciencia*, 53-64. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/jornadaehc/article/download/28009/32341/104711>
- Ministerio de Educación Nacional (MEN). (2004). *Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Sociales y Ciencias Naturales*. [https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-116042\\_archivo\\_pdf3.pdf](https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-116042_archivo_pdf3.pdf)
- Molina, J. (2007). Modelado de sistemas dinámicos y educación en ciencias e ingeniería. *Latin American and Caribbean Journal of Engineering Education*, 1(2), 75-82. <https://docplayer.es/32098351-Modelado-de-sistemas-dinamicos-y-educacion-en-ciencias-e-ingenieria.html>
- Montecinos, A. M. (2014). Free fall misconceptions. Results of a graph-based pre-test of sophomore civil engineering students. *European Journal of Physics Education*, 5(3), 1-9.
- Niño, M., Cobos, C., Moreno Chaustre, J., Guerrero, J. y Girón, J. (2008). *La dinámica de sistemas en la educación básica primaria colombiana* [ponencia]. Sexto Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas, Bucaramanga, Colombia. [https://www.researchgate.net/publication/251739840\\_La\\_Dinamica\\_De\\_Sistemas\\_En\\_La\\_Educacion\\_Basica\\_Primaria\\_Colombiana\\_Una\\_Experiencia\\_En\\_El\\_Marco\\_De\\_Computadores\\_Para\\_Educar](https://www.researchgate.net/publication/251739840_La_Dinamica_De_Sistemas_En_La_Educacion_Basica_Primaria_Colombiana_Una_Experiencia_En_El_Marco_De_Computadores_Para_Educar)
- Ossimitz, G. (2000, agosto). *Teaching system dynamics and systems thinking in Austria and Germany* [conferencia]. The 18th International Conference of the System Dynamics Society, Bergen, Noruega. <https://proceedings.systemdynamics.org/2000/PDFs/ossimitz.pdf>
- Palma, R. (2005, marzo). *Los sistemas centrados en el aprendizaje* [conferencia]. Primeras Jornadas de Educación en Informática y TICS en Argentina, Bahía Blanca, Argentina. <http://cs.uns.edu.ar/jeitics2005/Trabajos/pdf/17.pdf>
- Peñalosa, O. (2013). *Pensamiento sistémico en el aula. La experiencia de la oxidación con estudiantes de grado noveno de la I. E. D. Pablo Neruda* [tesis de maestría, Universidad Pedagógica Nacional, Colombia]. <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/1646731>

- Perdomo, E., Angarita, J. y Andrade, H. (2020, octubre). *Dinámica de sistemas para el aprendizaje significativo de funciones reales en estudiantes de noveno grado* [conferencia]. XVIII Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas. [https://www.researchgate.net/publication/344905079\\_Dinamica\\_de\\_Sistemas\\_para\\_el\\_Aprendizaje\\_Significativo\\_de\\_Funciones\\_Reales\\_en\\_Estudiantes\\_de\\_Media\\_Vocacional](https://www.researchgate.net/publication/344905079_Dinamica_de_Sistemas_para_el_Aprendizaje_Significativo_de_Funciones_Reales_en_Estudiantes_de_Media_Vocacional)
- Richmond, B. (s. f.). *An introduction to systems thinking*. <https://www.fi.muni.cz/~xpelane/IV109/materialy/IST.pdf>
- Roberts, N. (1978). Teaching dynamic feedback systems thinking. An elementary view. *Management Science*, 24(8), 836-843. <https://doi.org/10.1287/mnsc.24.8.836>
- Romero, P. (2006). *Evaluación y procesos de pensamiento para el aprendizaje significativo*. Alcaldía Mayor de Bogotá, IDEP.
- Segura, D., Molina, A., Pedreros, R. I., Arcos, F. O. y Velasco, A. (1995). La imagen de ciencia y el ambiente educativo. En *Vivencias de conocimiento y cambio cultural* (pp. 43-80). Corporación EPE.
- Segura, D. (2000). *Constructivismo, ¿construir qué?* Corporación Escuela Pedagógica Experimental. [https://corporacionepe.org/wp-content/uploads/2019/05/el\\_constructivismo\\_-\\_escuela\\_pedagogica\\_experimental.pdf](https://corporacionepe.org/wp-content/uploads/2019/05/el_constructivismo_-_escuela_pedagogica_experimental.pdf)
- Senge, P. M., Cambron-McCabe, N., Lucas, T., Smith, B., Dutton, J. y Kleiner, A. (2012). *Schools that learn: A fifth discipline fieldbook for educators, parents, and everyone who cares about education*. Doubleday.
- Ureña, J. N. (2009). *Modelos matemáticos en Biología*. Universidad de Jaén. [http://matema.ujen.es/jnavas/web\\_modelos/pdf\\_mmb08\\_09/texto%20completo.pdf](http://matema.ujen.es/jnavas/web_modelos/pdf_mmb08_09/texto%20completo.pdf)
- Verisatium. (2012, 1.º de octubre). *Misconceptions about falling objects* [video de YouTube]. <https://www.youtube.com/watch?v=aRhkQTQxm4w>

## **Capítulo 8. Aproximación a la reflexión y la refracción de la luz en educación primaria por medio de la metodología de aprendizaje activo \***

Ruth Yalena Zuleta Torres

La enseñanza de las ciencias en básica primaria se centra en la memorización de conceptos, en la cual, en la mayoría de los casos, el estudiante desempeña un papel pasivo y las clases son esencialmente magistrales. Este capítulo presenta una propuesta didáctica para la exploración de los conceptos de reflexión y refracción de la luz al involucrar la metodología de aprendizaje activo, una apuesta trabajada con estudiantes de tercer grado de educación primaria de la ciudad de Valledupar. La propuesta de investigación se identifica con un enfoque cuantitativo, para lo cual se diseña una estrategia didáctica que está fundamentada en prácticas experimentales, en las que se utilizan materiales de bajo costo y de fácil consecución en la región. La eficiencia de la estrategia se valida con la comparación de los resultados de un pretest y postest, cuyo análisis se realiza a partir del cálculo del factor de Hake. Los resultados evidencian una mejora de los aprendizajes de los estudiantes y una evolución en sus argumentos con relación a los fenómenos estudiados, lo que permite reconocer la efectividad de la propuesta.

### **Introducción**

La realidad en las clases de ciencias de educación primaria se aleja de lo que plantea el Ministerio de Educación Nacional (MEN) en sus referentes de calidad. Como lo señala la Ley 115 de 1994 en los fines de la educación, en este nivel se considera fundamental el desarrollo de la capacidad crítica, reflexiva y analítica

\* Para citar este capítulo: <http://doi.org/10.51573/Andes.9789587985061.9789587985078.8>

de los estudiantes. Sin embargo, aunque los docentes de ciencias realizan sus planeaciones teniendo en cuenta los referentes de calidad (los cuales se fundamentan en la pedagogía activa o el aprendizaje significativo, como también en la importancia de la observación objetiva, cuidadosa y la experimentación rigurosa, según la Ley General de Educación, 1994), la enseñanza de las ciencias en la educación primaria continúa siendo magistral y deja de lado situaciones vivenciales o experimentos en el laboratorio que permitan evidenciar y describir los fenómenos físicos. Esto es coherente con lo que señalan Oliva-Martínez y Acevedo-Díaz (2005), quienes reconocen que en la literatura predomina la transmisión del conocimiento; siendo una de las razones que sustenta esta situación la formación del profesorado.

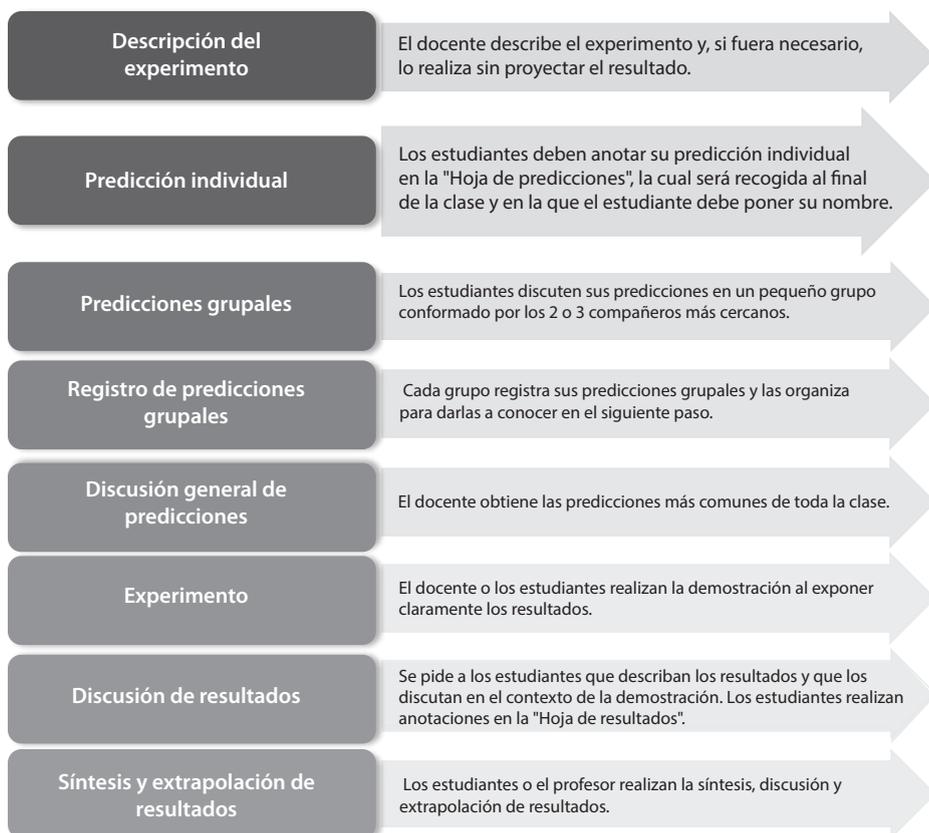
Es oportuno proponer estrategias para contribuir al mejoramiento de las prácticas pedagógicas en las clases de ciencias de primaria. La escuela está llamada a propiciar el interés por la ciencia en los niños a través de prácticas docentes innovadoras que permitan una mejor comprensión de fenómenos naturales (Cañal *et al.*, 2016). Esta es una de las razones que originan esta propuesta para diseñar una estrategia didáctica que involucra la metodología de aprendizaje activo. Esta apuesta busca aproximarse a algunos conceptos básicos de la óptica geométrica con el fin de estimular el interés de los niños por las ciencias. La metodología de aprendizaje activo promueve la práctica experimental y favorece el aprendizaje conceptual; además, contribuye a lograr un mejoramiento significativo en el aprendizaje estudiantil. Asimismo, se centra en el estudiante, para que él mismo piense y haga ciencia (Unesco, 2006).

Esta estrategia de aprendizaje guía a los estudiantes en la construcción de su conocimiento a través de la observación directa del mundo real. Algunos autores señalan que no es posible aprender por otra persona, sino cada persona tiene que aprender por sí misma (Huber, 2008). Esta metodología se plantea desde el ciclo de aprendizaje: predicción, observación, discusión y síntesis (PODS) (Sokoloff y Thotnton, 2006). De esta forma, el estudiante toma conciencia de la diferencia entre las creencias con las que llega a la clase de Física y las leyes físicas que gobiernan el mundo real. Como parte de esta estrategia, se plantean clases interactivas demostrativas que tienen como objetivo que los estudiantes estén activos en sus propios procesos de aprendizaje y así convertir el ambiente generalmente pasivo de una clase teórica en uno con participación activa

estudiantil. En la figura 8.1 se presentan los ocho pasos que sigue una clase interactiva demostrativa (Sokoloff *et al.*, 2006).

Desde esta perspectiva, la escuela y los educadores de ciencias tenemos una enorme responsabilidad en la formación científica de los niños; la sociedad demanda la preparación necesaria para que los procesos sean efectivos y así lograr el mejoramiento de los aprendizajes. En este sentido, se propone una mediación pedagógica en el campo de la física, a través de actividades que involucren la metodología de aprendizaje activo y permitan cautivar a los niños, de manera que los lleve a interesarse en fenómenos de la óptica geométrica como la reflexión y refracción. Para ello, se toman como referentes los estándares básicos de competencias en Ciencias Naturales y Ciencias Sociales publicados por el

Figura 8.1. **Ciclo de aprendizaje PODS**



Fuente: elaboración propia.

MEN: “Propongo experiencias para comprobar la propagación de la luz y del sonido” (2004, p. 15), así como los lineamientos curriculares que promueven el uso del laboratorio: “Los alumnos y el profesor, al igual que los científicos, van al laboratorio para ‘interrogar’ a la naturaleza con el fin de confirmar o rechazar sus hipótesis” (MEN, 1998, p. 52). Estos lineamientos proponen partir de un lenguaje informal del mundo de la vida para el diálogo con los primeros grados y así llegar progresivamente al lenguaje formal de la ciencia y la tecnología.

El estudio y análisis de la óptica geométrica, así como la metodología de aprendizaje activo y los referentes de calidad oficiales, constituyen la fundamentación de este trabajo que, a través del diseño e implementación de guías experimentales, pretende acercar a los niños de tercero de primaria a algunos conceptos. Así las cosas, surge la necesidad de buscar estrategias que permitan fortalecer el área de ciencias en la educación básica. Los fenómenos de la óptica geométrica son muy atractivos para los niños; estos acontecimientos hacen parte del contenido científico básico sugerido por los lineamientos y motivan la siguiente pregunta de investigación: ¿cómo aproximar a los niños de tercero de primaria a la identificación y descripción cualitativa de los fenómenos de la óptica geométrica, tales como la reflexión y refracción de la luz?

## **Metodología**

Este trabajo corresponde a un diseño de campo con enfoque cuantitativo. Se partió de un pretest y se implementaron seis actividades experimentales, diseñadas a través de guías pedagógicas que involucraban algunos conceptos de óptica geométrica y seguían la metodología de aprendizaje activo en clases interactivas o demostrativas. Al final se realizó un postest. La propuesta didáctica se implementó en la ciudad de Valledupar, en la Institución Educativa Prudencia Daza, de carácter oficial, y contó con la participación del tercer grado de educación básica primaria, que consta de treinta y cuatro estudiantes con edades que oscilan entre los ocho y nueve años. En el plan de estudio de la institución, el área de ciencias naturales tiene una intensidad de cuatro horas semanales y con base en los estándares curriculares en esta área se orientan los entornos físico, químico y biológico. El análisis de resultados se realizó de manera cuantitativa mediante la comparación del pretest y postest, así como de dos métodos cuantitativos: la ganancia de Hake y el índice de dificultad.

La ganancia de Hake es un método de evaluación de los cursos en los cuales hay un componente didáctico (Hake, 1998). Dicho parámetro da cuenta de la evolución del aprendizaje del estudiante y evita el problema de comparar a los estudiantes que inician un curso según su preparación. Además, permite determinar si una metodología de enseñanza es eficiente respecto del conocimiento inicial del estudiante (Barbosa, 2013).

La ganancia normalizada  $\langle g \rangle$  se define como la razón del aumento del pre-test y el postest con respecto al valor máximo posible; se determina a partir de los aciertos obtenidos en el instrumento de evaluación utilizado (Sánchez *et al.*, 2014). Esta ganancia de aprendizaje conceptual se determina con la siguiente ecuación, donde  $\% \langle S_i \rangle$  corresponde al promedio de porcentaje de respuestas correctas de la prueba diagnóstica, y  $\% \langle S_f \rangle$  corresponde al promedio obtenido en la prueba de salida:

$$\langle g \rangle = \frac{\% \langle S_f \rangle - \% \langle S_i \rangle}{100 - \% \langle S_i \rangle} \tag{1}$$

La ganancia normalizada obtenida en la ecuación permite categorizar los datos obtenidos en tres zonas de la siguiente manera: una ganancia de Hake baja se encuentra considerada entre 0,0 y 0,3; una ganancia de Hake media se encuentra entre 0,3 y 0,7, y una ganancia de Hake alta comprende valores entre 0,7 y 1,0.

Para establecer la ganancia del grupo según los resultados obtenidos en la actividad diagnóstica y la prueba de salida, se utiliza la siguiente ecuación, que permite calcular el promedio de la ganancia normalizada ( $\langle \bar{g} \rangle$ ) a partir del promedio obtenido de cada uno de los treinta y cuatro estudiantes de tercer grado:

$$\langle \bar{g} \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n g_i \tag{2}$$

En este caso,  $n$  es el número de estudiantes a los cuales se les aplicó la prueba diagnóstica y la prueba final, y  $g_i$  es la ganancia obtenida por cada estudiante. Otra manera de realizar un análisis para determinar el avance de los estudiantes es calculando el índice de dificultad de las preguntas aplicadas al instrumento. Este índice se halla de la siguiente manera (Garduño *et al.*, 2013):

$$P = \frac{N_i}{N} \tag{3}$$

$P$  es el índice de dificultad;  $N_i$  es el número de personas que respondieron correctamente las preguntas, y  $N$  es el número total de estudiantes que contestaron la prueba. El índice de dificultad de las preguntas se considera muy difícil (MD) si está entre 0-0,35; moderadamente difícil (mD) si se registra entre 0,35-0,60; moderadamente fácil (mF) si el valor se halla entre 0,60-0,85, y por último, muy fácil (MF) si oscila entre 0,85-1,00.

El propósito de cada pregunta del instrumento se describe a continuación:

- Con la pregunta 1 se quiere indagar si los estudiantes son conscientes de que los objetos reflejan (o emiten) luz y por esto son susceptibles de ser vistos.
- La pregunta 2 quiere indagar si el estudiante tiene idea de cómo se propaga la luz láser.
- La pregunta 3 indaga si el estudiante reconoce al espejo como una superficie reflectora, así como el fenómeno de reflexión.
- La pregunta 4 permite saber si el estudiante diferencia la propagación de la luz de una bombilla con la de un puntero láser, es decir, el de una fuente radial o el de una fuente paralela. Esta pregunta apoya la pregunta 2.
- La pregunta 5 permite determinar si el estudiante reconoce a la Luna como un cuerpo opaco, que no posee luz propia, pero que, además, se puede ver debido a que refleja la luz del Sol. Esta pregunta apoya la pregunta 1; con respuestas correctas de ellas, se puede decir que el niño ya tiene idea de lo que es la reflexión de la luz.
- Con la pregunta 6 se quiere saber si el estudiante tiene la idea intuitiva de la ley de reflexión.
- Las preguntas 7 y 8 indagan si los estudiantes diferencian imagen de objeto, es decir, que reconocen que no todo lo que ven es real y si conciben la idea de refracción.
- La pregunta 9 permite identificar si el estudiante relaciona el arcoíris con el fenómeno de dispersión de la luz blanca.
- La pregunta 10 intenta indagar las concepciones que los estudiantes tienen de las imágenes formadas en los espejos.

Los conceptos abordados en el pretest no habían sido estudiados antes por los estudiantes de tercer grado, sus respuestas obedecían a sus preconceptos.

Sin embargo, el pretest se plantea con el fin de poder comparar luego los resultados de estas preguntas, que también se encuentran en el postest, para identificar el avance de los estudiantes con relación al conocimiento inicial y así determinar si la metodología usada en la propuesta facilita la comprensión de los conceptos.

Después del pretest implementado, se aplicaron seis guías experimentales que se encuentran organizadas y sistematizadas de acuerdo con los pasos de la metodología de aprendizaje activo. Todas las guías incluyen: manual de la práctica (guía del maestro), una hoja de predicciones individuales, una hoja de predicciones grupales y una hoja de resultados (Sokoloff *et al.*, 2006). Cada guía contiene las preguntas encaminadas a buscar que los mismos estudiantes construyan los conceptos.

## Resultados

Previo a la implementación de la estrategia basada en el aprendizaje activo, se realizó el pretest compuesto por diez preguntas para luego compararlo con el postest, que incluye las mismas diez preguntas y cinco más de profundización. La sistematización de datos se hizo con el programa Microsoft Excel, a fin de hacer el análisis posterior utilizando la ganancia de Hake y el índice de dificultad.

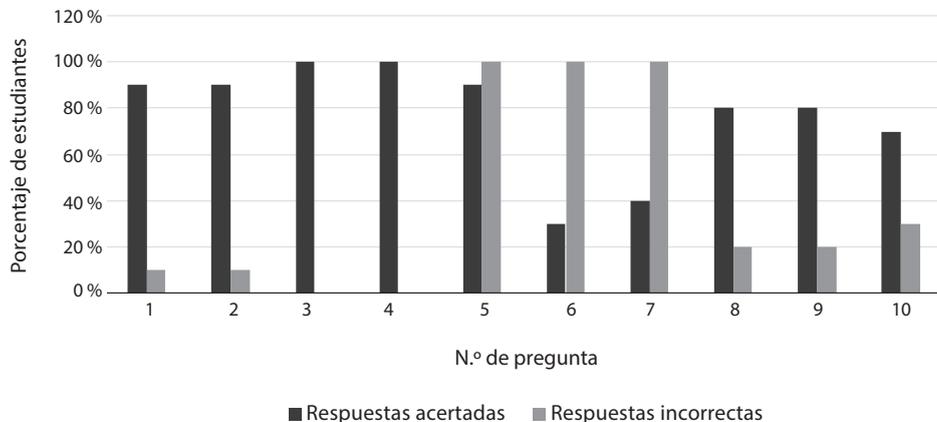
A continuación, en la gráfica 8.1, se muestran los resultados obtenidos en el postest, a través de porcentajes de respuestas correctas e incorrectas.

Estos resultados muestran que el 90% de los estudiantes respondieron correctamente las preguntas 1, 2 y 5; las preguntas 3, 4, 6 y 7 fueron respondidas acertadamente por el 100% de los estudiantes; las preguntas 8 y 9 tienen un porcentaje de 80% en las respuestas acertadas, y la pregunta 10 alcanzó un 70%. La estrategia utilizada permitió que los estudiantes se apropiaran de los conceptos trabajados en las prácticas experimentales.

El postest incluyó cinco preguntas de profundización que no estaban en el pretest (gráfica 8.2). De estas, las preguntas 1 y 2 fueron respondidas correctamente por el 80% de los estudiantes; la pregunta 3, por el 70%; la pregunta 4, por el 100%, y la quinta pregunta, por el 90%.

Estos resultados permiten evidenciar la comprensión de los conceptos de reflexión y refracción de la luz por parte de los estudiantes. Asimismo, asocian

**Gráfica 8.1. Resultados de la prueba final con preguntas equivalentes a la prueba diagnóstica**

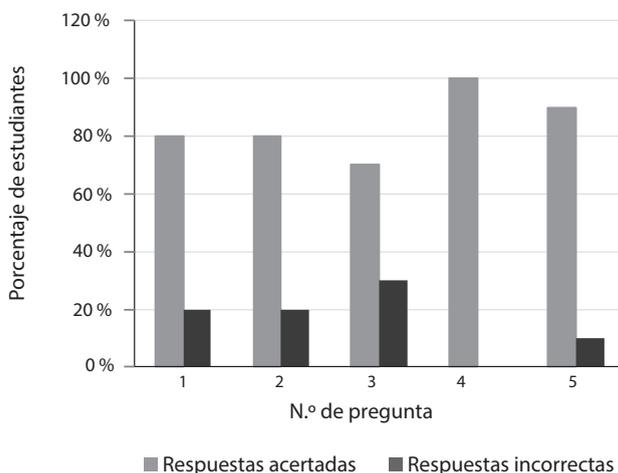


Fuente: elaboración propia.

el fenómeno de dispersión de la luz blanca con el arcoíris, asimilan la idea de índice de refracción y todos los demás conceptos abordados en las guías experimentales y en la prueba final.

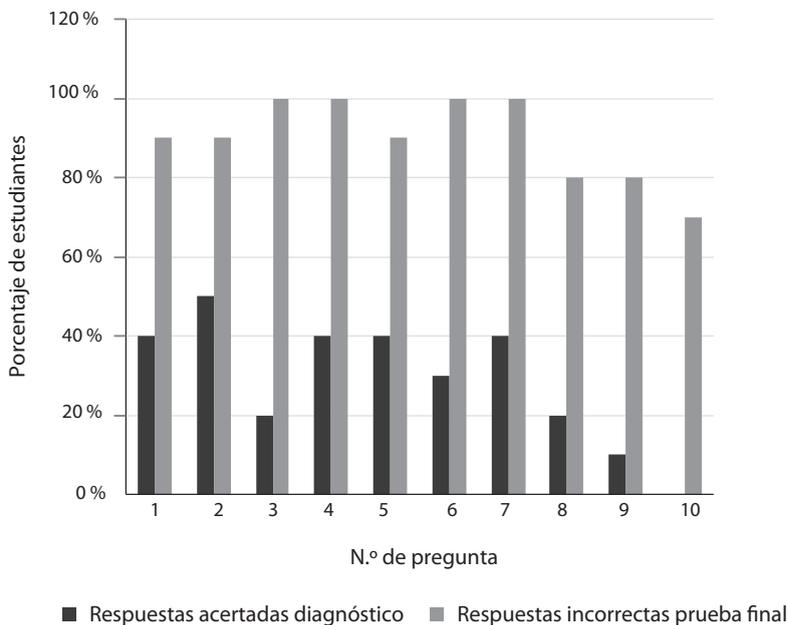
La gráfica 8.3 muestra un comparativo entre el porcentaje de estudiantes que respondieron correctamente las preguntas en la actividad diagnóstica y las respuestas acertadas de la prueba final. Este diagrama permite confirmar el

**Gráfica 8.2. Resultados de la prueba final con preguntas de profundización**



Fuente: elaboración propia.

Gráfica 8.3. Comparativo de respuestas correctas en el pretest y el postest



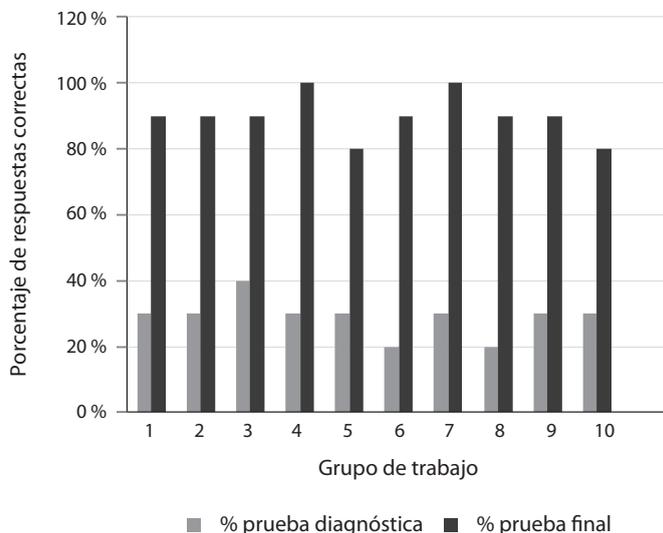
Fuente: elaboración propia.

alto incremento porcentual de estudiantes que respondieron correctamente en el postest, lo que demuestra que lograron los aprendizajes esperados.

En la gráfica 8.3 se observa el incremento de respuestas correctas en la prueba final comparado con la inicial, lo que permite resaltar la efectividad de las guías experimentales, ya que sirvieron de fundamento para los estudiantes a fin de responder de manera acertada. A continuación, en la gráfica 8.4, se presenta el porcentaje de respuestas correctas de cada grupo de estudiantes, en la prueba diagnóstica y en la prueba final.

En la gráfica 8.4 se presenta un comparativo del incremento de respuestas correctas en el postest contrastado con el pretest. Las preguntas 1, 4, 5 y 7 revelan que las respuestas acertadas pasaron de un 40% a un 90 o 100% de estudiantes; la pregunta 2 pasó de registrar el 50% a un 90% de estudiantes; la pregunta 3, del 20% al 100%; la pregunta 6, del 30% al 100%; la pregunta 8, del 20% al 80%, finalmente, la pregunta 9, del 10% al 80%. Esto permite resaltar la efectividad de las guías experimentales, que ayudaron a los estudiantes a responder de manera acertada.

Gráfica 8.4. Comparativo de respuestas correctas por grupo de estudiantes en el pretest y el postest



Fuente: elaboración propia.

En la gráfica anterior se evidencia cómo todos los grupos de trabajo, conformados por tres o cuatro estudiantes, tuvieron más del 60% de respuestas correctas en la prueba final con respecto a la actividad diagnóstica.

En la tabla 8.1 se encuentra el porcentaje de respuestas correctas tanto en la prueba diagnóstica como la prueba final que obtuvo cada estudiante. En la cuarta columna se halló  $\langle g_i \rangle$  utilizando la ecuación 1 (ganancia normalizada de cada estudiante). Al final de cada columna aparece el promedio.

La tabla 8.1 presenta el promedio de respuestas correctas de cada grupo de estudiantes en el pretest y postest, lo cual refleja un incremento del 61% en las respuestas correctas. Ahora, para hallar la ganancia normalizada promedio del grupo (diez equipos de trabajo de tres o cuatro estudiantes) y al reemplazar los datos anteriores en la ecuación 2, se tiene:

$$\langle g \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n g_i = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} g_i = \frac{1}{10} \times 8,58 = 0,86 \quad (4)$$

El resultado obtenido es de 0,86 (que es el mismo resultado que se encuentra al final de la cuarta columna de la tabla 8.1), por lo tanto, la ganancia normalizada del tercer grupo se puede categorizar dentro de la zona alta, lo que

**Tabla 8.1. Resultado del porcentaje de respuestas correctas obtenidas por cada grupo de estudiantes (ganancia de Hake)**

<b>Grupo de estudiantes</b>	<b>Porcentaje prueba diagnóstica</b>	<b>Porcentaje prueba final</b>	<b>Ganancia de Hake</b>	<b>Zonas de ganancia Hake</b>
Grupo 1	30,00	90,00	0,86	Alta
Grupo 2	30,00	90,00	0,86	Alta
Grupo 3	40,00	90,00	0,83	Alta
Grupo 4	30,00	100,00	1,00	Alta
Grupo 5	30,00	80,00	0,71	Alta
Grupo 6	20,00	90,00	0,88	Alta
Grupo 7	30,00	100,00	1,00	Alta
Grupo 8	20,00	90,00	0,88	Alta
Grupo 9	30,00	90,00	0,86	Alta
Grupo 10	30,00	80,00	0,71	Alta
Promedio	29,00	90,00	0,86	

Fuente: elaboración propia.

confirma los resultados presentados en las tablas y los análisis antes realizados acerca de la propuesta. Estos resultados permiten apreciar la efectividad de la propuesta desarrollada con los estudiantes, debido a que todos presentaron avances en sus resultados y una mayor comprensión de los temas trabajados. En ese sentido, la metodología de enseñanza fue eficiente respecto del conocimiento inicial que tenían los estudiantes.

Conforme con lo anterior, se presenta en la tabla 8.2 el porcentaje de estudiantes que contestaron correctamente cada una de las diez preguntas realizadas tanto en la prueba diagnóstica como la prueba final. También se muestra la elaboración del índice de dificultad de cada pregunta utilizando la ecuación 3 y la ganancia de Hake obtenida en cada pregunta utilizando la ecuación 2. Se encuentra que la ganancia de Hake obtenida al analizar cada pregunta es de 0,87, que concuerda con la ganancia analizada por grupos (véase la tabla 8.1) y que supone una categorización dentro de una zona de ganancia alta. Además, se observa que en el test de entrada hay cinco preguntas moderadamente difíciles y cinco preguntas categorizadas como muy difíciles, razón por la que la mayoría de las respuestas de la prueba diagnóstica fueron incorrectas. Estos resultados ratifican la efectividad de la propuesta respecto del conocimiento inicial que tenían los estudiantes.

Tabla 8.2. Resultado del porcentaje de estudiantes que contestaron correctamente cada una de las preguntas (índice de dificultad)

Pregunta	Porcentaje correctos prueba diagnóstica	Porcentaje correctos prueba final	Ganancia de Hake	Índice de dificultad	Categoría de la pregunta
1	40,00	90,00	0,83	0,40	mD
2	50,00	90,00	0,80	0,50	mD
3	20,00	100,00	1,00	0,20	MD
4	40,00	100,00	1,00	0,4	mD
5	40,00	90,00	0,83	0,4	mD
6	30,00	100,00	1,00	0,3	MD
7	40,00	100,00	1,00	0,40	mD
8	20,00	80,00	0,75	0,20	MD
9	10,00	80,00	0,78	0,1	MD
10	0,00	70,00	0,70	0	MD
Promedio	29,00	90,00	0,87		

Fuente: elaboración propia.

## Discusión

Esta investigación planteó como objetivo desarrollar una estrategia didáctica basada en el planteamiento de situaciones cotidianas, que involucrara la metodología de aprendizaje activo para la enseñanza de los fenómenos de reflexión y refracción de la luz en estudiantes de tercero de primaria. De acuerdo con los resultados, se puede decir que la metodología propuesta resulta eficiente debido a la mejora en los aprendizajes de los estudiantes, pues se encontró que sus argumentos a las preguntas planteadas, al final del ciclo PODS y en las guías experimentales, estaban correctamente fundamentadas con respecto a las ideas iniciales predictivas. Estudios similares que aplican este método educativo sostienen que este favorece la comprensión de los conceptos (Benítez y Mora, 2010). Además, en el contraste del pretest y postest se verifica el avance en los resultados de la prueba, incluyendo las preguntas de profundización. Esto coincide con estudios realizados por Moreno y Martínez (2017), quienes en su investigación concluyeron que los estudiantes fortalecieron sus conocimientos, así como los espacios de discusión y contraste de sus ideas. A su vez, estudios como el de Aguilera y Perales (2016) encontraron que la metodología de aprendizaje activo favorece el rendimiento académico, como también la actitud de los estudiantes hacia el estudio de las ciencias.

Esta estrategia es aplicable a la enseñanza de otras disciplinas en diferentes niveles (Salemi, 2007). Diferentes autores destacan lo conveniente al reemplazar los métodos tradicionales por métodos que lleven al estudiante a un nivel de comprensión alto. Además, por esta vía se favorece el trabajo cooperativo que promueve la interdependencia positiva, responsabilidad individual, interacción cara a cara y habilidades interpersonales (Jhonson *et al.*, 1998).

La metodología de aprendizaje activo permite que el estudiante sea el principal actor y constructor del aprendizaje. Silberman (1998) presenta diversas estrategias para la enseñanza en cualquier disciplina, basadas en el aprendizaje activo, en las que predominan los interrogantes como punto de partida, las predicciones de los estudiantes, el trabajo cooperativo y la aplicación del conocimiento aprendido en nuevas situaciones.

Martínez (2012) adapta esta metodología para clases en línea y basa su estudio en el aprendizaje activo y los ocho pasos que plantea la clase interactiva demostrativa. Así, concluye que es necesario hacer seguimiento a la experiencia de los estudiantes a través de la ganancia de Hake para determinar si es adecuada o si se puede mejorar usando opciones, como experimentos en casa con materiales de bajo costo. En definitiva, la metodología de aprendizaje activo es una forma de enseñanza que se caracteriza por su versatilidad y capacidad de adaptarse a todo tipo de contexto. Con su aplicación, se busca responder a algunos de los desafíos que se presentan en la educación, como romper paradigmas en la enseñanza de la física, acabar con preconcepciones de los estudiantes en torno a diversos fenómenos, así como reformular la idea de que la física es una ciencia compleja en la que es necesario memorizar fórmulas y cambiarlas por nuevos paradigmas en los que el estudiante es el protagonista y toma el control del aprendizaje. Con esto, el alumno puede contrastar sus pseudoideas con la realidad a través de la práctica experimental, orientada por la discusión y los interrogantes planteados por el profesor.

## Conclusión

Los resultados cuantitativos arrojados por la ganancia de Hake para cada estudiante evidencia que el 100 % de los estudiantes se ubicaron en una zona de ganancia normalizada alta. Este resultado permite reconocer la efectividad de la

propuesta a nivel individual, dado que hubo un gran avance en sus aprendizajes, pues el estudiante:

- Identifica los fenómenos de reflexión y refracción de la luz al iluminar diferentes superficies.
- Establece las principales semejanzas y diferencias entre los fenómenos de reflexión y refracción de la luz.
- Establece en la ley de reflexión que los ángulos de incidencia y reflejado son iguales.
- Diferencia los espejos cóncavos y convexos.
- Identifica el fenómeno de dispersión de la luz y relaciona este concepto con la reflexión total interna y la refracción.
- Identifica la propiedad de los medios transparentes que determina qué tanto se refracta un rayo de luz al transmitirse entre dos medios materiales semitransparentes distintos.

Con respecto a la ganancia normalizada promedio del grupo de estudiantes, se obtuvo  $\langle g \rangle = 0,86$ , valor que se ubica en una zona de ganancia alta, lo cual ratifica la efectividad de la propuesta. En relación con los porcentajes de respuestas correctas de cada estudiante, tanto en el pretest como el postest, se obtuvo un incremento promedio del 61 %, y al hacer el análisis del porcentaje de estudiantes que contestan correctamente cada pregunta realizada en los test, se obtiene también un incremento porcentual de 61 %. Esto da como resultado una igualdad en los resultados y un enorme progreso en los conceptos estudiados en las prácticas experimentales. Además, la ganancia normalizada promedio de las preguntas realizadas en el pretest y postest fue  $\langle g \rangle = 0,87$ ; este valor se encuentra dentro de una zona de ganancia alta, coherente con la ganancia normalizada del promedio del grupo de estudiantes.

El índice de dificultad que se incluye en el análisis de las preguntas y que coincide en el pretest y postest, muestra un 50 % en la categoría moderadamente difícil ; el otro 50 % en la categoría muy difícil. La ganancia de Hake obtenida para estas preguntas es de 0,87, valor correspondiente a una zona de ganancia alta, aspecto que evidencia un incremento significativo y confirmando en la efectividad de la propuesta con respecto a los conocimientos iniciales. En las preguntas adicionales realizadas en la prueba final, se encontró un promedio

de 84% de estudiantes que respondieron acertadamente, resultado que revela la comprensión de las situaciones abordadas.

La propuesta didáctica estuvo enmarcada en la metodología de aprendizaje activo, lo que permitió que los estudiantes fueran artífices de sus propios aprendizajes al partir de sus hipótesis o predicciones, que luego, al contrastarlas con la actividad experimental, causaban un gran impacto. Esta situación los llevaba a despojar sus ideas erróneas y consolidar conocimientos científicos verdaderos, pues además de ser discutidos en cada grupo, eran socializados con la clase. Así, se creó una importante habilidad de comunicar escrita y oralmente conocimientos científicos.

Las prácticas experimentales mantuvieron la atención y una gran motivación de los estudiantes, aun cuando se notó que la mayor parte de estas se realizó con materiales de fácil alcance y bajo costo. Las discusiones que se dieron en cada práctica, las respuestas descriptivas a las preguntas de cada guía, así como la extrapolación de los conocimientos de algunos estudiantes que describían otros fenómenos usando los aprendizajes, son parte esencial del proceso y permiten dar cuenta de la favorabilidad de la propuesta.

## Referencias

- Aguilera, D. y Perales, F. (2016). Metodología participativa en Ciencias Naturales. Implicaciones en el rendimiento académico y la actitud hacia la ciencia del alumnado de Educación Primaria. *Revista ReiDoCrea*, 5(13), 119-129.
- Barbosa, L. (2013). Construcción, validación y calibración de un instrumento de medida del aprendizaje. Test de Ley de Bernoulli. *Revista Educación en Ingeniería*, 8(15), 24-37.
- Benítez, Y. y Mora, C. (2010). Enseñanza tradicional vs. aprendizaje activo para estudiantes de ingeniería. *Revista Cubana de Física*, 27(2A), 175-179.
- Garduño, L., López, A. y Mora, C. (2013). Evaluación del aprendizaje conceptual del movimiento en caída libre. *Latin-American Journal of Physics Education Lat. Am. J. Phys. Edu.*, 7(2), 275-283.
- Hake, R. (1998). Interactive-engagement methods in introductory mechanics courses. *Journal of Physics Education Research*. <https://www.per-central.org/items/detail.cfm?ID=11782>

- Huber, G. (2008). Aprendizaje activo y metodologías educativas. *Revista de Educación*, (Extra), 59-81.
- Johnson, D. W., Johnson, R., Bartlett, J. y Johnson, L. (1988). *Our Cooperative Classroom*. Interaction Book Company.
- Ley 115 de 1994 (8 de febrero), por la cual se expide la Ley General de Educación. *Diario Oficial* 41.214.
- Martínez, J. (2012). El aprendizaje activo de la Física en los cursos en línea del IPN. *Revista mexicana de bachillerato a distancia editada por la Universidad Autónoma de México*, 4(7), 71-77.
- Ministerio de Educación Nacional (MEN). (1998). *Lineamientos Curriculares de Ciencias Naturales y Educación Ambiental*. Ministerio de Educación Nacional.
- MEN. (2004). *Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales y Ciencias Sociales*. Ministerio de Educación Nacional.
- Moreno, J. A. y Martínez, N. Y. (2017). Enseñanza de las leyes de Newton en grado décimo bajo la metodología de aprendizaje activo. *Amazonia, revista de educación en ciencias y matemáticas*, 13(26), 82-101.
- Oliva-Martínez, J. M. y Acevedo-Díaz, J. A. (2005). La enseñanza de las ciencias en primaria y secundaria hoy. Algunas propuestas de futuro. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 2(2), 241-250.
- Salemi, M. (2007). Defensa del aprendizaje activo mediante un ejemplo. *Revista Asturiana de economía*, 38, 39-54.
- Sánchez, R., Mora, C. y Velázquez, L. (2014). Aprendizaje activo de la física para estudiantes de ingeniería en la Ciudad de México. *Latin American Journal of Science Education*, 1, 12021-1, 12021-8.
- Silberman, M. (1998). *Aprendizaje activo, 101 estrategias para enseñar en cualquier tema*. Troquel.
- Sokoloff, D., Mazzolini, A., Maquiling, J., Lakshminarayanan, V., Culaba, I. y Lakhdar, Z. (2006). *Aprendizaje activo de óptica y fotónica. Manual de entrenamiento*. Unesco.
- Sokoloff, D. y Thornton, R. (2006). *Interactive lecture demonstrations, active learning in introductory physics*. John Wiley & Sons.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Unesco). (2006). *Evaluación de desempeño y carrera profesional docente: un estudio comparado de 50 países de América y Europa*. Orealc-Unesco.

# Capítulo 9. Estudio de la dimensionalidad del Force Concept Inventory mediante un análisis factorial con matriz de correlación tetracórica \*

Alexander Bonilla Castro  
Fabián Ernesto Bravo Reyes

El Force Concept Inventory (FCI) es una de las pruebas más utilizadas en la enseñanza de la física para determinar la prevalencia de ideas científicas o intuitivas relacionadas con el concepto de fuerza. Sus ítems se agrupan en seis dimensiones subyacentes a dicho concepto. Desde su creación se ha puesto en tela de juicio lo que realmente evalúa. Algunas investigaciones han realizado análisis factoriales a la versión original en inglés para comprobar la validez de dichas dimensiones mediante el uso de correlaciones de Pearson con resultados no concluyentes. La literatura no registra evidencias de análisis factoriales efectuados a versiones en español, pues los resultados de los estudios no se pueden extrapolar a versiones traducidas. Este capítulo es uno de los resultados de una tesis doctoral que requirió validar las dimensiones del FCI por medio de un análisis factorial exploratorio, basado en una matriz de correlación tetracórica. Así, se tomó una muestra de 355 datos generados con estudiantes universitarios de distintas carreras. El análisis generó nueve dimensiones de las cuales seis fueron consistentes con las propuestas en el FCI; otra dimensión debe ser renombrada y algunos ítems reagrupados. Finalmente, las tres dimensiones restantes fueron no interpretables.

## Introducción

Esta investigación hace parte de los resultados de una tesis doctoral culminada en el 2017, la cual requirió validar las dimensiones del FCI mediante un análisis

\* Para citar este capítulo: <http://doi.org/10.51573/Andes.9789587985061.9789587985078.9>

factorial exploratorio basado en una matriz de correlación tetracórica. Para ello, se registró una muestra de 355 datos obtenidos durante cuatro años en el trabajo con estudiantes de la Universidad del Valle (Cali, Colombia), pertenecientes a los programas de Física, Ingeniería, Licenciatura en Matemáticas y Licenciatura en Física.

El FCI es un test de selección múltiple producto de la amplia investigación cualitativa que permite evaluar el nivel de conocimientos relacionados con el concepto de fuerza y los elementos subsidiarios que estructuran y dan sentido a la mecánica newtoniana (además de evaluar la eficacia de la enseñanza de estos conceptos). Esta herramienta de evaluación fue diseñada por Hestenes *et al.* (1992), desde entonces se ha convertido en una de las pruebas más utilizadas por docentes e investigadores en el campo de la física newtoniana. Dos de sus principales características consisten en que no requiere desarrollar ningún tipo de cálculo y las opciones incorrectas (distractores) están asociadas a respuestas de sentido común. Esta prueba agrupa todas sus preguntas en seis dimensiones conceptuales a saber: cinemática, primera ley de Newton, segunda ley de Newton, tercera ley de Newton, principio de superposición y tipos de fuerzas.

A pesar de la generalizada aceptación del FCI desde sus inicios, se ha cuestionado la falta de evidencias de validez de las seis dimensiones que lo estructuran; en ese sentido se destacan los estudios realizados por Huffman y Heller (1995). Estos autores realizaron un análisis factorial para determinar lo que realmente evalúa el FCI. Concluyeron que este test no logra evaluar la comprensión profunda de los conceptos que estructuran sus seis dimensiones; más bien, mide las intuiciones de los educandos sobre fenómenos físicos o la familiaridad con contextos específicos.

En respuesta a esta crítica, Hestenes y Halloun (1995) argumentaron que el análisis factorial aplicado a las respuestas del FCI dadas por estudiantes “ingenuos” no pueden, de ninguna manera, revelar las seis dimensiones conceptuales; estas solamente son visibles en las respuestas de los sujetos newtonianos. De allí que estos autores sugieran una interpretación global de las puntuaciones del FCI basada en un modelo de tres categorías. Los estudiantes con puntuaciones inferiores al 60% se ubican en la categoría 1, caracterizada por una física ingenua cuya fuente de información se fundamenta en lo sensorial.

Esta categoría debe ser considerada el umbral de entrada al pensamiento newtoniano. Los estudiantes cuyas puntuaciones oscilan entre 60% y 85% están en la categoría 2. En esta se están desarrollando conceptos coherentes de dinámica, incluyendo conceptos vectoriales de velocidad, aceleración y fuerza. No obstante, aquellas puntuaciones superiores a 85% se deben interpretar como el umbral de la categoría 3 y el dominio del concepto de fuerza.

Los estudiantes de la categoría 3 poseen un concepto completo de interacción newtoniana, incluyendo una comprensión profunda de la tercera ley de Newton. Por lo tanto, los estudiantes con puntuaciones por encima del 85% deben ser considerados pensadores newtonianos confirmados. Posteriormente, estos argumentos fueron sistemáticamente refutados por Heller y Huffman (1995) al insistir en la ausencia de evidencia que sustente tales interpretaciones. Aunque no existe aceptación unánime de que un puntaje alto en el FCI implica un conocimiento integral de los conceptos relacionados con el de fuerza (Huffman y Heller, 1995; Hestenes y Halloun, 1995), en general, existe consenso en que un bajo puntaje indica una deficiencia en los conocimientos relacionados con los conceptos newtonianos básicos. En este sentido, esta prueba establece un estándar mínimo para medir el estado de conocimiento y la efectividad de la enseñanza de la mecánica newtoniana. Al parecer los argumentos de los detractores motivaron a los autores del FCI para que en 1995 realizaran una actualización con ajustes a algunos ítems. Este trabajo fue revisado en el mismo año por Halloun *et al.* (1995), así como fue traducido al español por Macia-Barber *et al.* (1995).

Por otra parte, Scott *et al.* (2012), luego de realizar un análisis factorial a un conjunto de datos del FCI, presentaron conclusiones matizadas en las que reconocen la existencia de una pregunta asociada a dos dimensiones (primera y tercera leyes de Newton), dificultades relacionadas con la validez de la “dimensión cinemática”, así como identificaron algunas anomalías técnicas que surgen al desarrollar un análisis factorial a conjuntos de datos dicotómicos, como es el caso de los datos producto de los resultados del FCI (Semak *et al.*, 2017). En efecto, el grueso de estas investigaciones se fundamenta en análisis factoriales apoyados en coeficientes de correlación de Pearson. Sin embargo, este es un estadístico solo aplicable a variables continuas de intervalo o de razón que presentan una distribución normal; su utilización en ítems dicotómicos

puede generar matrices de correlación distorsionadas (Kubinger, 2003; Oliden y Zumbo, 2008). En su lugar, se aconseja el uso de coeficientes de correlación tetracórica (Hoffmann *et al.*, 2013). El uso de correlaciones tetracóricas para validar las dimensiones del FCI contribuyen a la evolución de este debate hacia las actuales exigencias metodológicas de la psicometría, lo que renueva así su vigencia.

Ahora bien, la mayoría de dichos estudios se han desarrollado con datos derivados de la versión en inglés del FCI. Sin embargo, los resultados de los análisis factoriales son propios del instrumento evaluado, no se “heredan” en las versiones en otros idiomas, pues estos son nuevos instrumentos como producto de procesos de traducción (equivalencia semántica), adaptaciones y estandarizaciones, rediseñados para una población específica. Además, la versión en español ha tenido cambios significativos: dos preguntas fueron suprimidas (15 y 19), tres ajustadas (25, 29 y 30) y una totalmente nueva (18). Budini y sus colaboradores (2019) clasificaron las preguntas de la versión traducida al español del FCI en las seis dimensiones conceptuales propuestas en la versión original. Por lo anterior, la validez de constructo del FCI en idiomas diferentes al original continúa siendo un campo de investigación que demanda nuevos estudios. De allí que el propósito de este capítulo es aportar evidencias al debate que cuestiona la validez las dimensiones conceptuales del FCI, particularmente a la versión en español mediante un análisis factorial exploratorio fundamentado en una matriz de correlación tetracórica.

## Metodología

El análisis factorial es una técnica estadística utilizada para reducir las variables de un test a través de la búsqueda de patrones de respuesta en grandes conjuntos de datos. Para ello, el método analiza los patrones en las correlaciones dadas entre las variables estudiadas, con el fin de identificar el número de factores latentes que subyacen a los ítems (Piera y Carrasco, 2010; Vallejo, 2011), lo cual permite la carga o asociación de diferentes ítems a los distintos factores. De esta manera, cada ítem debe pertenecer a un único factor con el que comparte mayor variación conjunta. Existen dos tipos de análisis de factores: el análisis factorial exploratorio y el análisis factorial confirmatorio. el análisis factorial

exploratorio se utiliza para explorar la posible estructura factorial subyacente en un conjunto de variables estudiadas, sin aplicar una estructura previa sobre el resultado (Child, 1990).

Para establecer el número de factores apropiados, comúnmente se aplica la regla de extracción de Kaiser, con la cual solo se consideran aquellos factores con autovalores superiores a 1 (Kaiser, 1960). Entre tanto, el análisis factorial confirmatorio es una técnica utilizada para verificar la estructura factorial de las variables observadas. Este análisis confirmatorio permite al investigador poner a prueba la hipótesis de la existencia de una relación entre las variables estudiadas y sus constructos latentes (Suhr, 2006).

El análisis factorial reportado en este texto se realizó con el programa de licencia libre Factor, creado por Urbano y Pere (2006) en la Universidad Rovira i Virgili (Tarragona, España). Esta aplicación informática se utilizó con una rotación normalizada Varimax (Kaiser, 1958) y con análisis paralelo para determinar el mayor número de dimensiones coherentes conceptualmente (Timmerman y Lorenzo-Seva, 2011). Además, se utilizó un análisis de componentes principales para la extracción de los factores. La interpretación de las dimensiones generadas por el programa estuvo supeditada por la regla de extracción de Kaiser (1960) y el criterio tradicional de un mínimo de tres ítems por factor; en este caso, la utilización del criterio de Kaiser no compromete la estabilidad de los resultados, dado que la muestra supera los doscientos individuos (Velicer y Fava, 1998).

La interpretación de los resultados del análisis factorial exploratorio realizado a la versión traducida al español en la presente investigación se contrasta con la clasificación de los ítems propuesta por Budini *et al.* (2019). Ellos utilizaron el FCI para caracterizar el estado inicial de conocimientos sobre la mecánica newtoniana y así establecer la efectividad de una enseñanza fundamentada en la denominada “instrucción entre pares” en el marco del curso Física I (véase la tabla 9.1). Por otra parte, el conjunto de datos analizados en el presente estudio fue recopilado en un periodo de cinco años, en el contexto de pruebas de caracterización de conocimientos previos realizados en cursos de Física I, en los cuales participaron 335 estudiantes de los diferentes programas de física de la Licenciatura en Matemáticas, la Licenciatura en Física y las ingenierías de primer a tercer semestre de la Universidad del Valle (Cali, Colombia).

**Tabla 9.1. Relación de los conceptos de mecánica abordados en el FCI con las opciones de respuesta correctas**

Dimensión conceptual	Contextos y conceptos involucrados		Ítems con la opción correcta	
1. Cinemática	Velocidad diferente a la posición		19E	
	Aceleración diferente a la posición		20D	
	Movimiento parabólico supone aceleración constante en una dirección y nula en la dirección perpendicular a la anterior		12B,14D y 21D	
	Movimiento rotacional requiere fuerza centrípeta		5B	
	Aceleración constante implica cambio de velocidad		9E y 22B	
	Adición vectorial de velocidades		9E	
2. Primera ley de Newton	Inercia sin fuerzas		6B, 7B y 23B	
	Fuerza resultante nula, implica dirección de la velocidad constante		6B, 7B y 23B	
	Fuerza resultante nula, implica módulo de la velocidad constante		10A y 24A	
	Reposo implica fuerza resultante nula		29B	
	Inercia con fuerzas que se cancelan		11D, 17B y 29B	
3. Segunda ley de Newton	Fuerzas impulsivas		8B y 9E	
	Fuerzas continuas constantes		3C, 13D, 21E, 22B, 26E, 27C y 30C	
	Fuerzas constantes implican aceleración constante		22B y 26E	
4. Tercera ley de Newton	Fuerzas continuas variables		18B	
	Para fuerzas impulsivas		4E y 28E	
5. Principio de superposición	Para fuerzas continuas		15A y 16A	
	Suma de vectores		18B	
6. Tipos de fuerza	Fuerzas que se cancelan		11D, 17B y 29B	
	De contacto entre sólidos	No impulsivas	5B, 11D, 17B,18B y 29B	
		Fricción opuesta al movimiento	25C	
	De contacto con fluidos	Resistencia del aire	30C	
	Gravitación	Fuerza de la gravedad		5B, 11D, 13D, 17B,18B, 29B y 30C
		Aceleración independiente del peso		1C y 2A
Trayectoria parabólica		12B y 14D		

Nota: se tuvo como base la clasificación de los ítems de FCI en las seis dimensiones conceptuales propuestas en la versión original. La letra que acompaña a cada ítem representa la opción correcta.

Fuente: adaptado de Budini *et al.* (2019).

La valoración de cada una de las respuestas se desarrolló con asignación 1 (respuestas correctas) y 0 (respuestas incorrectas), lo que crea datos dicotómicos. Por lo tanto, el uso de una correlación de Pearson resulta inapropiada. Para este caso en particular, se ajusta mejor una correlación tetracórica, dado que se requiere estimar los valores de las correlaciones entre variables latentes (Uebersax, 2015). El FCI se implementó con previo aviso al inicio de cada curso (pretest). Todos los estudiantes manifestaron no conocer o haber contestado antes la prueba. Es pertinente mencionar que 33 de los 335 respondedores son repitentes del curso de Física (9%, aproximadamente). Como se mencionó en anteriores líneas, el FCI no requiere de cálculos y está diseñado para ser contestado por cualquier persona sin importar su nivel de conocimientos físicos.

Como se puede observar en la tabla 9.1, las dimensiones conceptuales del FCI presentan subdimensiones que permiten contextualizar los conceptos involucrados en cada una de las preguntas. Una anomalía que presenta esta prueba tiene que ver con algunos ítems que pertenecen a distintas dimensiones, lo que podría distorsionar los resultados del análisis factorial; tal es el caso de las preguntas 5, 9, 11, 12, 13, 14, 17, 18, 21, 22, 29 y 30. Esto representa el 40% de las preguntas. Más adelante, posterior a los resultados del análisis factorial exploratorio, retomaremos estos hechos.

## Resultados

El estudio factorial realizado en esta investigación produjo un total de nueve factores con valores propios mayores a 1,0 (véase la tabla 9.1). Los resultados globales muestran un 35,4% de aciertos para los 355 estudiantes analizados. A la luz de la interpretación de Hestenes y Halloun (1995), en este conjunto de estudiantes predomina un pensamiento no newtoniano, previo a la instrucción.

Para facilitar la lectura e interpretación de los resultados, estos se presentan en tablas en las que se relacionan las preguntas asociadas a cada dimensión generada por el análisis factorial, en contraste con la clasificación que los autores del FCI hacen de cada uno de estos ítems. Para ello, se utilizan las siguientes convenciones: cinemática (C); primera ley (P); segunda ley (S); tercera ley (T); principio de superposición (PS), y tipo de fuerza (TF).

### *Análisis e interpretación de las cargas factoriales*

La interpretación de los resultados del análisis factorial exploratorio desarrollado en esta investigación se apoya en verificar si los ítems asociados a una dimensión corresponden a preguntas equivalentes o configuran un entramado conceptual teóricamente coherente. Entiéndase por preguntas equivalentes a los conjuntos de preguntas que indagan por un mismo concepto en diferentes contextos.

#### *Dimensión 1: tercera ley de Newton*

Esta dimensión es la que agrupa el mayor número de preguntas, pues asocia seis ítems: 4, 16, 28, 26, 17 y 25 (véase la tabla 9.2). Además, explica la varianza más alta de todas las dimensiones generadas por el análisis factorial, con un 27 %.

Las preguntas 4, 16 y 28 fueron diseñadas para evaluar la tercera ley de Newton, es decir que son preguntas equivalentes. En efecto, las preguntas 4 y 16 cuestionan la intensidad de las fuerzas de contacto presentes en una colisión y el empuje entre un camión y un auto. La pregunta 28, por su parte, indaga por la intensidad de las fuerzas de contacto entre dos estudiantes de diferente masa que se encuentran sentados en sillas con ruedas.

La pregunta 17 solicita que se comparen el peso de un elevador y la fuerza que ejerce un cable de acero que tira de él cuando asciende con velocidad constante y sin fricción. Por lo tanto, esta pregunta también evalúa la tercera ley.

**Tabla 9.2. Carga de preguntas asociadas a la dimensión 1, generada por el análisis factorial exploratorio desarrollado**

Dimensión	Pregunta	Dimensiones FCI
1	4	T
	16	T
	17	P-PS-TF
	25	TF
	26	S
	28	T

Fuente: elaboración propia.

Entre tanto, la pregunta 25 insta a comparar la intensidad entre las fuerzas de fricción y la fuerza que ejerce una mujer sobre una caja al empujarla horizontalmente. Esta pregunta evalúa claramente la tercera ley de Newton.

La pregunta 26 se deriva de la anterior, a diferencia de la mujer que duplica la fuerza que ejerce sobre la caja. En la pregunta 25 hay dos fuerzas con la misma magnitud y dirección, pero en sentidos opuestos, cuya aceleración es cero; de allí que la velocidad sea constante (tercera ley). Al duplicar la fuerza, este equilibrio se altera, lo que produce una aceleración mayor que cero en el sentido de la fuerza de empuje. En este caso aplican la Tercera y Segunda ley de Newton, con predominio de la segunda. En otras palabras, esta pregunta evalúa directamente la segunda ley de Newton. Por lo anterior, la dimensión 1 generada por el análisis factorial exploratorio evalúa la tercera ley de Newton con cinco ítems: 4, 16, 17, 25 y 28.

### *Dimensión 2: primera ley*

Esta dimensión vincula tres de las ocho preguntas equivalentes diseñadas para evaluar la primera ley de Newton (véanse las tablas 9.1 y 9.3), lo que explica el 9% de la varianza de los datos. Los ítems 6 y 7 tienen altos valores para los coeficientes de correlaciones 0,782 y 0,756 respectivamente; el correspondiente al otro ítem es aceptable.

Las preguntas 6 y 7 indagan por las trayectorias de cuerpos que seguía un movimiento circular horizontal. El primero se trata de una bola que se desplaza en un canal circular y sale de ella. El segundo, una persona que hace mover en círculos una bola de acero atada a una cuerda y luego suelta. Evidentemente, son preguntas equivalentes que cuestionan la inercia sin fuerzas en el marco de la primera ley. Entre tanto, la pregunta 10 se centra en la velocidad de un disco de jockey después de ser golpeado sobre una pista sin fricción. Dado que el disco se desplaza con fuerzas en equilibrio (peso y normal), esta situación se analiza con la primera ley. Por lo anterior, y al aplicar el criterio de mínimo tres ítems por dimensión (Velicer y Fava, 1998), este logra medir la primera ley de Newton. Además, es importante destacar que esta dimensión agrupa tres preguntas equivalentes propuestas por el FCI, hecho que hace de esta una dimensión “pura”.

**Tabla 9.3. Carga de preguntas asociadas a la dimensión 2, generada por el análisis factorial exploratorio desarrollado**

Dimensión	Pregunta	Dimensiones FCI
2	6	P
	7	P
	10	P

Fuente: elaboración propia.

### *Dimensión 3: indeterminada*

Esta dimensión solamente cargó un ítem. Por lo tanto, no es objeto de análisis al aplicar el criterio del mínimo de ítems por dimensión de Velicer y Fava (1998).

### *Dimensión 4: identificación de fuerzas*

El análisis factorial exploratorio agrupó en esta dimensión las preguntas 5, 13, 18 y 30 diseñadas para indagar por los conceptos relacionados con “Tipos de fuerzas”, lo que reveló un 40% de coincidencia con el FCI (véanse las tablas 9.1 y 9.4). Sin embargo, las preguntas que estructuran esta dimensión conceptual presentan situaciones en las cuales el estudiante debe identificar las distintas fuerzas que actúan sobre un cuerpo, mediante un formato muy similar. Por lo tanto, se sugiere etiquetar esta dimensión como “identificación de fuerzas”. Aunque la varianza explicada por esta dimensión es muy baja (5%), esta es “pura” y logra medir claramente la dimensión conceptual en cuestión.

**Tabla 9.4. Carga de preguntas asociadas a la dimensión 4, generada por el análisis factorial exploratorio desarrollado**

Dimensión	Pregunta	Dimensiones FCI
4	5	C-TF
	13	S-TF
	18	S-PS-TF
	30	S-TF

Fuente: elaboración propia.

*Dimensión 5: leyes de Newton*

Esta dimensión está conformada por los ítems 15, 24 y 27 (véase la tabla 9.5). Los coeficientes de correlación de los ítems 15 y 24 son aceptables, 0,637 y 0,507 respectivamente. Sin embargo, el correspondiente a la pregunta 27 es negativo y muy bajo,  $-0.35$ .

**Tabla 9.5. Carga de preguntas asociadas a la dimensión 5, generada por el análisis factorial exploratorio desarrollado**

Dimensión	Pregunta	Dimensiones FCI
5	15	T
	24	P
	27	S

Fuente: elaboración propia.

La pregunta 15 plantea una situación en la que un automóvil empuja un camión y se pide comparar las fuerzas entre ambos vehículos. El proceso de análisis para una correcta solución implica identificar las fuerzas que ejerce cada vehículo sobre el otro y la relación entre estas (tercera ley). Por otra parte, el ítem 24 hace parte de una situación compleja que involucra preguntas anteriores (21, 22 y 23), por lo cual su comprensión está supeditada al entendimiento de estas. Según los autores de FCI, esta pregunta evalúa estrictamente la primera ley en ausencia de fuerzas. Sin embargo, también podría evaluar la segunda, dado que la primera es un caso particular de la segunda, pues la fuerza neta externa es cero. Esta pregunta, además, está facultada para evaluar la superposición de velocidades.

Al igual que en la pregunta 24, la comprensión de la 27 depende del entendimiento de una situación planteada en preguntas anteriores (25 y 26). En esta se describe a una persona que empuja una caja horizontalmente adquiriendo una velocidad constante. Esta pregunta indaga por el tipo de movimiento de la caja, si se deja de empujar, lo cual implica identificar las fuerzas que actúan sobre la caja y establecer cómo se relacionan (tercera ley). Además de reconocer el efecto de un desequilibrio de fuerzas en la aceleración del cuerpo (segunda ley), al parecer esta última ley es la que evalúa con mayor acento la pregunta, pues daría cuenta de dicho desequilibrio de fuerzas y el tipo de movimiento

resultante después de dejar de empujar la caja. Lo anterior muestra que los ítems que pertenecen a esta dimensión no están enfocados en evaluar una de las dimensiones propuestas en el FCI, pues indagan por el conjunto de las tres leyes de Newton.

#### *Dimensión 6: indeterminado*

Esta dimensión está compuesta por las preguntas 3, 8 y 29. La pregunta 3 indaga por la segunda ley en el contexto de una caída libre, hecho que concuerda con la clasificación de los autores del FCI en esta dimensión conceptual. Entre tanto, la pregunta 8 cuestiona la trayectoria de un disco de jóquey después de recibir un golpe cuando se desplazaba con velocidad constante sobre una superficie sin fricción. En este caso se estaría evaluando el principio de superposición, específicamente el relacionado con el movimiento. Esto no concuerda con los autores del FCI, quienes afirman que este ítem evalúa la segunda ley de Newton (véase la tabla 9.6).

**Tabla 9.6. Carga de preguntas asociadas a la dimensión 6, generada por el análisis factorial desarrollado**

Dimensión	Pregunta	Dimensiones FCI
6	3	S
	8	S
	29	P-PS-TF

Fuente: elaboración propia.

Por su parte, la pregunta 29 propone analizar las posibles fuerzas que actúan sobre una silla de oficina vacía que se encuentra en reposo sobre el suelo. Así, se inscribe en el conjunto de preguntas que evalúan la “identificación de fuerzas” (dimensión 4 del análisis factorial exploratorio). Por lo anterior, esta dimensión es indeterminada (no interpretable), pues sus ítems evalúan conceptos diferentes.

#### *Dimensión 7: principio de superposición*

Esta dimensión agrupa los ítems 11, 12, 14, 21 y 23. La pregunta 14 indaga explícitamente por las principales fuerzas que actúan sobre el disco de jóquey de la

pregunta 8, dimensión 6. Por lo tanto, el ítem 11 evalúa la identificación de fuerzas. Las preguntas 12 y 14 se enmarcan en disparos horizontales. La pregunta 21 corresponde a la combinación de un Movimiento Rectilíneo Uniforme (MRU) con un Movimiento Uniformemente Acelerado (MUA). Entre tanto, la pregunta 23 combina dos MRU (véase la tabla 9.7).

Tabla 9.7. Carga de preguntas asociadas a la dimensión 7, generada por el análisis factorial exploratorio desarrollado

Dimensión	Pregunta	Dimensiones FCI
7	11	P-PS-TF
	12	C- TF
	14	C- TF
	21	C-S
	23	P

Fuente: elaboración propia.

En resumen, las preguntas 12, 14, 21 y 23 del FCI indagan específicamente por trayectorias de cuerpos que combinan movimientos perpendiculares entre sí. Por lo tanto, estas 4 preguntas escrutan el principio de superposición, lo que da sentido y significado a esta dimensión. Este hecho no concuerda con los presupuestos teóricos del FCI.

### *Dimensión 8: cinemática*

Esta dimensión contiene los ítems 19, 20 y 22. El FCI propone que estas preguntas miden la dimensión cinemática, ya que la pregunta 22 también evalúa la segunda ley (véase la tabla 9.8). En efecto, estos tres ítems evalúan la dimensión conceptual de cinemática, dado que la pregunta 19 indaga por un posible momento en el que dos cuerpos con MRU y MUA tengan la misma velocidad. La pregunta 20 insta a comparar las aceleraciones de estos cuerpos y el ítem 22 cuestiona la variabilidad de la magnitud de la velocidad de un cuerpo.

Por otra parte, esta dimensión de cinemática explica el 4% de la varianza (muy baja). No obstante, logra medir consistentemente dicha dimensión. Además, contiene tres de los ocho ítems diseñados en el FCI (37%, aproximadamente) para evaluar la dimensión cinemática.

**Tabla 9.8. Carga de preguntas asociadas a la dimensión 8, generada por el análisis factorial exploratorio desarrollado**

Dimensión	Pregunta	Dimensiones FCI
8	19	C
	20	C
	22	C-S

Fuente: elaboración propia.

### *Dimensión 9: indeterminado*

A la luz del criterio de mínimo tres ítems por dimensión de Velicer y Fava (1998), esta dimensión no lo cumple, dado que el análisis factorial exploratorio solo asoció dos ítems a esta (1 y 2). Por lo tanto, no se considera objeto de estudio.

En resumen, la interpretación de las nueve dimensiones generadas por el análisis aquí desarrollado permiten identificar seis dimensiones conceptuales coherentes. Estas son consistentes con las propuestas en el FCI (cinemática, primera ley, tercera ley y principio de superposición). Los cuatro ítems que integran la dimensión 4 evalúan la identificación de fuerzas, más que los tipos de fuerzas, como lo afirman los diseñadores del FCI. Otra de las dimensiones interpretadas agrupa tres ítems que evalúan las tres leyes de Newton (dimensión 5). Las tres dimensiones restantes no son interpretables.

Los ítems agrupados en las dimensiones interpretadas logran explicar el 54% de la varianza de los datos. Al tomar valores entre 0 y 1, la medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (coeficiente KMO) establece si las correlaciones parciales entre las variables son adecuadas o no; así, los mejores AF son aquellos cuyos KMO sean cercanos a 1. Por ende, el análisis factorial aquí desarrollado explica una varianza media, aunque las correlaciones entre las variables son adecuadas, pues se obtuvo un KMO de 0,82.

## **Discusión**

En primera instancia, es importante reconocer que los resultados de validación de una prueba de la envergadura del FCI son de gran relevancia para docentes e investigadores interesados en la enseñanza de la física escolar y universitaria. Los docentes noveles pueden dimensionar el complejo proceso que implica

diseñar preguntas para evaluar el conocimiento de los estudiantes, tal es el caso de las pruebas Saber elaboradas por el Icfes. Evaluar es un proceso muy complejo que requiere de instrumentos bien diseñados que superen todas las pruebas técnicas que cuestionen su validez. En este sentido, las evaluaciones diseñadas por docentes e investigadores deben cumplir estándares básicos de calidad, como lo es la incorporación de varias preguntas que indaguen por un mismo concepto. Aunque la intención no es que los docentes desarrollen conocimientos especializados sobre los estudios psicométricos, sí es recomendable realizar acercamientos progresivos a estos que les permitan comprender los resultados de validación.

Como se mencionó en anteriores líneas, la validez de un instrumento de evaluación diseñado para una población en particular (Estados Unidos), y que se adaptó mediante procesos de traducción (equivalencia semántica), adaptación y estandarización, no se “heredan” en las versiones en otros idiomas. Por lo tanto, las distintas versiones del FCI requieren procesos de validación específicos, pues la simple adaptación del instrumento no necesariamente genera una equivalencia cultural, debido a las barreras idiomáticas. En consecuencia, se hace necesario validar las diferentes versiones del FCI en términos de su contenido, y es allí donde estos estudios adquieren una importancia vital, pues permiten detectar aquellos ítems que deben ser modificados o eliminados.

Por otra parte, las dimensiones conceptuales propuestas por los autores del FCI (versión en español) parecen ser formas lógicas de descomponer el concepto de fuerza. Sin embargo, un análisis a fondo de las preguntas no concuerda cabalmente con dicha descomposición. Este es uno de los puntos críticos abordados por los detractores más representativos del FCI, Huffman y Heller (1995): la falta de evidencias que permitan establecer que el concepto de fuerza se compone de las seis dimensiones propuestas.

Sin duda, las estrechas relaciones y, en muchos casos, yuxtaposiciones entre los distintos conceptos físicos que estructuran la mecánica newtoniana son tales que hacen extremadamente complejo diseñar preguntas que evalúen una única dimensión conceptual. Además, el formato en el que se presentan las preguntas del FCI sugieren que estas dimensiones conceptuales son independientes; sin embargo, no se esgrimen los argumentos necesarios que así lo demuestren. Una solución viable y sencilla es integrar las dimensiones que indagan las tres

leyes de Newton en una sola, que se podría llamar “dinámica” y que correspondería a la dimensión 5 generada por el análisis factorial exploratorio.

Ahora bien, las dimensiones generadas por el análisis factorial y consistentes con los presupuestos FCI presentan matices que requieren ser analizados en futuras investigaciones. De esta manera, los niveles de coincidencia bajos (menores al 40%; Araujo, 2010) deben ser estudiados para determinar lo que realmente evalúan aquellos ítems que no son cargados por el análisis factorial exploratorio en las respectivas dimensiones que estructuran el FCI.

En este orden de ideas, los ítems que el análisis factorial no logra cargar en las dimensiones cinemática deben ser estudiados a fondo: (ítems 5, 9, 12, 14 y 21, coincidencia del 38%); primera ley (ítems 11, 17, 23, 24 y 29, coincidencia del 38%); principio de superposición (ítems 18, 17 y 29; además, el análisis factorial asocia las preguntas 12, 14, 21 y 23, con coincidencia del 38%), y tipos de fuerza (ítems 1, 2, 11, 12, 14, 17, 25 y 29, coincidencia del 25%). Al considerar que las preguntas coincidentes de esta última dimensión instan a la identificación de fuerzas más que al reconocimiento del tipo de fuerzas, se sugiere cambiar su nombre.

Por otra parte, la dimensión propuesta por el FCI que pretende evaluar la segunda ley de Newton no logra ser validada por el análisis factorial desarrollado en esta investigación. Los autores del FCI agrupan en esta dimensión las preguntas 3, 8, 9, 13, 18, 21, 22, 26, 27 y 30. El análisis factorial cargó la pregunta 27 a la dimensión 5 con otras dos preguntas (15 y 24), que evalúan respectivamente las leyes tercera y primera. De allí que se sugiera que esta dimensión evalúa en potencia las tres leyes de Newton.

El análisis factorial cargó las preguntas 3, 8 y 9 en dimensiones no interpretables. Las preguntas 21, 22 y 26 fueron cargadas a las dimensiones 7 (principio de superposición), 8 (cinemática) y 1 (tercera ley), respectivamente. Entre tanto, las preguntas 13, 18 y 30 fueron cargadas en la dimensión 4 (tipos de fuerza). Estos resultados sugieren investigar la naturaleza de estas preguntas para determinar si realmente evalúan la segunda ley de Newton como lo afirman los autores del FCI, o si, por el contrario, se ratifican las cargas del AFE.

Al parecer, en el FCI, las leyes primera y tercera de Newton están asociadas de manera muy cercana, pero incorrectamente. Esto sugiere que se deben hacer grandes esfuerzos para distinguir los problemas que requieren la tercera ley de

aquellos que necesitan la primera. Esta situación se destaca específicamente en problemas en los que la tercera ley se aplica a fenómenos que involucran velocidad constante. De igual manera, los estudiantes no discriminan adecuadamente las ideas cinemáticas de las leyes primera y segunda. En particular, los estudiantes parecen tener dificultades para identificar claramente aquellas ideas cinemáticas en las áreas de dinámica, en las que se utilizan los conceptos anteriores. Esto sugiere que los conceptos cinemáticos deben distinguirse claramente de los conceptos dinámicos durante la introducción de las leyes primera y segunda de Newton (Scott *et al.*, 2012).

Otro aspecto que debe ser objeto de estudio es la polidimensionalidad que propone el FCI para algunos de los ítems, pues más del 40% de ellos están en esta condición. Esto requiere de una fuerte asistencia disciplinar y de estudios sobre la filosofía de las ciencias, enfocados específicamente a la mecánica newtoniana. Como ya se mencionó, esta labor no es una tarea fácil, dada la estrecha relación entre los conceptos que estructuran y dan sentido al concepto de fuerza. Por ejemplo, la pregunta 24 asociada a la dimensión 5 por el Análisis Factorial Exploratorio es inscrita exclusivamente por los autores del FCI en la dimensión que mide los conocimientos relacionados con la primera ley de Newton. Sin embargo, este ítem también está facultado para escrutar la superposición de velocidades y algunos aspectos de la segunda ley, dada la yuxtaposición entre estas leyes (la primera es un caso particular de la segunda). Aquí se encuentra una gran posibilidad para explorar y comprender la manera como piensa el estudiante en el contexto de la situación planteada, a través de una corta entrevista semiestructurada. La variedad y la calidad de la información obtenida dependerá del énfasis que coloque el docente o investigador.

Un claro ejemplo de este énfasis conceptual en la evaluación lo presenta el ítem 3, el cual alude a dos diferentes aspectos de la caída libre, lo que al parecer generó mayor dificultad a los respondientes. En las tres primeras opciones se discute la velocidad de la piedra al caer, con presencia de la gravedad en dos de ellas. Las dos últimas opciones presentan argumentos del porqué se produce la caída. Solo el 2,8% de los estudiantes contestaron correctamente esta pregunta, que se consolida como una de más baja puntuación. Estos resultados sugieren estudiar a fondo esta pregunta para realizar posibles ajustes u omitirlos de la prueba.

Ahora bien, la flexibilidad para asociar una pregunta a varias de las dimensiones (polidimensionalidad) que el FCI intenta medir, al parecer propicia que los resultados de los análisis factoriales no sean concluyentes. De otro lado, el FCI tiene ítems que dependen de otros, de su contexto y/o de las respuestas dadas. Por ejemplo, la pregunta 24 depende de las tres anteriores, no solo por el contexto, sino también por las respuestas que se hayan dado. Este hecho podría adicionar mayor dificultad a la indagación. Los resultados muestran que el 95,7 % de los estudiantes contestaron de forma incorrecta a esta pregunta. Por lo anterior, se requieren mayores estudios para esclarecer este caso y realizar los ajustes pertinentes a los que haya lugar.

## Conclusiones

El Análisis Factorial Exploratorio realizado en esta investigación a un conjunto de 335 datos producto de los resultados del FCI, y apoyado por una matriz de correlación tetracórica, produjo un total de nueve dimensiones con valores propios mayores a uno, de los cuales seis de ellos fueron coherentemente interpretados. Estas dimensiones logran validar cinco de las seis dimensiones que estructuran el FCI: primera ley (dimensión 2), tercera ley (dimensión 1), identificación de fuerzas (dimensión 4), principio de superposición (dimensión 7), tipos de fuerza (dimensión 4) y cinemática (dimensión 8). Es importante aclarar que la dimensión 4 generada por el análisis factorial asoció cuatro de las doce preguntas que propone el FCI para evaluar estos conceptos. Sin embargo, esta dimensión conceptual insta a los respondedores a identificar fuerzas en diferentes contextos, más que reconocer los tipos de fuerza involucrados en cada situación.

Entre tanto, la dimensión 5 generada por el análisis factorial agrupa las preguntas 15, 24 y 27, diseñadas originalmente para evaluar las leyes de Newton. Estos resultados sugieren agrupar las preguntas que evalúan cada una de estas leyes. Esto es coherente con la estrecha relación y dependencia que existe entre estas. Para obtener más detalles que permitan establecer el estado de conocimiento en relación con cada una de estas leyes, docentes e investigadores pueden apoyarse en entrevistas cortas que les permitan complementar los resultados obtenidos con estos ítems del FCI.

Por otra parte, los resultados del análisis demuestran que, al parecer, la utilización de ítems que indagan por un mismo concepto en diferentes contextos (preguntas equivalentes) afectan la estructura factorial resultante. Los ítems equivalentes se usan para evaluar la consistencia de las personas y para incrementar la consistencia interna de los test (Piera y Carrasco, 2010). Ahora bien, el conocimiento de la mecánica newtoniana está compuesta por conceptos que se superponen, lo que hace que estos sean relativamente dependientes entre sí. De allí que tenga sentido y validez la existencia de preguntas que indagan sobre diferentes aspectos de la mecánica de Newton (ítems polidimensionales). El problema se presenta porque estos ítems comparten más varianza que la explicada directamente por el factor que los agrupa (Lloret-Segura *et al.*, 2014); igualmente, parte de la varianza única en estos conjuntos de ítems es compartida. Cuando esto sucede, aparecen factores comunes adicionales difíciles de identificar e interpretar (Lloret-Segura *et al.*, 2014). En consecuencia, el FCI es una prueba confiable, cuyos resultados adquieren significado en términos globales, con dimensiones que pretenden detallar el estado de conocimiento de los sujetos evaluados. No obstante, los estudios factoriales no logran avalar en su totalidad.

Por lo anterior, se evidencia que el FCI no cumple con las características necesarias para ser evaluado mediante un análisis factorial. En este sentido, se vislumbra una alternativa posible: encontrar una metodología acorde con las condiciones específicas de esta prueba que posibilite la realización de una evaluación de grano fino. Además, se deben fortalecer o reconstruir aquellos ítems que han sido identificados como problemáticos en los diferentes estudios psicométricos realizados, para encontrar patrones y alternativas de solución. Tal compromiso se encomienda a las futuras investigaciones que hagan de este tema su objeto de estudio.

Este análisis amplía nuestra comprensión de los resultados del FCI y también sugiere algunas características interesantes en la comprensión conceptual de la mecánica newtoniana entre los novatos. En primer lugar, los datos generados con el FCI muestran una coherencia conceptual que se manifiesta en la aparición de factores estables e interpretables. Los resultados del análisis factorial exploratorio evidencian la presencia de correlaciones significativas entre los factores. Sin embargo, la estructura factorial encontrada en este análisis es

más sugerente que concluyente. Por esta razón, la mayoría de estas conclusiones toman la forma de sugerencias para experimentos adicionales o enfoques para enseñar el concepto de fuerza así como sus derivados, que pueden ser útiles para docentes e investigadores.

## Referencias

- Araujo, M. (2010). *Indicadores de calidad. Criterios para la definición de umbrales*. Serie Monografías de apoyo a la acreditación n.º 2. Gobierno de Chile, Superintendencia de Salud.
- Budini, N., Marino, L., Giuliano, M., Carreri, R., Cámara, C. y Giorgi, S. (2019). Uso del inventario sobre el concepto de fuerza como herramienta para monitorear el cursado de Física I. *Revista de Enseñanza de la Física*, 31, 107-14.
- Child, D. (1990). *The essentials of factor analysis*. Cassell Educational Limited.
- Halloun, I., Hake, R. y Mosca, E. (1995). *Cuestionario sobre el concepto de fuerza*. Instituto de Estudios Interdisciplinarios.
- Heller, P. y Huffman, D. (1995). Interpreting the Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 33(503), 507-511.
- Hestenes, D. y Halloun, I. (1995). Interpreting the Force Concept Inventory. A response to critique by Huffman and Heller. *The Physics Teacher*, 33(8), 502-506.
- Hestenes, D., Wells, M. y Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30, 141-158.
- Hoffmann, A. F., Stover, J. B., de la Iglesia, G. y Liporace, M. F. (2013). Correlaciones policóricas y tetracóricas en estudios factoriales exploratorios y confirmatorios. *Ciencias Psicológicas*, 7(2), 151-164. [http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1688-42212013000200005&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1688-42212013000200005&lng=es&tlng=es)
- Huffman, D. y Heller, P. (1995). What does the Force Concept Inventory actually measure? *The Physics Teacher*, 33, 138-143.
- Kaiser, H., F. (1958). The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, 23, 187-200.
- Kaiser, H. (1960). The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 141-151. <https://doi.org/10.1177/001316446002000116>
- Kubinger, K. (2003). On artificial results due to using factor analysis for dichotomous variables. *Psychology Science*, 45(1), 106-110.

- Lloret-Segura, S., Ferreres-Traver, A., Hernández-Baeza, A. y Tomás-Marco, I. (2014). El análisis factorial exploratorio de los ítems. Una guía práctica, revisada y actualizada. *Anales de Psicología*, 30(3), 1151-1169.
- Macia-Barber, E., Hernández, M., & Menéndez, J. (1995). *Cuestionario sobre el concepto de fuerza*. Famaf.
- Oliden, P. E. y Zumbo, B. D. (2008). Coeficientes de fiabilidad para escalas de respuesta categórica ordenada. *Psicothema*, 20(4), 896-901. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72720458>
- Piera, P. J. y Carrasco, A. C. (2010). El análisis factorial como técnica de investigación en psicología. *Papeles del Psicólogo*, 31(1), 18-33.
- Scott, T., F., Schumayer, D. y Gray, A. (2012). Exploratory factor analysis of a Force Concept Inventory data set. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 8(2), 020105-1, 020105-10.
- Semak, M. R., Dietz, R. D., Pearson, R. H. y Willis, C. W. (2017). Examining evolving performance on the Force Concept Inventory using factor analysis. *Physical Review Physics Education Research*, 13(1), 010103-1-010103-11.
- Suhr, D. (2006). Exploratory or confirmatory factor analysis? *Statistics and Data Analysis*, artículo 200-32, 1-17.
- Timmerman, M. E. y Lorenzo-Seva, U. (2011). Dimensionality assessment of ordered polytomous items with parallel analysis. *Psychological Methods*, 16(2), 209-220.
- Uebersax, J., S. (2015, 8 de septiembre). *Introduction to the tetrachoric and polychoric correlation coefficients*. <https://www.john-uebersax.com/stat/tetra.htm>
- Urbano, L. S. y Pere, J. F. (2006). Factor. A computer program to fit the exploratory factor analysis model. *Behavior Research Methods*, 38, 88-91. <https://doi.org/10.3758/BF03192753>
- Vallejo, P. M. (2011). *El Análisis Factorial en la construcción e interpretación de tests, escalas y cuestionarios*. Universidad Pontificia Comillas. [https://3699dea9-7151-4213-bf21-9ab04a3c21a6.filesusr.com/ugd/8d49cf\\_c8d4720f730f456c86fd152a605686b2.pdf](https://3699dea9-7151-4213-bf21-9ab04a3c21a6.filesusr.com/ugd/8d49cf_c8d4720f730f456c86fd152a605686b2.pdf)
- Velicer, W. F. y Fava, J. L. (1998). Effects of variable and subject sampling on factor pattern recovery. *Psychological Methods* 3(2), 231-251.



## **Capítulo 10. La regulación metacognitiva en situaciones-problemas para el aprendizaje del concepto de disolución química en estudiantes de educación media\***

Eduin Pacheco Méndez

La presente investigación surge de reconocer la importancia que revisten los procesos metacognitivos en la enseñanza y el aprendizaje de conceptos científicos cuando median situaciones-problemas en el aula de clase. En estos espacios predominan metodologías tradicionales que en la mayoría de los casos se presenta poco conocimiento de la metacognición y su influencia en los procesos didácticos a nivel escolar. El objetivo de este capítulo consiste en mostrar y reconocer el papel de la regulación metacognitiva en situaciones-problemas para el aprendizaje del concepto de disolución química. La investigación se identifica con el enfoque cualitativo-descriptivo del tipo estudio de casos, con el cual se diseñó y se aplicó una secuencia didáctica que posibilitó recoger datos a partir de un instrumento de lápiz y papel. Así, se buscó examinar los casos de seis estudiantes durante su educación media en la Institución Educativa San Antonio Club de Leones, de la ciudad de Sincelejo. Los datos fueron analizados a través de matrices de contenido. Al finalizar se observó la superación de algunos obstáculos relacionados con la experiencia y la comprensión sensorial. De igual forma, el desarrollo de habilidades metacognitivas relacionadas con la planeación, el monitoreo y la evaluación potenciaron en el estudiante el control sobre su propio aprendizaje y permitieron al docente el ajuste en la estrategia de enseñanza.

\* Para citar este capítulo: <http://doi.org/10.51573/Andes.9789587985061.9789587985078.10>

## Introducción

Esta investigación surge a partir de la reflexión en torno a la importancia que revisten los procesos metacognitivos en la enseñanza y el aprendizaje de los conceptos de la química para la resolución de problemas en el aula de clase. Con esto, se busca relacionar los obstáculos epistemológicos que presentan los estudiantes (asociados al desinterés por las ciencias) con prácticas de aulas que incluyan concepciones y metodologías más acordes con los nuevos desarrollos en didáctica de las ciencias. Así, se pretende favorecer el aprendizaje de los estudiantes.

Dentro de las razones que motivan el presente estudio está, en primer lugar, la certeza de que los procesos de investigación en el aula contribuyen a mejorar la enseñanza y el aprendizaje; en segundo lugar, la necesidad de mejorar los procesos de aprendizaje por parte de los estudiantes y transformar consecuentemente las prácticas docentes relacionadas con la didáctica implementada en las clases de ciencias. Por otro lado, está la utilización de la regulación metacognitiva como una estrategia potente y necesaria para la planeación, el desarrollo y la evaluación del proceso educativo.

Por otro lado, es significativo referirse a la relación que existe entre el aprendizaje de los estudiantes y las prácticas de aula en la Institución Educativa San Antonio Club de Leones, de la ciudad de Sincelejo. Para ello, se tiene en cuenta que han predominado metodologías propias de la educación tradicional que desconocen, en algunos casos, la existencia y, por ende, la incidencia de los procesos metacognitivos en el acto educativo, los cuales son determinantes a la hora de desarrollar habilidades cognitivas en los estudiantes.

De acuerdo con lo anterior, se puede decir que el transmisionismo sigue prevaleciendo en las clases y, por lo tanto, tiene muy poco en cuenta estrategias didácticas como la regulación metacognitiva en las prácticas de aula, las cuales fundamentan sus metodologías en modelos conductistas. Lo anterior suscita ciertas dificultades para la enseñanza y el aprendizaje de la química a nivel escolar, momento en el que los estudiantes presentan obstáculos asociados con limitaciones conceptuales, falta de reflexión, poco conocimiento de sus estilos de aprendizaje y dificultad para ser conscientes de sus procesos de aprendizaje en torno a conceptos propios de las ciencias.

Por tales motivos, esta investigación tuvo como objetivo reconocer el papel de la regulación metacognitiva en situaciones-problemas para el aprendizaje del concepto de disolución química. En el estudio se utilizó el enfoque cualitativo-descriptivo, del tipo estudio de casos, debido a la naturaleza del problema de investigación, en el cual se analizaron las situaciones de seis estudiantes del nivel de educación media académica de la Institución Educativa San Antonio Club de Leones, de Sincelejo. A continuación, se presentan los referentes teóricos más importantes.

### **La regulación metacognitiva**

Según Schraw y Moshman (1995), se establece que “la regulación de la cognición se refiere a las actividades metacognitivas que ayudan a controlar nuestro pensamiento o aprendizaje” (p. 354). Asimismo, apoyan la hipótesis: “la regulación metacognitiva mejora el rendimiento en numerables maneras, incluyendo un mejor uso de los recursos cognitivos como la atención, un mejor uso de las estrategias existentes, y una mayor conciencia de las fallas en la comprensión” (p. 355).

Brown y Sullivan, citados en Tamayo, 2006, señalan tres procesos cognitivos esenciales dentro de la regulación metacognitiva:

1. **Planeación:** es un proceso que se realiza antes de enfrentar una tarea o meta escolar; implica la selección de estrategias apropiadas y la identificación de factores que afectan el rendimiento. En definitiva, este paso consiste en anticipar las actividades, prever resultados, enumerar pasos.
2. **Monitoreo:** se refiere a la posibilidad que se tiene, en el momento, de realizar la tarea, de comprender y modificar su ejecución; por ejemplo, realizar autoevaluaciones durante el aprendizaje para verificar, rectificar y revisar las estrategias seguidas.
3. **Evaluación:** realizada al final de la tarea, se refiere a la naturaleza de las acciones y decisiones tomadas por el aprendiz; evalúa los resultados de las estrategias seguidas en términos de eficacia.

Para ilustrar la regulación de la actividad cognitiva, Brown y Sullivan (1987) proponen el siguiente ejemplo: “Un estudiante [...] que [planea] un enfoque

para estudiar, por ejemplo, parafraseando el texto mientras está leyendo, [monitorea] la eficacia de ese enfoque de trabajo, y [evalúa] los resultados de tal plan, está abordando la regulación de la cognición” (p. 66).

Estas actividades suponen un actuar en tres momentos diferentes: *antes* de abordar la tarea propuesta (puede realizar un análisis previo sobre las variables que pueden afectar su desempeño, para así diseñar pasos o secuencias que le ayuden a cumplir el objetivo señalado); *durante* (en la ejecución de los pasos o secuencias, el estudiante tiene la posibilidad de examinar si el proceso que está llevando a cabo lo está alejando o acercando a la meta), y *después* (tendrá la posibilidad de evaluar los resultados obtenidos, que le permiten determinar la eficacia de los procedimientos aplicados).

En torno a la planeación y al monitoreo, White *et al.* (2009) afirman que: “es importante decir que los estudiantes necesitan determinar todos los pasos que deben completarse. [...] como parte de su proceso de planificación, necesitan aprender a prever los posibles resultados de sus experimentos para asegurarse que lo hará [...]” (p. 177). Lo anterior plantea la posibilidad de que los alumnos formulen preguntas sobre su progreso y generen acciones relacionadas con el monitoreo cuando se refieren a la revisión, guía y verificación de dichas acciones, así como a las estrategias de planificación que utilizan para cumplir con lo propuesto.

En relación con la evaluación, es importante verla como una reflexión de las decisiones tomadas durante el desarrollo de las tareas, momento en que el estudiante perciba su desempeño en las actividades como una oportunidad para mejorar en todo su proceso de aprendizaje. En palabras de White *et al.* (2009) “La reflexión puede ser utilizado como una oportunidad para mejorar los procesos [...]” (p. 178).

### **Obstáculos epistemológicos en enseñanza y aprendizaje de conceptos químicos**

De acuerdo con Bachelard (1971), un obstáculo es un apego que impide el avance de la ciencia. En otros términos, el desarrollo del conocimiento, los errores, los prejuicios y las opiniones de los docentes son transmitidos al estudiante y estos se convierten en obstáculos epistemológicos. A pesar de esto, no es conveniente

ver simplemente el obstáculo como una mala concepción del conocimiento. Esta visión negativa impide descubrir por sí misma el verdadero conocimiento, lo cual frena el avance del ser; por ello, es necesario reconocer y erradicar los obstáculos en el proceso formativo (Castro *et al.*, 2013).

Según Bachelard (1971), citado en Castro *et al.* (2013), los obstáculos que se pueden presentar y que dificultan el paso de un espíritu científico a uno verdaderamente científico son:

1. La experiencia básica o primera: planteada como el conocimiento que se adquiere en los primeros años de aprendizaje. Este conocimiento está basado en libros antiguos, que presentan un conocimiento inmóvil a los jóvenes, pues es presentado como verdad absoluta.
2. El conocimiento general: para Bachelard, el conocimiento general es un obstáculo que estanca el avance de conocimiento, pues se toma un concepto como ley general.
3. El obstáculo verbal: este obstáculo es concebido como el uso inadecuado de palabras o de imágenes para explicar un concepto o una teoría.
4. El conocimiento unitario y pragmático: exponer una teoría como perfecta y única porque es dada por un experto limita el pensamiento; se pueden construir estructuras mentales imposibles de romper, de modo que cuando se plantea la teoría de otro autor no es aceptada.
5. El obstáculo sustancialista: este obstáculo es uno de los más complejos que se dan en el proceso cognitivo, en el cual la sustancia se extiende a toda cualidad del objeto. La sustancia se juzga o se define por la sensación inmediata que percibamos de dicho objeto, como ácido, suave, absorbente, etc.
6. El obstáculo realista: el realismo como un instinto que ni siquiera se discute, sino que se impone; un profesor que sostiene su argumento en lo realista no permite discusión de otra teoría porque cree poseer lo real.
7. El obstáculo animista: este obstáculo da mayor importancia a los contenidos que tengan de por medio la vida o todo lo que se relacione con ella; la materia viva manda sobre la materia muerta.
8. La libido: este obstáculo se refiere a la desviación del poder que puede ejercer el profesor frente a sus estudiantes; el docente puede manifestarse

como superior por creerse el único con conocimiento capaz de explicar y entender los contenidos de clase.

9. El mito de la digestión: se trata de realizar una serie de analogías de algunos fenómenos con el sistema digestivo y sus funciones; al parecer, en el siglo XVIII, se utilizaba con frecuencia este tipo de analogías, pero cambiando de perspectiva.
10. El obstáculo cuantitativo: quienes incurren en esta dificultad toman el método descriptivo como falaz, puesto que es subjetivo y aporta errores en la descripción; se tiene la concepción de que lo objetivo es todo lo que se pueda contar, lo cuantitativo se preocupa por la precisión; esto puede producir un exceso de datos, lo cual refunde la perspectiva.

Las dificultades en el aprendizaje de los conceptos químicos se incrementan como producto de didácticas que no tienen en cuenta los conocimientos previos de los estudiantes, y con ello se desatiende cómo aprenden y progresan. En tal sentido, los avances logrados por la didáctica de las ciencias como cuerpo teórico de conocimientos están mostrando que no solo conviene conocer las ideas de los alumnos, sino también hay que saber cómo razonan y aprenden para poder ayudarles a construir los conocimientos químicos (Furió-Mas y Domínguez-Sales, 2007).

De igual manera, prácticas de enseñanza ajenas a la epistemología y la evolución histórica de los conceptos se constituyen en obstáculos, ya que no se considera el conocimiento científico en permanente cambio y construcción en las aulas de clase. Esto implica tener, por parte de los docentes, un cambio en la concepción de la educación en la que se estime la importancia de abordar la historia y naturaleza de los conceptos científicos. Esto permitirá forjar en el estudiante concepciones más cercanas a las teorías científicas, es decir, que asuma actitudes positivas hacia la ciencia, como también posturas flexibles y factibles de ser modificadas según pautas de razonamiento más adecuadas, que influyan positivamente en su aprendizaje.

Así como se han indicado obstáculos vistos desde la enseñanza, existen también una serie de dificultades del aprendizaje de las ciencias propias de los estudiantes. Según Campanario y Otero (2000), estas limitaciones son:

- a. No es fácil eliminar las ideas previas de los estudiantes.
- b. Los alumnos recurren con frecuencia a metodologías superficiales.
- c. Los alumnos pueden aplicar pautas de razonamiento poco científicas en tareas propias de ciencias.
- d. Los alumnos tienen sus propias ideas sobre la ciencia y el conocimiento científico.
- e. Las concepciones de los alumnos sobre el aprendizaje de las ciencias suelen ser inadecuadas.
- f. Las concepciones epistemológicas de los alumnos tienen una influencia decisiva en sus estrategias de aprendizaje.
- g. La metacognición como un problema en el aprendizaje de las ciencias.

### **Niveles explicativos sobre naturaleza corpuscular de la materia**

Para comprender un fenómeno hay que tener en cuenta su naturaleza íntima; por lo tanto, se debe apropiarse el concepto con fundamentos teóricos que permitan justificar por qué ocurre cierta acción, así como dar explicaciones sobre su constitución y comportamiento. En el caso particular de la presente investigación sobre disoluciones químicas, se hace necesario abordar la naturaleza corpuscular de tales sistemas materiales, sobre todo por las dificultades que implica su aprendizaje, lo cual se ha visto altamente influenciado por deficientes prácticas de enseñanza.

En este sentido, para complementar la consecución de los objetivos de este estudio investigativo sobre el papel que cumple la regulación metacognitiva en el aprendizaje del concepto de disolución química, este apartado pretende mostrar cuáles son los niveles explicativos que se han determinado sobre la naturaleza corpuscular de la materia. De esta manera, se pueden relacionar con los obstáculos epistemológicos identificados en los estudiantes.

Aunque existen muchos estudios a nivel mundial sobre el entendimiento de la naturaleza corpuscular de la materia, para este caso se toman las investigaciones de Benarroch (2000), quien se ha dedicado por décadas al desarrollo de los dominios específicos en didáctica de las ciencias. Este autor presenta los niveles explicativos de los alumnos sobre dicho tema en la tabla 10.1.

Tabla 10.1. Niveles explicativos sobre naturaleza corpuscular de la materia

Nivel I: visión continua y estática de la materia	Nivel II: visión continua y estática de la materia	Nivel III: visión particulada de la materia	Nivel IV: visión particulada de la materia con vacío	Nivel V: visión corpuscular en interacción con el vacío
“Los alumnos de este nivel son incapaces de trasvasar la barrera de lo observable y, además, no comprenden la necesidad de dar explicaciones a los cambios de la materia” (p. 238).	“Se conforma por modelos de materia que siguen siendo continuos, pero que se ven enriquecidos con elementos percibidos (burbujas, huecos, pompitas, etc.)” (p. 238).	Primer nivel de la evolución conceptual que implica concepciones corpusculares. “En él, la materia está formada por partículas” (p. 238).	“Además de la existencia de partículas en la materia, se considera la del vacío necesario entre las mismas” (p. 238).	Coincide con el contenido académico de la enseñanza de la naturaleza corpuscular; en este caso, “la materia se concibe como un sistema de interacción entre partículas, moviéndose continuamente, sin nada entre ellas, sólo vacío” (p. 239).
Imagen macroscópica de la materia, salvo que mayoritariamente se observe lo contrario.	La imagen sigue siendo macro, se diferencia del nivel anterior porque se explican los datos empíricos asociados con la percepción de elementos.	Las partículas son invisibles al nivel microscópico y ya no están, por lo tanto, relacionadas con la percepción, tal como ocurría en el nivel anterior.	La diferencia radica en la consideración del vacío, que es rechazado, evitado o ignorado en el nivel anterior, mientras que en este nivel se considera necesario.	La diferencia con el nivel IV está en la interacción entre las partículas que se mueven continuamente, sin nada entre ellas, solo vacío.

Fuente: tomado de Benarroch (2000).

Los niveles anteriores constituyen aproximaciones sucesivas del modelo adoptado por los científicos, lo que demuestra cómo se evoluciona de las concepciones macroscópicas a las microscópicas, pasando por admitir la existencia de objetos hipotéticos no directamente observables y la de huecos entre esos objetos, así como la del vacío en dichos huecos. La construcción de estas concepciones implica una liberalización progresiva de las características macroscópicas observadas en el sistema en transformación (Benarroch, 2000).

De acuerdo con los elementos que implica la presente investigación en cuanto al planteamiento de su problemática y al atender el anterior abordaje teórico, se configuran las relaciones que permiten dar respuesta a la siguiente

pregunta: ¿cuál es el papel de la regulación metacognitiva en situaciones-problemas para el aprendizaje del concepto de disolución química?

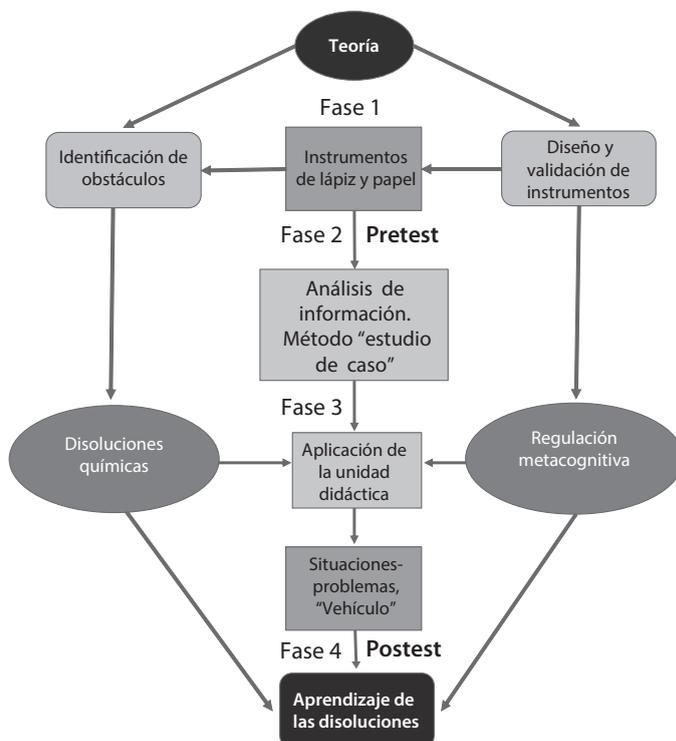
### Metodología

La investigación se fundamentó en una metodología de corte descriptivo, basada en la exposición de hechos mediante métodos cualitativos. Asimismo, tuvo por finalidad obtener una o más categorías con unos participantes definidos por medio de la descripción y resolución de una situación, una necesidad o un problema en un contexto determinado (Cisterna, 2005).

En esta investigación, la principal fuente de información se deriva de las declaraciones escritas de los estudiantes. Tuvo un carácter abierto y no estructurado, debido a la naturaleza de las categorías del estudio (aprendizaje de las disoluciones químicas y regulación metacognitiva). Contó con una estructura de estudio de caso porque permite el registro de procesos, dinámicas, relaciones, contenidos y significados (García y Vanella, 2008).

En este sentido, los participantes fueron treinta y seis estudiantes de educación media, género mixto, de la Institución Educativa San Antonio Club de Leones, de Sincelejo, con edades comprendidas entre los 15 y 18 años, de los cuales se tomaron al azar seis casos para ser estudiados en profundidad. El estudio se estructuró en cuatro fases, como se puede observar en la figura 10.1.

- Fase 1: se definió la función de la teoría desde el punto de vista epistemológico.
- Fase 2: se diseñaron los instrumentos de lápiz y papel y se sometieron a un proceso de validación para identificar los obstáculos epistemológicos de los estudiantes con relación a su conocimiento sobre disoluciones químicas.
- Fase 3: se aplicó la unidad didáctica sobre disoluciones químicas, de acuerdo con un enfoque constructivista; se obtuvieron los datos acerca de las estrategias de regulación metacognitiva.
- Fase 4: un mes después de implementada la unidad didáctica, se aplicó un test posterior para determinar si se presentaron cambios con relación a los procesos metacognitivos y el aprendizaje de los estudiantes en situaciones-problemas sobre disoluciones químicas.

Figura 10.1. **Diseño metodológico**

Fuente: adaptado de Cadavid (2014).

La intervención se realizó a través de una unidad didáctica que tuvo tres momentos: ubicación, desubicación y reenfoque. En cada uno se diseñaron y se aplicaron situaciones-problemas sobre aspectos básicos relacionados con las disoluciones químicas. Se tuvieron en cuenta lenguajes múltiples (discurso oral, escrito, gestos, imágenes, diagramas, entre otros) que sirvieron para que los estudiantes dieran sus respuestas a las situaciones planteadas. También, de forma paralela durante el desarrollo de las actividades, se realizaron preguntas de orden metacognitivo con la intención de propiciar la regulación de los procesos propios de aprendizaje por parte de los estudiantes.

El análisis de los datos fue realizado a través de un proceso de triangulación, el cual se llevó a cabo mediante matrices en las que se organizó (y se articuló con los sustentos teóricos) la información procedente, en su mayoría, de los instrumentos de lápiz y papel. Estas bases de datos incorporaron también

respuestas orales y anotaciones en la libreta de campo sobre las declaraciones de los estudiantes. Las preguntas metacognitivas se clasificaron de acuerdo con las subcategorías de análisis establecidas previamente, como la planeación, el monitoreo y la evaluación. Los instrumentos utilizados van incluidos en la unidad didáctica que constó de tres momentos, los cuales se pueden observar en la tabla 10.2.

Tabla 10.2. **Momentos de la unidad didáctica**

<b>Momento de ubicación</b>	<b>Momento de desubicación</b>	<b>Momento de reenfoque</b>
1. Se identificaron los obstáculos epistemológicos que poseen los estudiantes al momento de afrontar situaciones-problemas sobre el concepto de disolución química.	1. Se tuvo en cuenta la información obtenida en el primer momento de la unidad didáctica.	1. Se plantearon situaciones-problemas similares a las planteadas inicialmente.
2. Aplicación del instrumento 1 sobre representaciones y análisis de problemas que permitieron ubicar a los estudiantes en el primer nivel explicativo sobre la naturaleza de la materia, en particular las disoluciones.	2. Construcción de escenarios para trabajar la categoría central del proyecto: la regulación metacognitiva vinculada con los aspectos básicos de las disoluciones químicas mediante los instrumentos 2 y 3.	2. Recolección de datos para identificar si la secuencia desarrollada en el segundo momento resultó conveniente por medio del instrumento final.
3. Se caracterizaron los tipos de obstáculos existentes frente al concepto mencionado.	3. Se suscitaron múltiples lenguajes que favorecieron el proceso de aprendizaje del concepto en cuestión.	3. Comparación directa con lo realizado en los dos momentos anteriores.
4. Se aplicó el instrumento de preguntas generadoras 1, de carácter exploratorio.	4. Formulación de preguntas que promovieron el desarrollo de la regulación metacognitiva a través del instrumento de preguntas generadoras 2.	4. Se evaluó el proceso de intervención junto con lo realizado en la unidad; para ello, se utilizó el instrumento de preguntas generadoras 3.
5. Aplicación de matrices de análisis para interpretar la información y clasificar los obstáculos de orden epistemológico. Del mismo modo se determinaron los modelos explicativos relacionados con esas clases de obstáculos.	5. Intervención didáctica con la socialización de los obstáculos hallados en el momento anterior con los estudiantes, para conseguir que estos fuesen conscientes y así evidenciar cómo la regulación metacognitiva favorece los procesos de aprendizaje en los estudiantes.	5. Impacto de las estrategias de regulación metacognitiva en el aprendizaje de las disoluciones químicas cuando median situaciones-problemas.

Fuente: elaboración propia.

### *Técnicas e instrumentos*

Las técnicas utilizadas en la investigación fueron la observación participante y el pensamiento en voz alta. Al respecto de la primera técnica mencionada, Rojas (2003) plantea que “la observación participante [...] sirve para conocer más de cerca un grupo de personas, así como también sus actitudes y conductas ante determinados estímulos” (p. 208). En cuanto al pensamiento en voz alta, el cual se grabó y se transcribió para efecto del análisis de datos, Armengol (2007) manifiesta que “son instrumentos metodológicos que implican [...] el uso de informantes ‘pensando en voz alta’ mientras llevan a cabo una actividad” (p. 28).

### **Análisis y discusión de resultados**

#### *Aprendizaje de las disoluciones químicas*

Para esta categoría se identifican, en el primer momento de ubicación, obstáculos epistemológicos asociados con la experiencia básica, según la cual el desarrollo del conocimiento, los prejuicios y las opiniones de los docentes son transmitidos al estudiante (Bachelard, 1971, citado en Castro *et al.*, 2013). Los términos relacionados con las disoluciones denotan formas macroscópicas que son representadas con una visión basada en la apariencia externa, en la que prevalece la explicación concreta de lo representado. Los estudiantes encajan en el nivel explicativo I, el cual se caracteriza por una imagen de materia continua y estática (Benarroch, 2000) con respecto a la tarea planteada: representa con dibujos los estados de agregación de la materia y las mezclas.

En este caso, los estudiantes están representando los diferentes estados de agregación y se limitan a lo que observan según su percepción. De igual manera, al representar los tipos de mezclas, los alumnos solo tienen en cuenta una visión concreta con poco o nulo nivel de abstracción, lo que revela, en un primer momento, un nivel de pensamiento macro que no corresponde con la formalización y la abstracción esperada en estudiantes de educación media.

Para finalizar este primer momento, se puede afirmar que la investigación tomó como punto de partida la exploración de los obstáculos epistemológicos de los estudiantes, específicamente la experiencia básica y obstáculo sustancialista (Bachelard, 1971). Así pues, se pudieron notar dificultades específicas en

representaciones, descripciones y explicaciones sobre los aspectos clasificatorios de las disoluciones químicas.

En el momento de desubicación se superaron parcialmente algunas de las limitaciones presentadas y asociadas con la visión macroscópica. A su vez, se observó poco nivel de abstracción ante la complejidad de las sustancias; sin embargo, se mantienen obstáculos de orden epistemológico relacionados directamente con la experiencia básica, es decir, lo que resulta de la interacción con el docente y el conocimiento en el momento de clase. Así, surge un nuevo obstáculo sustancialista en el que se juzga o define la materia por la sensación inmediata que da el objeto (ácido, suave, absorbente), dando características especiales que finalmente se desligan del conocimiento, donde no hay un análisis racional del fenómeno estudiado (Bachelard, 1971; Barón *et al.*, 2009).

En este sentido, en la actividad fundamentada en la descripción de las disoluciones según la cantidad de soluto disuelto (diluídas, saturadas, sobresaturadas) y su representación, las respuestas recurrentes estaban asociadas a la mera percepción sensorial, más que con el comportamiento de las disoluciones. Sobre esto, se pueden citar los siguientes testimonios tomados de los instrumentos de lápiz y papel:

[...] mientras más sal se le echa al agua, esta adquiere cada vez más color. (Est. 6)

[...] en la disolución I el agua está clara, en la disolución II el agua está un poco más oscura, en la disolución III el agua está completamente oscura. (Est. 5)

[...] en el primer vaso el agua es mucho más clara y en el 2 vemos que el agua oscurece un poco, en el 3 observamos que el agua es más oscura que en los vasos anteriores. (Est. 4)

Asimismo, la representación incluye algunos elementos que soportan la idea de cambios físicos, lo cual despeja el análisis profundo en cuanto a la compleja composición de las sustancias y, en particular, las diferencias que se presentan en los tipos de disoluciones según la cantidad de soluto disuelto. En ese sentido, todo se reduce a cambios en el color. En este momento intermedio se conservaron, aunque en menor proporción, obstáculos de orden epistemológico y surgieron dificultades procedimentales asociadas a la diferenciación entre los componentes de las disoluciones y los cambios físicos implícitos. También

hubo complicaciones en las descripciones de las clases de disoluciones; esto impide una generación adecuada de representaciones para el aprendizaje eficiente de las disoluciones (Nappa *et al.*, 2005).

Para el momento de reenfoque se superaron obstáculos epistemológicos y de procedimiento, los cuales tenían que ver básicamente con la experiencia primera. Estos se refieren a la caracterización y la relación entre los componentes de las disoluciones; a la diferenciación y representación de las clases de disoluciones; a la descripción del procedimiento planeado y ejecutado en la preparación de disoluciones, y por último, a la comparación entre los puntos de vista macroscópico y microscópico del proceso de disolución.

Al solicitar la diferenciación entre disoluciones saturadas y sobresaturadas con su respectiva representación, se obtuvieron con mayor regularidad representaciones en dibujos. Cuando se les pidió explicar macroscópicamente y microscópicamente el fenómeno de dilución de tinta en agua, se observan recurrencias representadas en las siguientes respuestas:

Que la macroscópica es la que ves desde afuera, como se disuelve la tinta y la microscópica es desde adentro, las moléculas que conforman las sustancias. (Est. 3)

La diferencia que encuentro es que macroscópicamente se ve una mezcla homogénea y microscópicamente se ven partículas. (Est. 2)

En una se diferencian las partículas, desde el punto de vista microscópico y en la otra solo se ve la tinta que se esparce, estos dos no son iguales de ninguna forma. (Est. 1)

Según lo anterior, los aprendizajes de los estudiantes en esta categoría dan cuenta de un progreso paulatino en lo correspondiente con los niveles explicativos de la materia, lo que revela diferencias entre los datos obtenidos en los tres momentos. De esta manera, se pasa del nivel explicativo I, caracterizado por una imagen estática y visión macroscópica de la materia, al nivel explicativo III, en el cual las diferentes formas de la materia tienen una estructura particulada y se puede notar la intención de explicar la composición de las sustancias en términos microscópicos. De acuerdo con lo expresado, los estudiantes alcanzan el nivel explicativo III, en el cual la materia está formada por partículas. Estas partículas son invisibles, incluso a nivel microscópico y ya no están, por lo tanto, relacionadas con la percepción (Benarroch, 2000).

### *Regulación metacognitiva*

En el análisis de la categoría principal, correspondiente al diagnóstico metacognitivo (momento de ubicación), se puede afirmar que los estudiantes no realizan acciones de planeación, monitoreo y evaluación conscientes sobre los procesos. Esto es posible verlo porque sus respuestas se ajustan más a conseguir un objetivo superficial, inclusive sus argumentos están alrededor del cumplimiento de la actividad como un compromiso académico dado, y no como un proceso de reflexión referido a la naturaleza de las acciones y decisiones necesarias para abordar situaciones-problemas (Tamayo, 2006).

Como parte del análisis metacognitivo inicial de los estudiantes, se presentaron procesos de planeación muy incipientes. En el monitoreo no se evidenciaron acciones claras de supervisión de la tarea planteada, y en la evaluación se encontraron elementos relacionados con la respuesta, en su mayoría. Este aspecto demuestra que los estudiantes no son conscientes de los procesos metacognitivos en estas etapas iniciales (Tamayo, 2006).

La intervención didáctica en el momento intermedio (desubicación) contribuyó, en primera medida, para que en la planeación se presentaran mejoras en las estrategias planteadas y concretadas mediante planes más y mejor elaborados (tres o más pasos). Asimismo, se presentó una correspondencia entre las estrategias de monitoreo y las de planeación, puesto que es posible notar que la proposición de objetivos implica la atención selectiva de la tarea y un interés manifiesto de revisar dichos objetivos para verificar su cumplimiento. Todo esto favorece la autonomía del aprendizaje (Brown, 1987, citado en Buitrago y García, 2012).

Sobre la evaluación, es importante decir que, en la mayoría de los casos, los estudiantes reconocieron en su proceso de aprendizaje la adquisición de nuevos conocimientos; sin embargo, les faltó especificar en sus respuestas los conceptos aprendidos y mencionar qué aspectos de la actividad le fueron provechosos. Con la intervención didáctica se consiguieron mejoras en las estrategias planeadas y en el monitoreo, traducidas en planes más elaborados y en el planteamiento y revisión de objetivos que condujeron a la atención selectiva de la tarea. No obstante, los estudiantes no evaluaron los resultados de las estrategias seguidas en términos de eficacia (Brown y Sullivan, 1987).

En el último momento de la investigación (reenfoque), es posible afirmar que se pudo constatar un progreso en las estrategias de planeación, para así lograr avances importantes en el desarrollo de la atención selectiva en la tarea, como también en cierto grado de conciencia de los estudiantes ante dichos procesos. Asimismo, se notaron avances que relacionaron el monitoreo y la planeación que, de acuerdo con Mazario *et al.* (2009), se identifican cuando los estudiantes logran descomponer los objetivos en tareas de realización progresiva, los cuales favorecen el desarrollo de habilidades para resolver el problema dado.

En la tabla 10.3 se da cuenta de los planes elaborados por algunos de los estudiantes de la muestra en los momentos de ubicación, desubicación y reenfoque. En estas etapas se pueden apreciar las estrategias de planeación usadas en el desarrollo de la actividad.

En esta parte final, el total de los estudiantes manifiestan que aprendieron algo de la actividad; en la explicación de sus respuestas dan a entender que tuvieron pocas equivocaciones, además reforzaron sus conocimientos sobre las disoluciones, lo cual favoreció su proceso de aprendizaje y autorregulación. Las anteriores respuestas, en términos de eficacia de las estrategias, satisfacen parcialmente el indicador propuesto dentro de la evaluación metacognitiva.

Tabla 10.3. Comparación de los planes elaborados en los tres momentos

<b>Momento de ubicación. Planeación. Indicador: los planes que se plantean son simples (menos de tres pasos)</b>	<b>Momento de desubicación. Planeación. Indicador: los planes son elaborados (tres o más pasos)</b>	<b>Momento de reenfoque Planeación. Indicador: los planes son elaborados (tres o más pasos)</b>
Est. 2: "1. Leer, 2. Dar solución"	Est. 2: "1. Leer, 2. Analizar, 3. Responder, 4. Preguntarle al docente si está bien"	Est. 2: "1. Concentrarme al leer, 2. Analizar bien las preguntas, 3. Acordarme de cada procedimiento, 4. Realizar la tarea, 5. Revisar"
Est. 3: "1. Le explicábamos a un compañero, 2. El resolvía la situación y 3. Por último nos poníamos de acuerdo"	Est. 3: "1. Leer, 2. Preguntarle al docente 3. Analizar las preguntas, 4. Desarrollarlas"	Est. 3: "1. Leer la pregunta, 2. Analizar con claridad la pregunta para llegar a una respuesta clara, 3. Respondo la pregunta, 4. Reviso la respuesta para estar seguro"
Est. 6: "1. Leer bien las preguntas, 2. Responder de manera precisa a lo preguntado, 3. Tener disposición"	Est. 6: "1. Leer las preguntas, 2. Tener disposición, 3. Responder las preguntas, 4. Rectificar las respuestas"	Est. 6: "1. Leer, 2. Verificar si podemos resolver el tema, 3. Investigar, 4. Responder, 5. Revisar si todo está bien"

Fuente: elaboración propia.

De esta manera, casi la totalidad de la muestra indicó y enumeró los pasos que siguieron para hacer las actividades con un orden lógico al atender a estrategias de secuenciación, con las cuales se consiguió la preparación de planes elaborados. Al comparar los planes elaborados por algunos de los casos se nota el progreso en las acciones de planeación, gracias a las estrategias metacognitivas que influyeron positivamente en el aprendizaje de los estudiantes, como se dilucidó en la tabla 10.3.

En el momento final se buscaba evaluar el efecto de la regulación metacognitiva en el aprendizaje de las disoluciones químicas. Al comparar los planes elaborados se nota el progreso en las acciones de planeación y monitoreo; gracias a las estrategias metacognitivas, los estudiantes modificaron su ejecución para verificar, rectificar y revisar las estrategias seguidas por Brown y Sullivan, citados en Tamayo (2006). En la evaluación metacognitiva se siguieron presentando dificultades para analizar objetivamente la eficacia de las planeaciones y los criterios para mejorar el impacto de las estrategias implementadas.

## **Conclusiones**

Se identificaron y superaron parcialmente dos tipos de obstáculos epistemológicos: la experiencia primera y el obstáculo sustancialista, asociados con los aspectos básicos de las disoluciones. El modelo de intervención implícito en la unidad didáctica produjo un progreso gradual en el proceso de aprendizaje de las disoluciones químicas, así como en desarrollo de habilidades de regulación metacognitiva relacionadas con la planeación, el monitoreo y, en menor medida, con la evaluación. Es importante resaltar que las estrategias de regulación metacognitiva permitieron el avance en los niveles explicativos de los estudiantes sobre naturaleza corpuscular de la materia, durante el estudio de las disoluciones químicas.

La aplicación de la regulación metacognitiva en el aula para el aprendizaje de las disoluciones químicas potencia en el estudiante el control sobre su propio aprendizaje mientras aborda situaciones-problemas. A su vez, le permite al docente conocer los procesos de aprendizaje de sus estudiantes con relación a la ciencia enseñada; a partir de tal reconocimiento se ajusta la estrategia de enseñanza.

## Referencias

- Armengol, L. (2007). Los protocolos de pensamiento en voz alta como instrumento para analizar el proceso de escritura. *Revista Española de Lingüística Aplicada*, 20, 27-36.
- Bachelard, G. (1971). *La formación del espíritu científico*. Siglo XXI.
- Barón, G., Padilla, J., Guerra, J. y Martí, J. (2009). Obstáculos epistemológicos en la labor del docente neogranadino. *Revista Educación y Desarrollo Social*, 3(2), 86-99.
- Benarroch, A. (2000). El desarrollo cognoscitivo de los estudiantes en el área de la naturaleza corpuscular de la materia. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2), 235-246.
- Brown, D.A, y Sullivan, A, P. (1987). Enhancing instructional time through attention to metacognition. *Journal of Learning Disabilities*, 20(2), 66-75.
- Buitrago, S. y García, L. (2012). Procesos de regulación metacognitiva en la resolución de problemas matemáticos. En G. García (Ed.), *Memorias del 12.º Encuentro Colombiano de Matemática Educativa* (pp. 548-559). Gaia.
- Cadavid, V. (2014). *Relaciones entre la metacognición y el pensamiento viso-espacial en el aprendizaje de la esteoquímica* [tesis de maestría, Universidad Autónoma de Manizales, Colombia].
- Campanario, J. y Otero, J. (2000). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2), 155-169.
- Castro, L., Hernández, D. y Padilla, J. (2013). *Una mirada de los obstáculos epistemológicos desde Gaston Bachelard* [tesis de pregrado, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia].
- Cisterna, F. (2005). Categorización y triangulación como procesos de validación del conocimiento en investigación cualitativa. *Theoria*, 14(1), 61-71.
- Furió-Mas, C. y Domínguez-Sales, C. (2007). Problemas históricos y dificultades de los estudiantes en la conceptualización de sustancia y compuesto químico. *Enseñanza de las Ciencias*, 25, 241-258.
- García, S. y Vanella, L. (2008). Del dato a la teoría, por los estudios de caso. Normas y valores en el salón de clases. *Métodos Cuantitativos Aplicados*, 2, 102-113.
- Mazario, I., Sanz, T. y Hernández, R. (2009). *Reflexiones sobre un tema polémico. La resolución de problemas*. Editorial Universitaria.
- Nappa, N., Insausti, M. y Sigüenza, A. (2005). Obstáculos para generar representaciones mentales adecuadas sobre la disolución. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(3), 344-363.

- Rojas, R. (2003). *Guía para realizar investigaciones sociales*. Plaza y Valdés.
- Schraw, G. y Moshman, D. (1995). Metacognitive theories. *Educational Psychology Review*, 7(4), 351-371.
- Tamayo, O. (2006). La metacognición en los modelos para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. En A. Martínez y O. Riveros (Eds.), *Los bordes de la pedagogía: del modelo a la ruptura* (pp. 275-306). Universidad Pedagógica Nacional.
- White, B., Frederiksen, J. y Collins, A. (2009). The interplay of scientific inquiry. More than a marriage of convenience. En D. J. Hacker, J. Dunlosky y A. C. Graesser (Eds.), *Handbook of metacognition in education* (pp. 175-206). Taylor & Francis e-Library.



## Capítulo 11. Innovación con V de Gowin: una apuesta para el aprendizaje de conceptos científicos\*

Beatriz Eugenia Mosquera Machado

Los estudiantes de séptimo grado de la Escuela Normal Superior El Jardín de Risaralda presentan dificultad para comprender el concepto de cambio químico. Este problema se hace evidente en la memorización de datos y hechos; la descripción de procesos experimentales de manera literal; también a los estudiantes se les dificulta dar razones por las cuales ocurre el fenómeno en el proceso experimental. Este capítulo tiene como objetivo identificar la incidencia de la V de Gowin en la comprensión del concepto de cambio químico en los participantes de la investigación. Esta herramienta está orientada a evidenciar las comprensiones de los estudiantes mediante procesos experimentales. La metodología de investigación estuvo centrada en un abordaje metodológico mixto interpretativo, con un enfoque de estudio de caso y un diseño cuasiexperimental; a partir de allí se conformaron dos grupos de estudiantes de manera aleatoria: el grupo de tratamiento y receptor de la propuesta, y el grupo-control con el que se desarrolló el concepto de manera tradicional. La investigación se basó en los planteamientos de Solsona e Izquierdo (1999), que afirman que la construcción del concepto cambio químico en la educación secundaria es uno de los objetivos centrales por abordar durante los procesos de aprendizaje y de interpretación de los fenómenos químicos. En cuanto a la V de Gowin, Nicolalde y Herrera (2012) explicitan la potencialidad y el impacto del uso de los diagramas V en el proceso de enseñanza y aprendizaje a partir de contextos reales, para lo cual se emplean instrumentos de mediación metacognitiva que favorecen el desarrollo de habilidades de indagación científica y la construcción del

\* Para citar este capítulo: <http://doi.org/10.51573/Andes.9789587985061.9789587985078.11>

conocimiento para un aprendizaje significativo. Los resultados de esta investigación demostraron que la implementación de la V de Gowin evidencia mayor comprensión del concepto de cambio químico del grupo receptor en comparación con el grupo-control.

## Introducción

El presente trabajo de innovación aborda la comprensión del concepto de cambio químico a partir de la V de Gowin, con el propósito de superar las dificultades que tienen los estudiantes para aprender comprensivamente los conceptos, así como los maestros para transformar las prácticas de enseñanza. Para ello, se tienen en cuenta los procesos de caracterización de las ideas previas de los estudiantes; el diseño y la implementación de unidades problemáticas investigativas mediada por la V de Gowin, y la evaluación y el análisis de resultados, a fin de lograr la comprensión de los conceptos científicos en las ciencias naturales.

La V de Gowin fue creada por Bob D. Gowin (1981) como una estrategia para resolver un problema o para entender un procedimiento. Esta estrategia ha sido aplicada en educación básica, educación media y en la universidad. Gowin propone la V como una herramienta para ser empleada al analizar críticamente un trabajo de investigación, o para entender un experimento en el laboratorio, en una enseñanza dirigida para promover un aprendizaje significativo, así como “extraer” el conocimiento de tal forma que pueda ser utilizado en la resolución de problemas (Herrera e Izquierdo, 2017; Sánchez *et al.*, 2005). Las siguientes son algunas investigaciones que muestran el impacto en el aprendizaje de los estudiantes y el carácter estratégico de enseñanza de los maestros.

De acuerdo con Herrera e Izquierdo (2017), los diagramas V están ideados como una herramienta heurística que interrelaciona el saber, el saber hacer y el saber ser, es decir, los contenidos relacionados con los conceptos, los procedimientos y las actitudes (competencias científicas). Además, permite integrar el conocimiento cotidiano con el científico, de ahí que sea un recurso significativo. (Ausubel, 1983; Novak *et al.*, 1988; Ontoria, 2001; Sánchez, 1999).

Por su parte, Izquierdo (1994) explicita la flexibilidad de la V de Gowin con los procesos de construcción de conocimiento científico escrito en el aula, lo cual revela los diversos usos que puede tener en la clase de ciencias, tanto en la enseñanza básica como en los niveles superiores. Sobre todo, muestra su

importancia en los aprendizajes de los conceptos, lo que lleva a los estudiantes hacia la interpretación de lo que están haciendo. Habría que precisar que la V es un instrumento para ayudar a pensar acerca de los fenómenos en el mundo, sobre el propio aprendizaje y sobre la estructura del conocimiento.

Finalmente, Ramos (2009) precisa que esta estrategia es potente en cuanto a mediación metacognitiva en educación secundaria, pues mejora los procesos relacionados con la preparación, desarrollo y evaluación de los trabajos prácticos del laboratorio de química. De igual manera, concluye que el uso de la V de Gowin propicia el accionar y la autorregulación del pensamiento reflexivo antes, durante y después de realizadas las actividades experimentales.

Con respecto al concepto de cambio químico, se muestra que, históricamente, hubo que superar numerosas dificultades para llegar a introducir las definiciones operacionales de sustancia, compuesto y reacción química (cambio sustancial), en el marco del modelo empirista del siglo XVIII. Asimismo, esta dinámica persistió en las definiciones ontológicas de esos conceptos en el modelo atómico clásico de la materia del siglo XIX. Por otra parte, algunas investigaciones sobre el concepto de cambio químico, como la expuesta por Caamaño (1998), lo consideran un tema central de la investigación en didáctica de la química, en la cual se estudian las concepciones de los estudiantes sobre el cambio químico y las propuestas didácticas para su enseñanza.

Al revisar algunas investigaciones que profundizaron en el concepto de cambio químico y para dar rigor a la investigación realizada, se precisa lo siguiente: Reyes (2018) concluyó que los estudiantes lograron identificar algunos cambios que ocurrieron en los materiales de su entorno rural, así como clasificarlos en físicos o químicos con base en la formación de nuevas sustancias; esto dio paso a la apropiación y la reflexión de su proceso de aprendizaje. En cuanto a los resultados, Martínez (2017) precisó que el aprendizaje activo y los contextos cotidianos de enseñanza son efectivos para promover el aprendizaje significativo de la química en la educación secundaria. En este sentido, Solsona y Martín del Pozo (2004) reflexionaron sobre los modelos de cambio químico que elabora el alumnado durante el proceso de iniciación en la química; además, se describe un modelo escolar de cambio químico.

Desde esta perspectiva se evidencia que la implementación de metodologías para la comprensión del concepto de cambio químico es débil al interior del aula de clases. Se visualiza en los docentes dificultad para la transformación

de las prácticas de enseñanza que promuevan la motivación y la comprensión conceptual en los estudiantes, lo cual dificulta el aprendizaje cuando se utilizan métodos de enseñanza basados en la repetición de información alojada en los libros de texto.

El presente trabajo es relevante para la institución que, por ser formadora de maestros, posibilita alternativas de mejoras significativas en las prácticas de enseñanza de los maestros y en los aprendizajes de los estudiantes. Desde el punto de vista teórico y práctico, esta apuesta resulta ser importante, dada la diversidad de posturas, entre las que se encuentran la V de Gowin, que desde lo epistemológico posibilita identificar las comprensiones que tienen los estudiantes del cambio químico. Para ello, se tienen en cuenta la evolución histórica del concepto; las situaciones de aprendizajes; las experiencias de laboratorios; los talleres y la evaluación para identificar las comprensiones de los estudiantes, y los modelos interpretativos que proporciona la ciencia y sus propias concepciones alternativas (Tamayo, 2001).

En consecuencia, se pretende identificar cómo la V de Gowin incide en la comprensión del concepto de cambio químico en estudiantes de séptimo grado de la Escuela Normal Superior El Jardín de Risaralda, a través del diseño e implementación de una unidad problémica investigativa (para lo cual se retoma la secuenciación del aprendizaje propuesta por Jorba y Sanmartí, 2000). A la vez, se explicita la siguiente hipótesis: al implementar la V de Gowin se puede mejorar la comprensión del concepto de cambio químico de los estudiantes inscritos en el nivel educativo especificado antes.

## **Metodología**

En este apartado se explicita el tipo de enfoque y el diseño de la presente investigación, teniendo en cuenta la unidad de trabajo, las técnicas y los instrumentos de recolección de la información, así como la operacionalización de las variables y el proceso llevado a cabo para analizar la información.

### ***Tipo de investigación***

La presente investigación sigue el estudio de casos, que implica un proceso de recolección, análisis y vinculación de datos, ya sean cuantitativos o cualitativos,

para profundizar en el fenómeno estudiado y así responder al planteamiento del problema (Hernández y Torres, 2018). Se busca establecer el comportamiento estadístico de cada una de las categorías de la V de Gowin durante la aplicación de las diferentes actividades de la intervención didáctica. Desde el punto de vista cualitativo, implica describir y asimilar la evolución de las comprensiones de los estudiantes acerca del concepto de cambio químico durante el proceso de aplicación de la unidad problémica investigativa. En este sentido, se busca no solo la interpretación de los datos numéricos, sino que también conlleva la obtención de una mejor evidencia y la comprensión del fenómeno de estudio a través del análisis descriptivo.

### *Diseño de la investigación*

El diseño de esta investigación está orientado a realizar un análisis estadístico mediante el programa Excel para analizar las percepciones de los estudiantes, de acuerdo con el pretest y postest en cada una de las categorías de la investigación V de Gowin y el concepto de cambio químico. Se tienen como fuentes las respuestas escritas de los estudiantes para determinar cuáles son los niveles de desempeño en cuanto a la comprensión del concepto de cambio químico desde la V de Gowin y su percepción sobre esta metodología de aprendizaje. El componente comprensivo implica el intercambio de significaciones para acceder al sentido de dichas prácticas contextualizadas, para lo cual se centra el interés en lo particular referido a partir de situaciones cercanas a la vida cotidiana.

### *Unidad de análisis*

La unidad de análisis está conformada por los niveles de comprensión del concepto de cambio químico y de la V de Gowin presentes en los estudiantes. Según Flavell (1979), es la habilidad para monitorear, evaluar y planificar nuestro propio aprendizaje.

### *Operacionalización de la unidad de análisis*

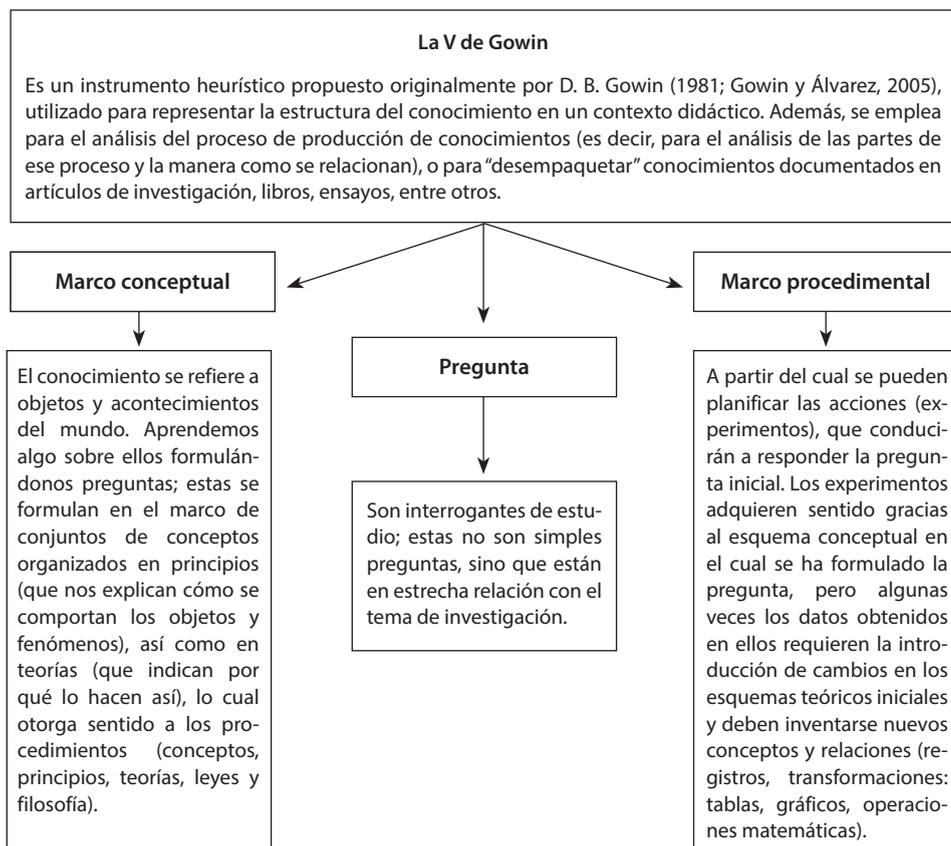
De acuerdo con los fundamentos teóricos y el marco de antecedentes indagados en este proceso investigativo, se establecen unas categorías que sirven de

guía para el diseño de los instrumentos de recolección de la información, como se detallan a continuación, presentados a través de las variables.

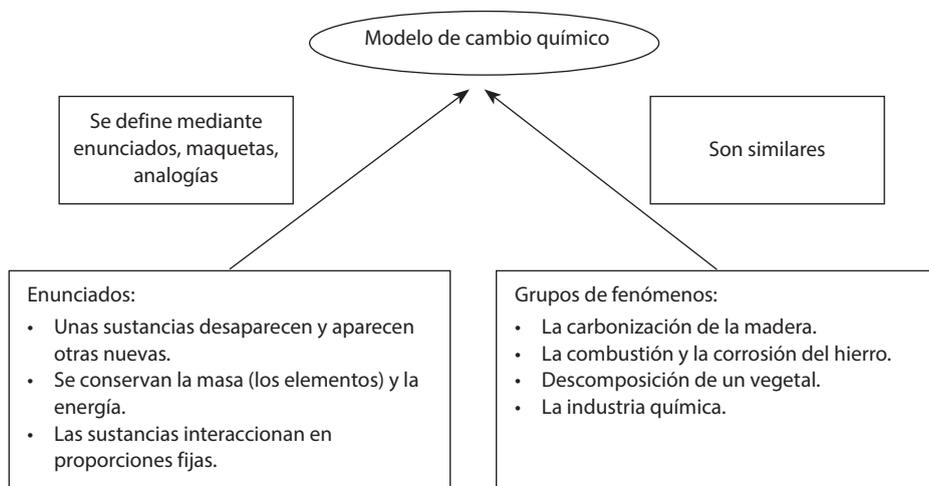
### Variables

Para la presente investigación se tienen en cuenta dos tipos de variables: la independiente, que es la V de Gowin, y la dependiente, que involucra la comprensión del concepto de cambio químico y la percepción de la metodología de aprendizaje. A continuación, se presentan las figuras 11.1 y 11.2, que corresponden a cada una de las variables.

Figura 11.1. **Variable independiente: V de Gowin**



Fuente: adaptado de Gowin y Álvarez (2005).

Figura 11.2. **Variable dependiente: la comprensión del concepto de cambio químico**

Fuente: adaptado del modelo de cambio químico de Izquierdo (2006).

La variable independiente, en este caso la V de Gowin, propone resolver una situación experimental contextualizada con el fin de articular el aspecto conceptual con el procedimental, mediados por una pregunta investigativa.

### *Unidad de trabajo*

Se trató de un diseño cuasiexperimental para identificar cómo la innovación con la V de Gowin potencia la comprensión del concepto de cambio químico. A partir de este instrumento de diagnóstico experimental, se buscó que los estudiantes realizaran un proceso experimental para diagnosticar su desempeño. Estas categorías de desempeño se clasificaban en bajo, básico, alto y superior, las cuales fueron tenidas en cuenta para seleccionar los estudiantes según los desempeños del periodo en la asignatura de ciencias naturales. Así, se organizaron dos grupos: uno de tratamiento, conformado por veintiún estudiantes, y el grupo-control, conformado por diecinueve estudiantes, ambos pertenecientes al séptimo grado. El grupo de tratamiento recibió la intervención a través del diseño de una unidad problémica investigativa mediada por la V de Gowin, para lo cual se retomó la secuenciación de actividades del aprendizaje propuesta por Jorba y Sanmartí (2000). El grupo-control, por su parte, recibió el mismo contenido a través de la metodología tradicional.

### *Método, instrumentos y procedimientos para la recolección de la información*

Entre el método, los instrumentos y los procedimientos de recolección de la información, se tuvieron en cuenta los siguientes.

#### *Método: estudio de caso*

Dado el contexto de esta investigación y la unidad problémica investigativa implementada, se optó por la metodología de estudio de caso único descriptivo-analítico. Esta permitió asumir que todo el grupo de estudiantes de séptimo grado aportara para la construcción del caso, a través de la problemática y situación de aprendizaje.

De acuerdo con Hernández y Torres (2018), los estudios de caso son aquellos que acuden a procesos de investigación cuantitativa, cualitativa o mixta; permiten analizar el fenómeno en un contexto real, recoger los discursos completos del sujeto para indagarlos y tener un conocimiento más amplio sobre lo estudiado. De esta manera se puede interpretar, comprender y responder al planteamiento del problema, así como probar hipótesis y desarrollar algunas teorías. Por otra parte, Stake (1994) define el estudio de caso único como aquel que centra su análisis en un asunto particular; por lo tanto, permite confirmar, cambiar, modificar o ampliar el conocimiento del objeto de estudio. En este sentido, el estudio de caso único en el entorno educativo posibilita analizar y profundizar la potencialidad didáctica de la unidad problémica investigativa, tanto en el aprendizaje como en la enseñanza, orientada a las comprensiones de los estudiantes sobre el concepto de cambio químico.

#### *Instrumentos*

Se utilizaron para la recolección de la información los siguientes instrumentos, durante cada una de las actividades de la secuenciación de la unidad problémica investigativa:

- Pretest y postest: orientados a identificar los modelos iniciales y finales de los estudiantes con respecto al concepto de cambio químico y sus percepciones frente a la V de Gowin.

- Producciones de los estudiantes: estas se obtuvieron a través de procesos experimentales, actividades desarrolladas en la V de Gowin, en actividades escritas, con el fin de evidenciar la progresión en la comprensión de los procesos desarrollados en la unidad problémica investigativa.
- Bitácora investigativa: instrumento que permitió evidenciar las comprensiones de los estudiantes sobre el concepto de cambio químico a partir del diario científico. Esta bitácora está categorizada por procesos reflexivos: *¿Mis aprendizajes a través de este proceso investigativo fueron...? ¿Qué dificultades se presentaron? ¿Cómo las pude resolver? Mis reflexiones son las siguientes... Los comentarios de mis padres son los siguientes...*, entre otros.
- Diario de campo: registro y reflexión de la profesora con respecto a los aprendizajes de los estudiantes. De acuerdo con de Mejía (2015), citado en Villarreal y Sánchez (2018), “en él se hace la primera selección y organización de la información [...] hace el ejercicio de observar y realizar los primeros análisis” y “construye un orden secuencial del día a día” (p. 52). En este se acumula la reflexión pedagógica consecuente con cada intervención para su aplicación en el mejoramiento de procesos. De igual manera, se categorizan los procesos y se construye un híbrido para su análisis de acuerdo con los planteamientos de Perrenoud (2007) y Zalbalza (2011): descriptivo, flexible, autocrítico, contextualizado, sensitivo y emocional.

### *Procedimientos para la recolección de información*

Una vez ha sido presentada la unidad problémica investigativa a la muestra de estudiantes participantes, a quienes se exponen los objetivos y procedimientos que se realizarán durante el proceso, se implementan las actividades de la secuenciación y se recogen las producciones de los estudiantes. Estos, a su vez, se convierten en los insumos para la caracterización de la situación de estudio. En esta implementación, los estudiantes efectúan procesos de autoevaluación y autorregulación de sus procesos de aprendizaje al responder cuestionarios metacognitivos (Campanario y Moya, 1999), los cuales sirven como material para el análisis de los resultados de la propuesta (este tipo de instrumentos se

emplean a lo largo de la intervención, luego de la aplicación de cada actividad de la unidad problémica investigativa).

### *Actividades de intervención*

De acuerdo con la operacionalización de la unidad de análisis, las actividades didácticas están centradas en situaciones que se proponen al estudiante en un contexto en el cual debe hacer uso de sus conocimientos del concepto de cambio químico (mezclas y sus clases, elemento, compuesto, entre otros). Así, se parte de mirada cualitativa para explicar las situaciones de aprendizajes planteadas.

Las intervenciones de las actividades didácticas se realizaron en 4 fases: inicial; diseño; aplicación, y la evaluación y análisis, como se resume en la tabla 11.1.

#### *Fase 1: inicial*

En esta fase se realiza la categorización de los estudiantes por niveles de desempeño bajo, básico, alto y superior, según informe académico de la asignatura de Ciencias Naturales.

Al mismo tiempo se identificó la problemática central referida a la dificultad para la comprensión del concepto de cambio químico y, con base en ello, se diseñaron actividades didácticas preliminares de la unidad problémica investigativa.

#### *Fase 2: diseño*

En esta se tuvieron en cuenta dos instrumentos: un test (pretest 1) relacionado con la V de Gowin y otro para el concepto de cambio químico (pretest 2). Estas herramientas se usaron para identificar las ideas previas que tienen los estudiantes de séptimo grado. Con respecto a la V de Gowin, se utilizó el pretest 1 que se compuso de un cuestionario de nueve preguntas que empleaba el Knowledge and Prior Study Inventory (KPSI). El KPSI es un instrumento para la regulación del proceso de aprendizaje y representa un cuestionario de autoevaluación del

Tabla 11.1. **Secuencia de actividades de la unidad problémica investigativa**

<b>Actividades de la secuenciación</b>	<b>Procesos experimentales y evaluación formativa</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Insumos/herramientas de análisis</b>
Exploración de modelos iniciales	1. Cuestionario KPSI. 2. Proceso experimental: leche y limón. 3. Planteamiento de situaciones-problemas.	Selección de la muestra. Caracterización de modelo inicial.	Cuestionario KPSI. Cuestionarios de cada actividad.
Introducción de nuevos conocimientos	1. Conceptualización: búsqueda referenciada de la información acerca de los conceptos por abordar en las intervenciones de aula. 2. Acción pedagógica sobre las mezclas. 3. Proceso experimental: elaboración de yogurt casero.	Apropiación inicial de conceptos en trabajo en equipo, a través de la formulación de situaciones-problemas. Elaboración de la pregunta investigativa e hipótesis.	Cuaderno de investigación. Bitácoras de investigación. V de Gowin. Diseño de rúbrica.
Estructuración y síntesis	Actividades teóricas-prácticas: construcción de una V de Gowin.	Elaboración de una V de Gowin preliminar, a partir de sus comprensiones.	Procedimientos de solución de situaciones. Cuaderno de investigación. Bitácoras de investigación (diario científico).
Aplicación de conocimientos a nuevas situaciones	1. Identificación de problemáticas. 2. Cuestionario final (verificación de aprendizajes). 3. Feria de la ciencia y la creatividad. Muestra pedagógica.	Aplicación de los aprendizajes a situaciones más complejas. Valoración de la comprensión de los estudiantes.	Procedimientos aplicados a la solución de problemáticas contextualizadas. Análisis del trabajo realizado durante la intervención y contrastación con el KPSI. Resultados de la feria de la ciencia y la creatividad, así como de la muestra pedagógica.

Fuente: elaboración propia.

alumnado, que permite de una manera rápida y fácil efectuar la evaluación inicial de las ideas previas del alumno (Arellano *et al.*, 2008).

Para conocer las ideas previas de los estudiantes en cuanto al cambio químico, se aplicó el pretest 2 conformado por un cuestionario de diez preguntas, tomado y adaptado del artículo de López (2009). Después de analizados el

pretest 1 y pretest 2, se procedió al diseño de la unidad problémica investigativa, conocida por algunos autores como unidad didáctica.

#### *Diseño de la unidad problémica investigativa*

El diseño de la unidad problémica investigativa mediada por la V de Gowin se desarrolló teniendo en cuenta la siguiente estructura:

- Resumen
- Planificación docente
- Situación-problema
- Pregunta investigativa
- Hipótesis
- Contenidos desde lo procedimental, conceptual y actitudinal
- Objetivos: general y específicos
- Aprendizajes esperados
- Grado
- Tiempo
- Materiales
- Estándar
- Logro
- Acciones de pensamiento y producción concreta
- Competencia científica (uso comprensivo del conocimiento científico)
- Estrategia

La anterior es la secuenciación de actividades de aprendizaje propuesta por Jorba y Sanmartí (2000). Estas acciones fueron mediadas por la V de Gowin, lo cual implicó:

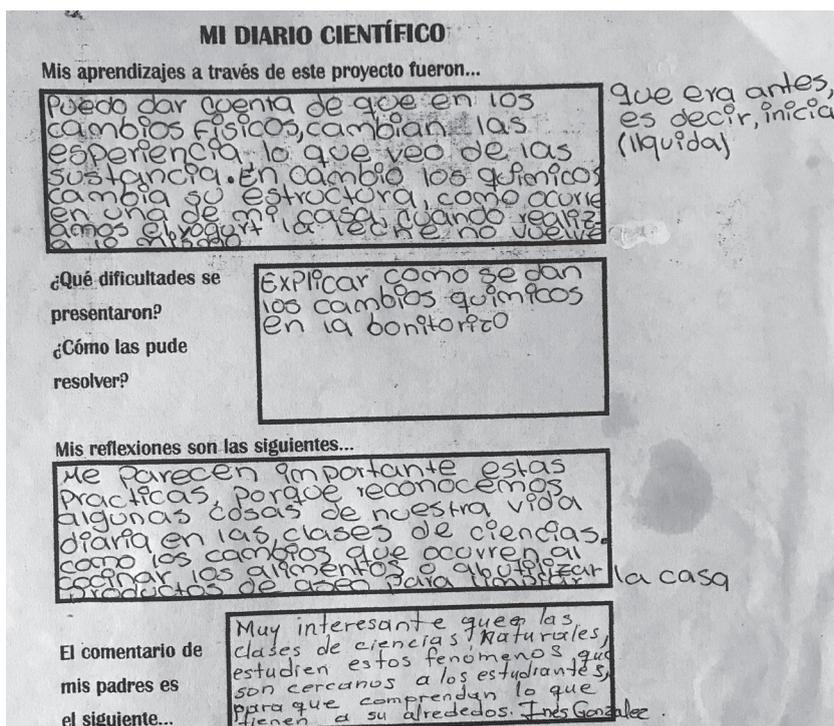
- Exploración de modelos iniciales
- Introducción de nuevos conocimientos
- Estructuración y síntesis
- Aplicación de transferencia de conocimientos
- Evaluación articulada en cada paso: diagnóstica, formativa y sumativa

Cada una de las actividades de la secuenciación de aprendizaje contiene talleres, actividades individuales y grupales, así como una experiencia demostrativa problémica. Durante esta fase se utilizó el instrumento de la bitácora de investigación, que permitía llevar el registro de la información recogida a través del diario científico (véase la imagen 11.1), el cual incluye:

- Aprendizajes
- Dificultades presentadas y cómo las pudo resolver
- Reflexiones
- Comentarios de los padres

Como parte del análisis de una situación-problema, los estudiantes construyen su diario científico con respecto al proceso experimental realizado para articular el concepto de cambio químico, la formulación de la pregunta, la

Imagen 11.1 **Diario científico**



Fuente: datos obtenidos de la investigación. Fotografía del autor.

hipótesis, las variables, la descripción del proceso experimental y las conclusiones. Por otra parte, los diarios de campo, ligados a la observación participante, son los instrumentos de registro de datos del investigador de campo en los que se anotan las observaciones de forma completa, precisa y detallada (Taylor y Bogdan, 1987; véase la imagen 11.2). Este instrumento fue utilizado por la profesora durante el proceso de intervención, categorizado a partir de los planteamientos de la práctica reflexiva de Perrenoud (2007) de la siguiente manera:

- **Descriptivo:** narra los hechos sucedidos sin juzgarlos.
- **Flexible:** se adapta a los cambios, modifica su actuación de acuerdo con las dinámicas del aula.
- **Autocrítico:** cuestiona su práctica, la autoevalúa; hace seguimiento a sus procesos.
- **Sensitivo:** manifiesta sus emociones y sentimientos.
- **Atiende las emociones de los estudiantes:** está atento a la dimensión afectiva de los estudiantes.

Este diario de campo se articula con el instrumento de registro de observación de la clase, que utiliza preguntas orientadoras con base en todos los procesos que ocurren en el aula.

Imagen 11.2. **Diario de campo**

DIARIO DE CAMPO – PROCESO DE ACOMPAÑAMIENTO			
Área: C. Naturales y Ed. Ambiental		Asignatura: Ciencias Naturales	
Institución Educativa: Escuela Normal Superior “El Jardín de Risaralda		Municipio: Pereira	Departamento: Risaralda
Docente: Beatriz Eugenia Mosquera Machado		Sesión: 1	Actividad 1 Experiencia leche y limón.
Fecha	Descripción	Lecciones aprendidas y/oportunidades de mejora	
1 <sup>o</sup> semana Mayo	Los estudiantes estaban organizados en equipos de trabajo según los tipos de aprendizaje. Iniciamos realizando un proceso experimental con materiales cotidianos como la leche y el limón.  Se entregan los materiales a los estudiantes y éstos deben construir una ruta, sobre cómo realizarían un proceso experimental con los materiales entregados para ello utilizaron la V de Gowin. Mientras los estudiantes estaban tomando datos	Las actividades problemáticas de aula se convirtieron en una propuesta para que reflexionaran por primera vez en que no era necesario memorizar temas, sino, aprendizaje situado logran comprender los conceptos; de los trabajos individuales pasaron a conformar colectivos y a fortalecer el trabajo en equipo, tímidamente empezaron a socializar sus producciones y aprendizajes.  <b>Reflexiones e inferencias:</b> las experiencias de aula contextualizadas potencian aprendizajes y motivación hacia la ciencia. Si bien desde la V de Gowin, se han presentado dificultades al inicio del proceso, a lo largo de la intervención y desarrollo de la UPI, se pueden evidenciar progresos en sus aprendizajes.	
		Comentado [BEMM1]: Descriptivo Contextualizado Actualizado Rígido Continúo	

Fuente: datos obtenidos de la investigación.

### *Fase 3: aplicación*

La unidad problémica investigativa se desarrolló con todos los estudiantes, la cual contiene los conceptos de cambio físico y cambio químico, ambos necesarios para iniciar la profundización de este último concepto científico. Para recolectar la información, se diseñaron los siguientes cuestionarios: el cuestionario inicial (pretest) se aplicó antes de empezar la intervención a todos los estudiantes de séptimo grado, para identificar las ideas previas del grupo acerca de la V de Gowin y del concepto de cambio químico.

Luego, los alumnos se dividen en dos conjuntos de manera intencionada según los desempeños bajo, básico y alto: el grupo-control constituido por los estudiantes que trabajaron con la metodología tradicional, y el grupo de tratamiento formado por los estudiantes a los que se les aplica la unidad problémica investigativa, mediada por la V de Gowin y siguiendo lo propuesto por Jorba y Sanmartí (2000).

En la primera actividad de la secuenciación de actividades de aprendizaje, “exploración de ideas”, se utilizó una V de Gowin adaptada por Palomino (2003) para conocer las ideas previas de los estudiantes en torno al concepto de cambio químico, cambio físico (mezclas y métodos de separación). De esta manera, se pudo informar gradualmente a los alumnos sobre la V de Gowin.

### *Aplicación del cuestionario KPSI*

La aplicación de este instrumento busca diagnosticar las ideas previas de los estudiantes acerca de la V de Gowin. En el instrumento se presentan diez afirmaciones para que los estudiantes autoevalúen lo que creen saber de cada ítem. En cada caso, los alumnos responden según cuatro niveles de conocimiento definidos previamente en el cuestionario, de la siguiente forma:

- A. No lo sé
- B. Lo comprendo parcialmente
- C. Lo comprendo bien
- D. Lo puedo explicar a un compañero

Las afirmaciones del KPSI y las respuestas dadas por los estudiantes de séptimo grado, tanto del grupo experimental como del grupo control, se detallan en la tabla 11.2.

Tabla 11.2. Instrumento de recolección de respuestas sobre afirmaciones del KPSI

N.º	Aplicación de la V de Gowin	A	B	C	D
1	¿Sabes qué es la V heurística?				
2	¿Has utilizado la V heurística?				
3	¿La V heurística se utiliza para hacer un experimento?				
4	¿Es utilizada la V heurística para hacer una exposición?				
5	¿Con el estudio de la V heurística logras mejores aprendizajes?				
6	¿El uso de la V heurística es importante para hacer tus tareas escolares?				
7	¿La V heurística permite la realización de clase más didácticas?				
8	¿Los docentes conocen y hacen uso de la V heurística en sus clases?				
9	¿La V heurística es valiosa para la comprensión de los conceptos?				

Fuente: elaboración propia.

Los siguientes son ejemplos de respuestas dadas por los estudiantes al utilizar el instrumento (véanse las tablas 11.3 y 11.4).

Tabla 11.3. Ejemplo 1

**Estimado estudiante:** a través del siguiente pretest se pretende conocer tus conocimientos sobre “La V de Gowin”

**Orientaciones básicas.** Debes marcar con una × la opción más apropiada, de acuerdo con la siguiente escala. Cada escala tiene un valor (NS1, LCP3, LCB4, LPEC4)

**A. No lo sé (1); B. Lo comprendo parcialmente (3); C. Lo comprendo bien (4); D. Lo puedo explicar a un compañero(a) (5)**

N.º	Aplicación de la V de Gowin	A	B	C	D
1	¿Sabes qué es la V de Gowin?	×			
2	¿Has utilizado la V de Gowin?	×			
3	¿La V de Gowin se utiliza para hacer un experimento?	×			
4	¿Es utilizada la V de Gowin para hacer una exposición?	×			
5	¿Con el estudio de la V de Gowin logras mejores aprendizajes?	×			
6	¿El uso de la V de Gowin es importante para hacer tus tareas escolares?	×			
7	¿La V de Gowin permite la realización de clase más didácticas?	×			
8	¿Los docentes conocen y hacen uso de la V de Gowin en sus clases?	×			
9	¿La V de Gowin es valiosa para la comprensión de los conceptos?	×			

Fuente: datos obtenidos de la investigación.

Tabla 11.4. **Ejemplo 2**

**Estimado estudiante:** a través del siguiente pretest se pretende conocer tus conocimientos sobre “La V de Gowin”

**Orientaciones básicas.** Debes marcar con una × la opción más apropiada, de acuerdo con la siguiente escala. Cada escala tiene un valor (NS1, LCP3, LCB4, LPEC4)

**A. No lo sé (1); B. Lo comprendo parcialmente (3); C. Lo comprendo bien (4); D. Lo puedo explicar a un compañero(a) (5)**

N.º	Aplicación de la V de Gowin	A	B	C	D
1	¿Sabes qué es la V de Gowin?		X		
2	¿Has utilizado la V de Gowin?		X		
3	¿La V de Gowin se utiliza para hacer un experimento?				X
4	¿Es utilizada la V de Gowin para hacer una exposición?		X		
5	¿Con el estudio de la V de Gowin logras mejores aprendizajes?			X	
6	¿El uso de la V de Gowin es importante para hacer tus tareas escolares?		X		
7	¿La V de Gowin permite la realización de clase más didácticas?				X
8	¿Los docentes conocen y hacen uso de la V de Gowin en sus clases?		X		
9	¿La V de Gowin es valiosa para la comprensión de los conceptos?			X	
<i>También nos ayuda a leer investigadores</i>					

Fuente: datos obtenidos de la investigación.

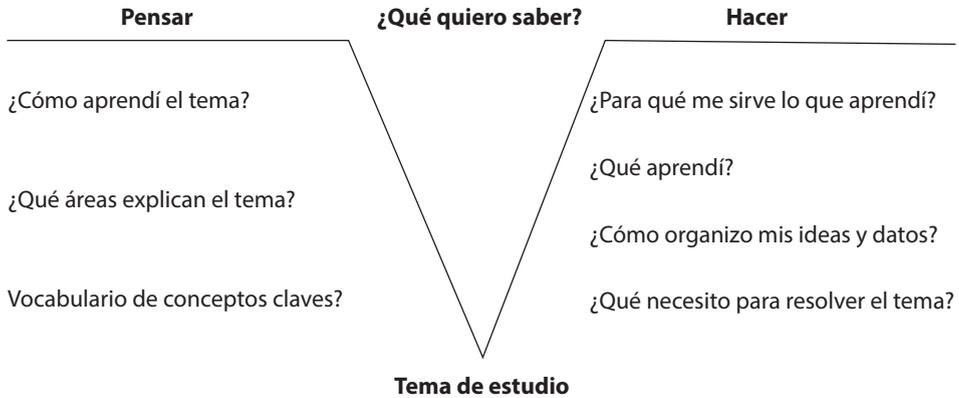
*Desarrollo de la intervención*

En la actividad de introducción de conceptos se desarrollan dos acciones pedagógicas, una individual y otra grupal. En la acción individual, cada estudiante diseña una V de Gowin propuesta por Palomino (2003) y plantea una pregunta de lo que quiere saber del concepto de cambio químico (véase la figura 11.3).

En la acción grupal se reúnen por equipos de tres estudiantes y llegan a consensos en torno a la pregunta; de manera colectiva complementan la V de Gowin propuesta por Morales (2011). Con base en lo anterior, se realiza la situación de aprendizaje 1 (véase la imagen 11.3).

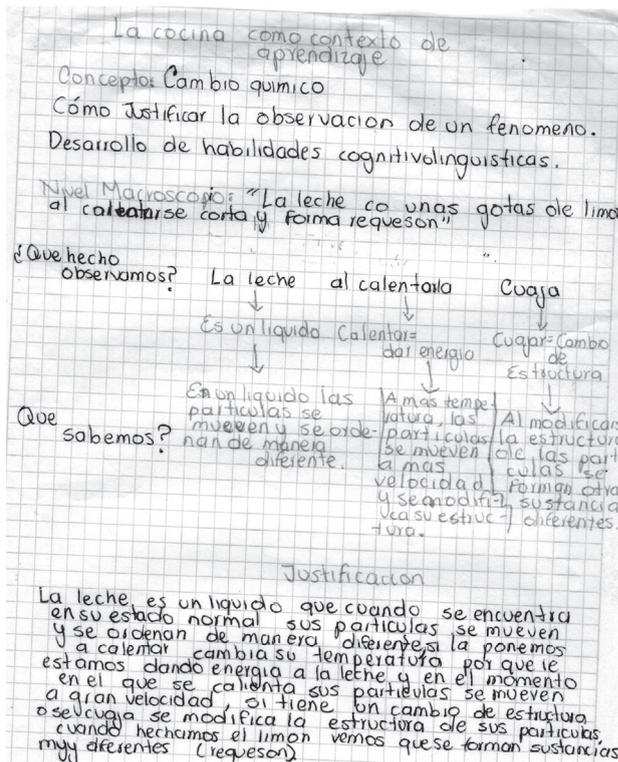
**Acción pedagógica individual:** el estudiante deberá identificar y explicar sus comprensiones del concepto de cambio químico a través de la elaboración de una V de Gowin. Tales interpretaciones se construirán a lo largo de la situación de aprendizaje 1.

Figura 11.3. Diagrama V de Gowin dosificado



Fuente: elaboración propia.

Imagen 11.3. Situación de aprendizaje 1: ¿cómo identificar un cambio químico a través de situaciones cotidianas? ¿Cómo justificar la observación de un fenómeno?



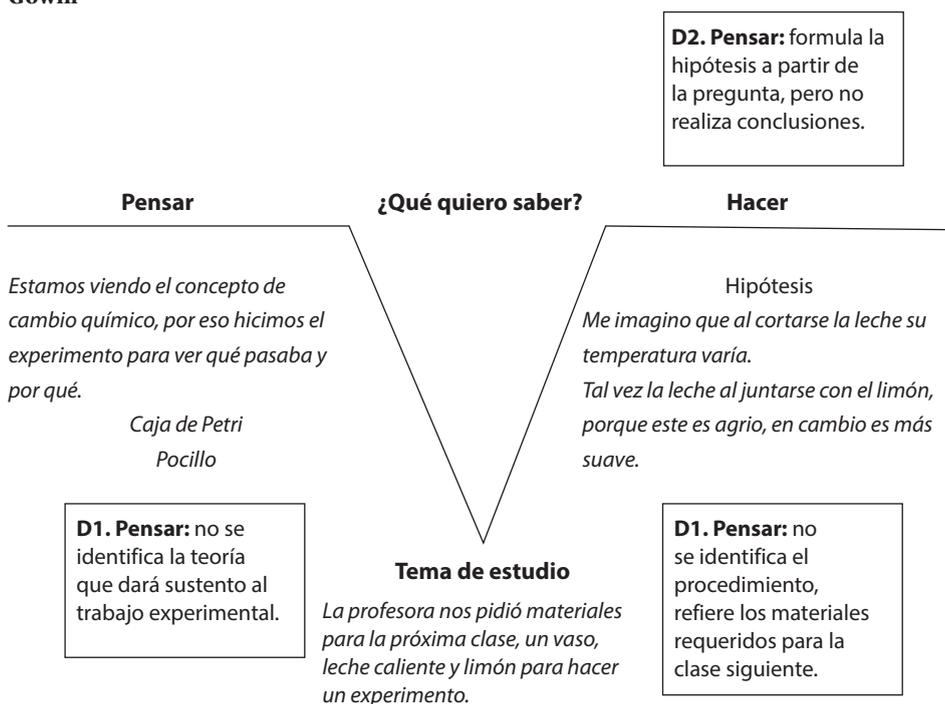
Fuente: datos obtenidos de la investigación. Fotografía del autor.

Al introducir nuevos conocimientos, se entrega a los estudiantes información relevante por medio de un texto que explica el concepto mencionado y cual incluye preguntas orientadoras y situaciones de aprendizajes contextualizadas. Con ello, se busca despertar el interés y la motivación por los procesos experimentales, así como la lectura de documentos referidos al concepto de cambio químico (véase la figura 11.4). Es importante resaltar que algunos conceptos se trabajaron con anterioridad, en sexto grado, como mezclas y sus clases.

**Actividad grupal:** los estudiantes, divididos en grupos de tres, comunicarán las observaciones y reflexiones después de realizar la situación de aprendizaje, como también llegarán a consensos a partir de las individualidades. Para ello, realizan una producción conjunta de la V de Gowin mediante la confección de una cartelera para la puesta en común en la evaluación formativa.

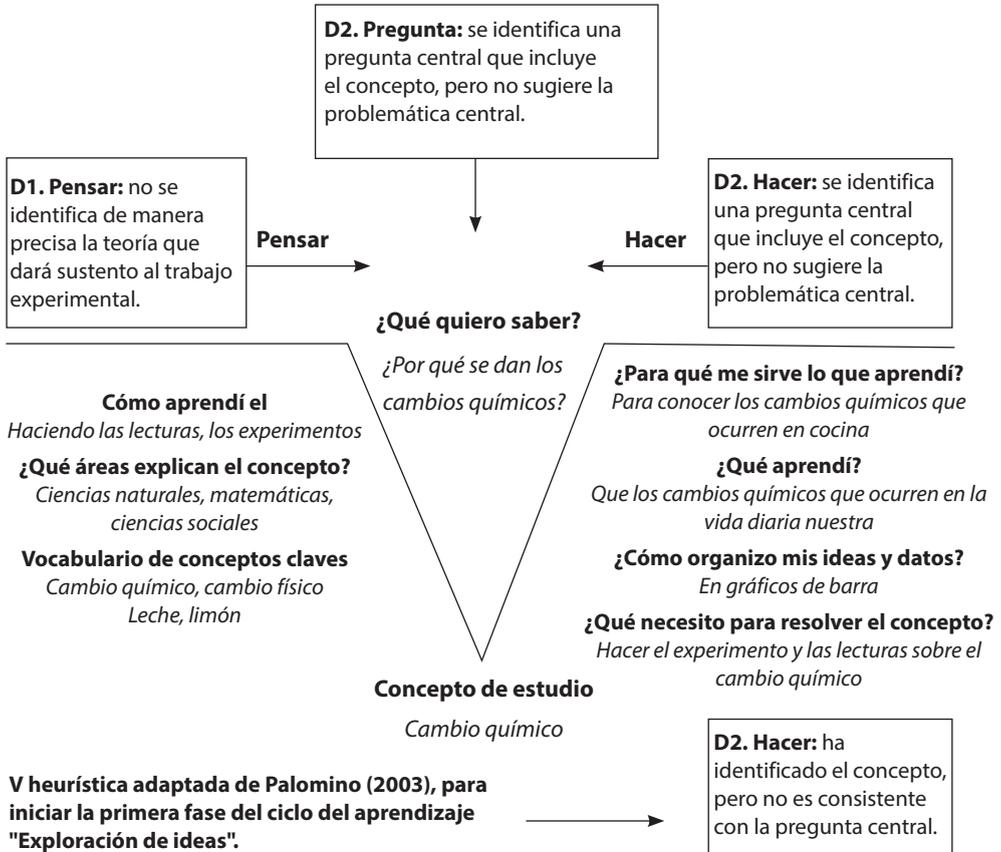
La actividad de estructuración y síntesis (véase la figura 11.5) posibilita reconstruir la experiencia y se hacen evidentes las primeras comprensiones del

Figura 11.4. Progresión-análisis a partir de una rúbrica: primera creación de la V de Gowin



Fuente: datos obtenidos de la investigación.

Figura 11.5. Progresión-análisis de estructuración y síntesis: segunda creación de la V de Gowin

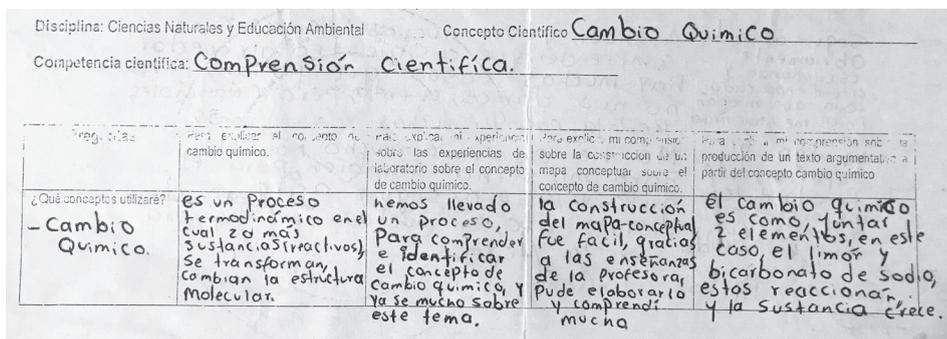


Fuente: datos obtenidos de la investigación.

concepto de cambio químico, a través de las conclusiones producto de la experiencia en la implementación de la V de Gowin. Los estudiantes hacen registro de sus producciones en la bitácora investigativa. En esta etapa del proceso de intervención se realiza una reconstrucción de la experiencia, en la cual los estudiantes, con la orientación del maestro, realizan predicciones, plantean estrategias de solución con diseños experimentales, contrastan sus resultados, comparan y discuten otras alternativas de solución (en caso de ser posible). De esta manera, el estudiante reconoce y comunica lo comprendido a lo largo del proceso de intervención.

**Evaluación formativa:** por colectivos de estudiantes, se evaluaron las producciones de sus compañeros de clase a través de la puesta en común.

**Imagen 11.4. Primera coevaluación: el concepto de cambio químico**



Fuente: datos obtenidos de la investigación. Fotografía del autor.

Los grupos evaluaron las concepciones sobre cambio químico de un grupo de pares (véase la imagen 11.4). Asimismo, cada equipo diseñó una V de Gowin para realizar el proceso de coevaluación (véase la tabla 11.5). La aplicación y transferencia de conocimientos es la última actividad de la secuenciación de

Tabla 11.5. **Segunda coevaluación: metodología de aprendizaje V de Gowin**

**Coevaluación:** el vocero de cada colectivo de estudiantes expone la V de Gowin a sus compañeros de la clase y será coevaluado de la siguiente manera.

**Relator:** registra los aportes de los colectivos.

**Tiempo:** 20 minutos

Nombre del colectivo que realiza la coevaluación: \_\_\_\_\_

Nombre del colectivo coevaluado: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Concepto: \_\_\_\_\_

La V de Gowin presentada por el colectivo	
	Descripción
¿Está bien justificada?	_____
Explica	_____
¿Qué problemas presenta?	_____
¿Se ha ajustado a las orientaciones dadas en torno al concepto desarrollado?	_____
¿Podrías hacer algunas recomendaciones para mejorar?	_____

Fuente: elaboración propia.

aprendizaje, etapa en la que los estudiantes encuentran la aplicabilidad del trabajo realizado en otros contextos y proponen experiencias cotidianas en las que se hace evidente el concepto de cambio químico.

Al terminar la intervención a través de la secuenciación de actividades de aprendizaje, se aplican los dos postest, el de la V de Gowin y el del concepto de cambio químico (véase la figura 11.6), con el fin de identificar las comprensiones de los estudiantes en torno al concepto referido y determinar la potencia de la V de Gowin en las comprensiones del término.

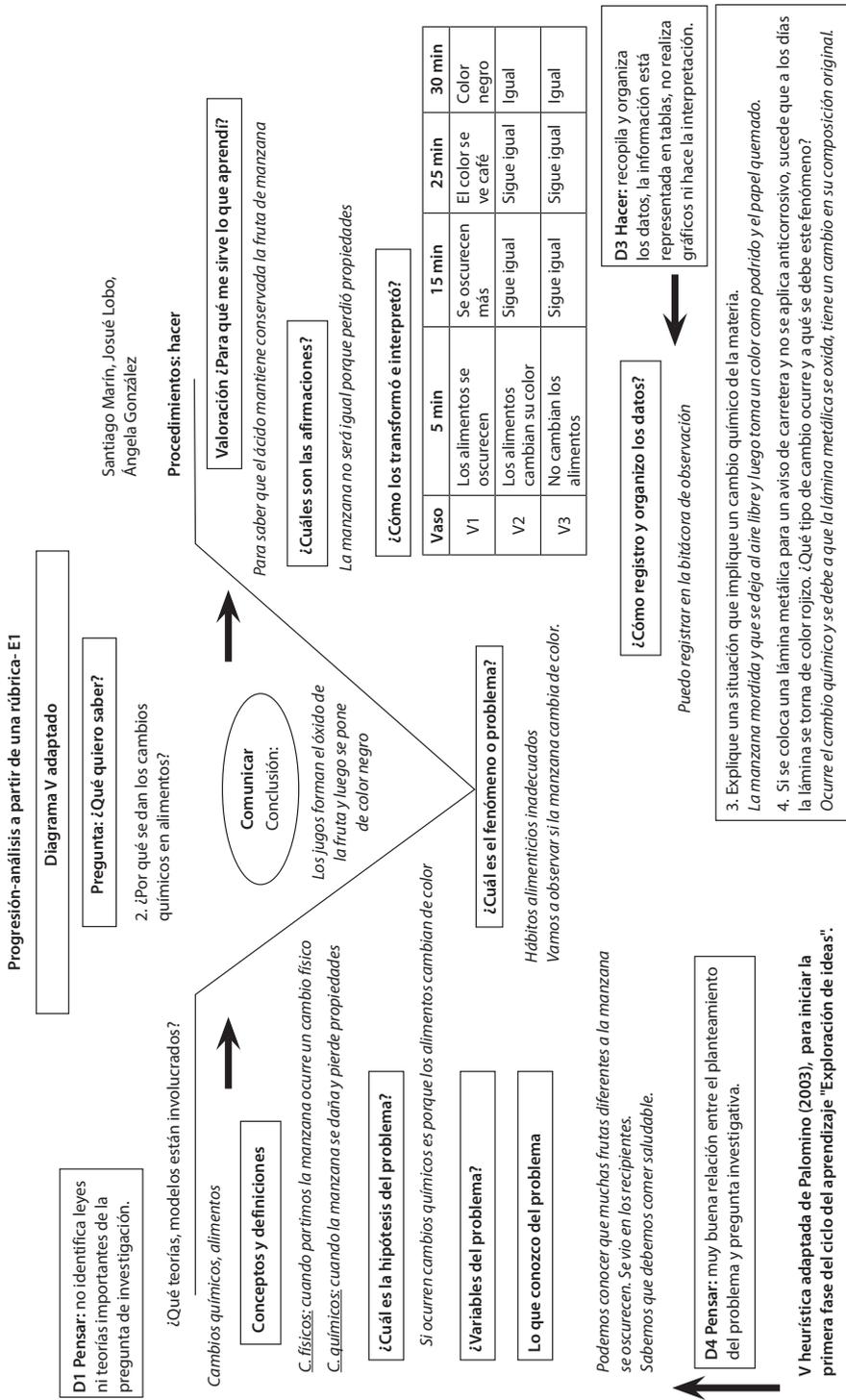
#### *Fase 4: evaluación y análisis*

Para comparar las comprensiones de los estudiantes, se diseñó una base de datos en Excel a fin de recolectar la siguiente información: sexo, edad, clase de grupo (de tratamiento y control), así como respuestas de acuerdo con la percepción de los estudiantes en cada uno de los talleres, pregunta por pregunta. Después, se realizó un análisis de la información con base en la matriz de datos creada en Excel, teniendo en cuenta el tipo de grupo. A continuación, se presenta el análisis de resultados del desempeño sobre la comprensión del concepto de cambio químico. Asimismo, se presenta el análisis de resultados de la apropiación de la V de Gowin.

### **Resultados**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el pretest y su correspondiente análisis e interpretación. Este pretest fue aplicado a cuarenta estudiantes, diecisiete estudiantes hombres y veintitrés mujeres. De estos estudiantes, diecinueve pertenecieron al grupo control y veintiún al grupo de tratamiento. La tabla 11.6 muestra esta distribución. Posterior a ello, se procedió a implementar la unidad problémica investigativa, durante ocho sesiones de dos horas de duración cada una. Finalmente, se aplicó el postest y se analizó el nivel de avance en la comprensión del concepto de cambio químico y la percepción sobre de los beneficios pedagógicos de la V de Gowin de los estudiantes. Se tomó como base el pretest para poder comparar los grupos y determinar el nivel de comprensión logrado. El postest fue el mismo pretest aplicado después de la intervención. La edad promedio del grupo fue 11,6 años con una desviación

Figura 1.1.6. Progresión-análisis de cierre. Tercera y última creación de la V de Gowin



Fuente: elaboración propia.

Tabla 11.6. **Distribución de los participantes por sexo**

Sexo	Frecuencia	Porcentaje
Hombres	17	42,5 %
Mujeres	23	57,5 %
Total	40	100,0 %

Fuente: elaboración propia.

estándar de 0,49; esto indica que los participantes tenían una edad acorde al grado de escolaridad.

### *Análisis de resultados sobre el concepto de cambio químico*

#### *Desempeños en los grupos control y de tratamiento de acuerdo con el pretest del concepto de cambio químico*

Para analizar los resultados por desempeños, se tiene en cuenta la conversión numérica del desempeño a la calificación (véase la tabla 11.7). En los desempeños obtenidos en el pretest (véase la tabla 11.8), se observa que el 100 % de los estudiantes del grupo de tratamiento no comprende el concepto analizado

Tabla 11.7. **Categorización de desempeños**

Desempeño	Calificación
Bajo	0 a 2,9
Básico	3 a 3,9
Alto	4 a 4,5
Superior	4,6 a 5

Fuente: elaboración propia.

Tabla 11.8. **Desempeño del grupo de tratamiento en pretest**

Grupo de tratamiento	
Desempeño	Frecuencia
Bajo	21
Básico	0
Alto	0
Superior	0

Fuente: elaboración propia.

sobre los cambios químicos. Asimismo, el 100% de los estudiantes del grupo control tiene un desempeño bajo (véase la tabla 11.9), lo que revela el desconocimiento del concepto de cambio químico.

Tabla 11.9. **Desempeño del grupo control en pretest**

<b>Grupo control</b>	
<b>Desempeño</b>	<b>Frecuencia</b>
Bajo	19
Básico	0
Alto	0
Superior	0

Fuente: elaboración propia.

*Desempeños en los grupos control y de tratamiento de acuerdo con el cuestionario tras la intervención sobre el concepto de cambio químico*

Una vez realizada la intervención, se lleva a cabo el postest, en el cual los estudiantes del grupo control tuvieron un desempeño predominantemente bajo y básico (véase la tabla 11.10). En contraste, el grupo de tratamiento refleja una mejora importante de los desempeños, como se puede ver en la tabla 11.11.

Tabla 11.10. **Desempeño del grupo control en postest**

<b>Grupo control</b>	
<b>Desempeño</b>	<b>Frecuencia</b>
Bajo	8
Básico	9
Alto	2
Superior	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla 11.11. **Desempeños del grupo tratamiento en postest**

<b>Grupo control</b>	
<b>Desempeño</b>	<b>Frecuencia</b>
Bajo	3
Básico	7
Alto	6
Superior	5

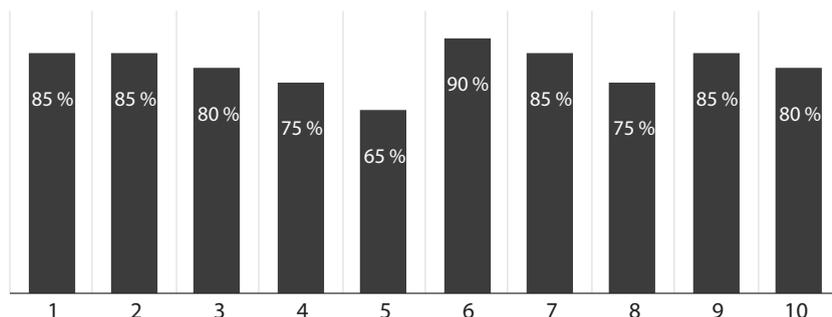
Fuente: elaboración propia.

En cuanto al cambio químico (véase la gráfica 11.1), se observa que el mejor desempeño ( $M = 90\%$ ) y se tiene en la pregunta 6: “Podemos observar que en muchos edificios las estructuras metálicas están corroídas (oxidadas). ¿Qué tipo de cambio sucede y a qué se debe el mismo?”. Esto sugiere que una práctica de enseñanza contextualizada puede potenciar un aprendizaje contextualizado, en el cual los estudiantes explican qué es un cambio químico desde el punto de vista fenomenológico: debido a la presencia en el aire de agentes oxidantes ( $O_2$  y  $O_3$ , presentes en la atmósfera respirable), hay corrosión mediante reacción química de las estructuras metálicas de los edificios.

Los estudiantes tuvieron el menor desempeño ( $M = 65\%$ ) en la pregunta 5: “Si respiramos cerca de un espejo por un tiempo, sucede que, a los pocos minutos el espejo se empaña y poco a poco se nota que aparecen gotas de agua en el mismo. ¿Qué tipo de cambio ocurre y a qué se debe el mismo?”. Esta pregunta se torna un poco difícil para los estudiantes, dado que el cambio físico no fue objeto de estudio directamente; aun así, un porcentaje alto de estudiantes logra articularlo de una manera superficial al vapor de agua, la condensación y la temperatura.

Los estudiantes tuvieron desempeños similares y altos ( $M = 85\%$ ) en las siguientes preguntas: pregunta 1, “En qué se basa la siguiente afirmación: ‘el material bajo estudio cambió’”; pregunta 2, “Explique una situación que indique un cambio químico de la materia”; pregunta 7, “¿Cuándo hervimos agua en nuestras casas al preparar alimentos, qué tipo de cambio experimenta el agua

Gráfica 11.1. Valoración del desempeño de los estudiantes con respecto al concepto de cambio químico (en porcentajes)



Fuente: elaboración propia.

y a qué se debe el mismo?"; pregunta 9, "Qué tipo de cambio sufre la fruta de la mora para producir vino y a qué se debe el mismo?". Estas preguntas ubican a los estudiantes a sus contextos cercanos, por lo que se esperaba esta apropiación y este desempeño altos.

Los estudiantes también tuvieron desempeños altos en la pregunta 10: "Explique qué tipo de cambio y a qué se debe el mismo en las siguientes situaciones: A) Al rallar el queso; B) Al agregar unas gotas de limón a una porción de bicarbonato". La explicación más común de los estudiantes que respondieron correctamente (M = 80 %), en la opción A, fue una asociación con el cambio de forma; en la opción B fue una asociación al burbujeo que produce el gas carbónico.

Hubo un desempeño alto (M = 75 %) en dos preguntas: la pregunta 4, "Si se coloca una lámina metálica para un aviso de carretera y no se le aplica anticorrosivo, sucede que a los días la lámina se torna de color rojizo. ¿Qué tipo de cambio ocurre y a qué se debe este fenómeno?", y la pregunta 8, "Cuando se retira la piel (concha) que cubre a una manzana, por ejemplo, al cabo de unos minutos se observa que se torna de color marrón. ¿Qué tipo de cambio le ocurre a la pulpa de la manzana y a qué se debe este cambio?". En la mayoría de los estudiantes se evidenció mayor apropiación y progresión en el aprendizaje del concepto de cambio químico después de la intervención.

En general, en la gran mayoría de estudiantes se evidenció una apropiación del concepto de cambio químico, después de la intervención. Es posible que el diseño de la unidad problémica investigativa, al ser contextualizado, haya proporcionado a los estudiantes cercanías con sus realidades. La articulación de la V de Gowin en cada una de las fases de la secuenciación del aprendizaje permitió mejores desempeños en la progresión de la comprensión del concepto de cambio químico.

### *Análisis de resultados sobre la apropiación de la V de Gowin*

#### *Desempeños en los grupos control y de tratamiento de acuerdo con el pretest de la V de Gowin*

En el pretest de los estudiantes, tanto del grupo control como de tratamiento, se observa que el 100% de los estudiantes no asocian el concepto analizado de la V de Gowin (véanse las tablas 11.12 y 11.13).

Tabla 11.12. Percepciones del grupo control sobre V de Gowin en pretest

Grupo control	
Desempeño	Frecuencia
Bajo	19
Básico	0
Alto	0
Superior	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla 11.13. Percepciones del grupo de tratamiento sobre V de Gowin en pretest

Grupo de tratamiento	
Desempeño	Frecuencia
Bajo	21
Básico	0
Alto	0
Superior	0

Fuente: elaboración propia.

La percepción de los estudiantes del grupo de tratamiento acerca de su comprensión sobre la V de Gowin, posterior a la intervención con la estrategia, mejoró notablemente, por lo cual, incluso, se lograron percepciones en el nivel superior, como se muestra en la tabla 11.14. En cuanto al grupo control, hubo una variación leve, aunque no tan marcada como la del grupo de tratamiento (véase la tabla 11.15).

Tabla 11.14. Percepciones del grupo de tratamiento sobre la V de Gowin en postest

Grupo de tratamiento	
Desempeño	Frecuencia
Bajo	0
Básico	4
Alto	110
Superior	6

Fuente: elaboración propia.

Tabla 11.15. Percepciones del grupo control sobre la V de Gowin en postest

Grupo de tratamiento	
Desempeño	Frecuencia
Bajo	7
Básico	8
Alto	40

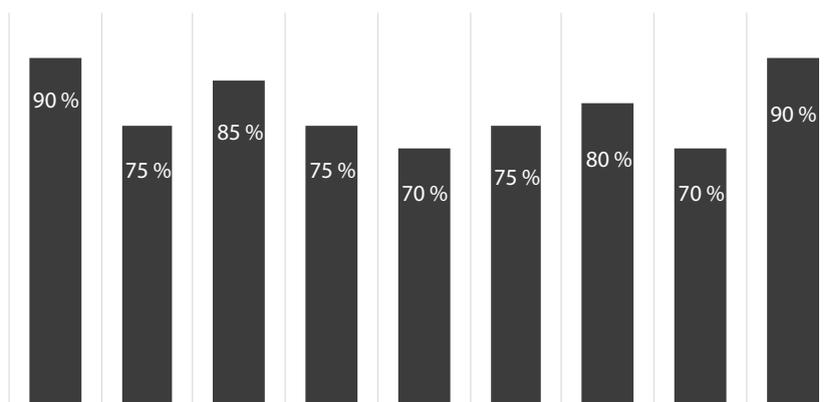
Fuente: elaboración propia.

La gráfica 11.2 muestra que, después de la intervención, hubo un alto nivel de percepción de apropiación hacia los interrogantes propuestos en las nueve preguntas del cuestionario (véase la tabla 11.2).

Las preguntas de mayor percepción de apropiación fueron la 1 y la 9, sobre su definición y valoración ( $M = 90\%$ ). También, con un alto nivel se encuentra la percepción de la utilidad de la V de Gowin para hacer experimentos (pregunta 3,  $M = 85\%$ ), y la percepción de que la estrategia hace la clase más didáctica (pregunta 7,  $M = 80\%$ ). En un nivel medio-alto se encuentran las percepciones de haber utilizado la estrategia, su utilidad para exposiciones y tareas escolares (preguntas 2, 4 y 6,  $M = 75\%$ ), así como las percepciones de lograr mejores aprendizajes con la V de Gowin y su conocimiento por parte de los docentes (preguntas 5 y 8,  $70\%$ ). En resumen, la intervención con la V de Gowin fue muy potente de acuerdo con la percepción de la gran mayoría de los estudiantes. Así lo muestran las observaciones realizadas en las intervenciones con la unidad problémica investigativa, al tener en cuenta cada una de las fases de la secuenciación del aprendizaje.

A su vez, la adaptación de la V de Gowin propuesta por Palomino (2003), una V Gowin contextualizada y de manejo práctico en el lenguaje de los estudiantes, facilitó un acercamiento paulatino a la V propuesta originalmente por Gowin (1981). En fin, se trata de un instrumento complejo para los niños y niñas de

**Gráfica 11.2. Valoración de las percepciones de los estudiantes con respecto a la intervención de la V de Gowin (en porcentajes)**



Fuente: elaboración propia.

séptimo grado, dado su nivel, pero que en la fase de estructuración y síntesis se logra articular lo propuesto por Palomino (2003).

En este sentido, la metodología de aprendizaje planteada en esta investigación fue apropiada, dado el alto porcentaje de estudiantes que mejoraron el desempeño sobre el concepto de cambio químico, mediado por la V de Gowin. Se evidencia la construcción de significado del concepto científico de cambio químico, según el planteamiento de Palomino (2003). Existe cierta analogía entre la investigación científica y la construcción de conocimientos, pues la V de Gowin, de acuerdo con las categorías que contiene, posibilita la comprensión de los conceptos de manera dinámica. Este recurso posibilita la relación existente entre los aspectos teóricos requeridos para desarrollar la metodología y el fenómeno estudiado.

El desarrollo de esta metodología facilita el ejercicio reflexivo que, según las investigaciones realizadas por Izquierdo (1994), propician a su vez el aprendizaje. Con esto, se busca dar coherencia a la diversidad de hechos que se presentan al alumnado, tanto en un contexto escolar como en la vida diaria, para conectar el mundo de los fenómenos y el mundo de las explicaciones químicas. Esto permite reflexionar sobre cuáles de estas vías pueden permitir una elaboración equilibrada entre el nivel macroscópico y el microscópico de los significados químicos (Izquierdo, 1994). Es destacable el resultado del grupo experimental porque se trabajó con preguntas de alto grado de complejidad y los estudiantes, a partir de las intervenciones, lograron estos resultados sobresalientes. Cuando el aprendizaje es contextualizado y cercano a la vida de los estudiantes, se evidencian las comprensiones; esto es patente en los desempeños. Esto se aproxima a lo que expresa Bachelard (2007) cuando argumenta que la ciencia progresa a través de revoluciones producidas cuando se derriban obstáculos; por lo tanto, es posible construir otra visión de la realidad.

En ese sentido, Moraga (2013) destaca que en algunas investigaciones se busca que en el proceso de enseñanza se aborden los conceptos, las teorías y los modelos de la química de forma gradual, comenzando por la percepción (que ayuda a formar ideas), para confrontar finalmente la experiencia y la observación, de tal manera que se adquieren significados al responder las preguntas o hipótesis que formulan los alumnos. Con este proceso se logra relacionar los nuevos conocimientos que adquieren con diferentes escenarios, bien sea su

vida cotidiana, el aula de clase, documentales y videos, entre otros, para continuar de esta forma en un ciclo progresivo de reelaboración y construcción de nuevas ideas.

Con respecto a la V de Gowin, Moreira (2007) destaca que es una ayuda valiosa en este proceso de elaboración de un lenguaje científico propio del aula de ciencias. Conduce a los estudiantes hacia la interpretación de lo que están haciendo (por eso se dice que es heurístico), y por ello su uso continuado a lo largo de una etapa contribuye a dar coherencia al conjunto de la intervención docente que se realiza. Al demostrar estos resultados, es importante resaltar la incidencia de la V de Gowin en la comprensión de los conceptos científicos, especialmente en el concepto cambio químico, y cómo las situaciones cotidianas se articulan sistemáticamente en las comprensiones en los estudiantes.

### **Discusión de resultados**

Los procesos investigativos, a través de la V de Gowin para la comprensión del concepto cambio químico, se convierten en un proceso complejo de investigación y estudio, que conllevan a la transformación de las prácticas de enseñanza y de los aprendizajes de los estudiantes. Por ser el concepto cambio químico una noción estructurante de los procesos químicos, en el que se estudian las concepciones de los estudiantes sobre el cambio químico y las propuestas didácticas para su enseñanza (Caamaño, 1998), se buscó *didactizarlo* a través de la V de Gowin para lograr la apropiación por parte de los estudiantes.

De acuerdo con Herrera (2014), el diagrama V puede ser utilizado como recurso de aprendizaje y de investigación de las materias de estudio, que permite conectar los conocimientos previos y plantear interrogantes, los cuales pueden llegar a conceptualizarse para lograr un saber general y abstracto. Este nuevo conocimiento se puede aplicar a nuevas situaciones y, de este modo, lograr un aprendizaje significativo.

Por lo anterior, lo que se ha desarrollado en esta investigación basada en la innovación con la V de Gowin para la comprensión del concepto de cambio químico, es que el estudiante desarrolle, a través de procesos experimentales, una apropiación desde la perspectiva de la investigación. Esto implica centrarse en la identificación de una problemática o de un fenómeno cercano a su contexto

escolar, así como genere interés para los alumnos, y a partir de allí construir una pregunta investigativa. De acuerdo con los planeamientos de Jorba y Sanmartí (2000), se busca diseñar un método para realizar la comprobación e indagar las relaciones que se presenten entre los conceptos asociados al cambio químico, para lograr finalmente la aprehensión y comprensión.

## Conclusiones

El objetivo de este capítulo fue presentar los resultados de una investigación en la que se diseñó e implementó una unidad problémica investigativa mediada por la V de Gowin. Dicha herramienta sirvió para la comprensión del concepto de cambio químico con estudiantes de séptimo grado. Con respecto a la revisión teórica, el proceso de intervención en el aula, el análisis de la información recolectada en los pretest, el análisis a los postest y el análisis de las actividades didácticas de la unidad problémica investigativa desarrolladas por los estudiantes, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- Mediante la identificación de las ideas previas de los estudiantes, se pueden diseñar estrategias y actividades didácticas en la unidad problémica investigativa para potenciar el aprendizaje de los conceptos científicos por parte de los estudiantes.
- Se pudo identificar la potencia de la V de Gowin en la comprensión de conceptos científicos al articular la teoría con la práctica, mediada por una pregunta de investigación. Los estudiantes que recibieron la intervención a través de la metodología tradicional (grupo control) se ubicaron con una tendencia hacia niveles de desempeño bajo y básico.
- Los estudiantes del grupo de tratamiento que recibieron la intervención a través de la V de Gowin presentaron resultados positivos en todas las categorías de aprendizaje evaluadas, lo cual indica que la estrategia aplicada permite mejorar la percepción en la apropiación y comprensión del concepto de cambio químico.
- La implementación de la V de Gowin en el aprendizaje del concepto de cambio químico permite a los estudiantes comprender los conceptos científicos, a partir de situaciones de aprendizaje y actividades

didácticas cercanas a su vida cotidiana, desarrolladas desde la unidad problémica investigativa.

- La V de Gowin en el diseño de unidades problémicas investigativas, al articular las actividades didácticas de la estrategia secuenciación del aprendizaje, potencia significativamente las prácticas de enseñanza de los maestros. Este recurso beneficia en un alto porcentaje los aprendizajes de los estudiantes.

## Referencias

- Arellano, M., Jara, R., Merino, C., Quintanilla, M. y Cuellar, L. (2008). Estudio comparativo de dos instrumentos de evaluación diagnóstica aplicados a profesores de Química en formación: un estudio piloto. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 7(1), 1-22.
- Ausubel, D. (1983). Teoría del aprendizaje significativo. *Fascículos de CEIF*, 1, 1-10.
- Caamaño, A. (1998). La secuenciación de los contenidos de química en el bachillerato. *Alambique*, 15, 69-85.
- Campanario, J. M., y Moya, A. (1999). ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 179-192.
- Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive-developmental inquiry. *American Psychologist*, 34(10), 906-911.
- Gowin, D. B. (1981). *Educating*. Cornell University Press.
- Gowin, D. B. y Alvarez, M. C. (2005). *The art of educating with V diagrams*. Cambridge University Press.
- Hernández, R. y Torres, C. P. M. (2018). *Metodología de la investigación* (Vol. 4). McGraw-Hill Interamericana.
- Herrera, A. (2014). *Diseño de una unidad didáctica para la enseñanza y aprendizaje del concepto de mol y número de Avogadro utilizando herramientas virtuales* [tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá].
- Herrera, E. e Izquierdo, M. (2017). Aprender a indagar y modelizar con el diagrama Uve de Gowin en la formación inicial del profesorado de ciencias de secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, (Extra), 145-151. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/334002>

- Izquierdo, M. (1994). La V de Gowin, un instrumento para aprender a aprender (y a pensar). *Revista Alambique*, 1. [http://cmap.unavarra.es/rid=1T1HCLLW5-21K4FFX-1TY/la-v-de-gowin-un-instrumento-para-aprender-a-aprender-y-a-pensar\\_1\\_.pdf](http://cmap.unavarra.es/rid=1T1HCLLW5-21K4FFX-1TY/la-v-de-gowin-un-instrumento-para-aprender-a-aprender-y-a-pensar_1_.pdf)
- Izquierdo, M. (2006). La educación química frente a los retos del tercer milenio. *Educación Química*, 17(Extra), 114-128.
- Jorba, J. y Sanmartí, N. (2000). La función pedagógica de la evaluación. En *Evaluación como ayuda al aprendizaje* (pp. 21-44). Graó.
- López, G. W. (2009). Estudio de las preconcepciones sobre los cambios físicos y químicos de la materia en alumnos de grado noveno. *Revista Venezolana de Educación*, 13(45), 491-499.
- Martínez, M. (2017). *Saponificación. Una propuesta didáctica para el aprendizaje significativo del concepto de cambio químico* [tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/61033>
- Morales E. M. (2011, agosto). *La V de Gowin como estrategia para favorecer la construcción del conocimiento matemático en estudiantes de ingeniería* [conferencia]. 9<sup>th</sup> Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology, Medellín, Colombia.
- Nicolalde, B. C. F. y Herrera, J. F. (2012). The effects of the application of cognitive strategies for problem solving and the implementation of Gowin's V in electric field point charges. *Latin-American Journal of Physics Education*, 6(1), 265-269.
- Novak, J. D., Gowin, D. B. y Otero, J. (1988). *Aprendiendo a aprender*. Martínez Roca.
- Ontoria, A. (2001). Los mapas conceptuales como técnica de evaluación. *Revista Actualidades Investigativas en Educación*, 18(1), 1-35. <https://doi.org/10.15517/aie.v18i1.31840>
- Palomino, W. (2003). *El diagrama V de Gowin como instrumento de investigación y aprendizaje*. Colombia Aprende. [https://www.academia.edu/10129525/El\\_Diagrama\\_V\\_de\\_Gowin\\_como\\_instrumento\\_de\\_investigaci%C3%B3n\\_y\\_aprendizaje](https://www.academia.edu/10129525/El_Diagrama_V_de_Gowin_como_instrumento_de_investigaci%C3%B3n_y_aprendizaje)
- Perrenoud, P. (2007). *Desarrollar la práctica reflexiva en el oficio de enseñar*. Graó.
- Ramos, O. (2009). La V de Gowin en el laboratorio de química. Una experiencia didáctica en educación secundaria. *Investigación y Postgrado*, 24(3), 161-188.
- Reyes, A. (2018). *Enseñanza del cambio químico mediante la indagación científica en un colegio rural* [tesis de maestría, Universidad Externado de Colombia]. <https://bdigital.uexternado.edu.co/entities/publication/49f641c4-af70-4a30-8c7e-f0ac4e0dbb24>

- Sánchez, I. (1999). El mandala y la Uve de Gowin en la enseñanza de la física. *Paideia*, 27, 47-60.
- Sánchez, I. R., Moreira, M. A. y Caballero, M. C. (2005). Aprendizaje significativo de la cinemática a través de resolución de problemas y uso cálculo diferencial en estudiantes universitarios. *Enseñanza de las Ciencias*, (Extra), 1-5.
- Solsona, N. e Izquierdo, M (1999). El aprendizaje del concepto cambio químico en el alumnado de secundaria. *Revista investigación en la escuela*, 38, 65-75.
- Solsona, N. y Martín del Pozo, S. (2004). Los cambios químicos. De los modelos del alumnado a los modelos escolares. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 42, 19-28.
- Stake, R. E. (1994). Case studies. En N. K. Denzin y Y. S. Lincoln (Dirs.), *Handbook of qualitative research* (pp. 236-247). Sage.
- Tamayo, O. (2001). *Evolución conceptual desde una perspectiva multidimensional. Aplicación al concepto de respiración* [tesis doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona].
- Taylor, S. J. y Bogdan, R. (1987). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación* (Vol. 1). Paidós.
- Villarreal, J. y Sánchez, L. (2018). *Incidencia de la implementación de una unidad didáctica diseñada en el modelo de investigación dirigida en el aprendizaje de la estequiometría* [tesis de pregrado, Universidad de Antioquia].
- Zabalza, M. (2011). *Diarios de clase. Un instrumento de investigación y desarrollo profesional*. Editorial Narcea.



## Sobre los autores

### Autores compiladores

#### **Sergio Andrés Castaño Cano**

Profesional con experiencia de quince años en docencia de las ciencias experimentales en niveles de educación básica, medía y educación superior, tanto en el sector privado como el oficial. Es magíster en Didáctica de las Ciencias Experimentales y estudiante del Doctorado en Enseñanza de las Ciencias de la Universidad de Huelva. Es profesor de la Facultad de Educación y miembro del Grupo de Investigación Unipluriversidad, de la Universidad de Antioquia. Coordinador de la Institución Educativa Hernán Toro Agudelo. Sus investigaciones se centran en la gestión escolar, la política pública en educación y la formación de maestros. Fue profesor de la Universidad Pontificia Bolivariana y asesor de programas educativos de alto impacto, como “Expedición currículo” de la Secretaría de Educación de Medellín. Es autor de algunos libros y artículos, entre los cuales se encuentra la *Guía metodológica para la construcción, actualización e implementación del Proyecto Educativo Institucional (PEI) en el contexto colombiano* (2016).

Correo electrónico: sandres.castano@udea.edu.co

#### **Carolina María González Velásquez**

Candidata a doctora en Investigación para la Enseñanza y el Aprendizaje de las Ciencias Experimentales, Sociales y Matemáticas de la Universidad de Huelva, España. Magíster en Didáctica de las Ciencias, licenciada en Educación con énfasis en Ciencias Naturales y Educación Ambiental de la Universidad de

Antioquia, Colombia. Docente e investigadora en neurociencias y educación y en la línea de dominio social y afectivo en didácticas específicas del Departamento de Didácticas Integradas de la Universidad de Huelva. Cuenta con veinte años de experiencia en docencia, investigación, extensión y procesos de formación de maestros en Colombia e Iberoamérica.

Correo electrónico: carolinam.gonzalez@udea.edu.co

### **Marisol Lopera Pérez**

Es licenciada en educación básica con énfasis en Ciencias Naturales y Educación Ambiental (Universidad de Antioquia), magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente (Universidad de Manizales) y doctora en Investigación Transdisciplinar en Educación (Universidad de Valladolid). Cuenta con un posdoctorado en el programa “Global Talents for Local Transformation”, del Ministerio de Educación de Alemania y la Universidad de Vechta. Durante el desarrollo de la tesis doctoral se desempeñó como investigadora invitada en la Universidad de Olomouc (República Checa) y la Universidad de Antioquia, donde colaboró en temas de investigación cualitativa y métodos mixtos. Asimismo, aportó a la reflexión en la formación de docentes desde una perspectiva inter y transdisciplinar. Fue profesora (en pregrado y maestría) de la Universidad de Antioquia, en el área de didáctica de las ciencias experimentales, educación ambiental y sustentabilidad; es, además, integrante del grupo de investigación PiEnCias. Actualmente, es docente de planta de la Universidad de Antioquia, y está vinculada al grupo de investigación Atenea y es líder del Semillero GAIA: medio ambiente y sustentabilidad en la educación.

Correo electrónico: marisol.loperap@udea.edu.co

### **Mariana Tafur Arciniegas**

Profesora asociada de la Facultad de Educación de la Universidad de los Andes. Doctora en Educación en Ingeniería de la Universidad de Purdue, Indiana. Es magíster en Educación e Ingeniería Electrónica de la Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Fue becaria Fulbright en 2010. Cuenta con más de veinte años de experiencia en educación en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (educación STEM). Ha participado en grupos de educación e investigación nacionales, como Pequeños Científicos, Lidie, y Educación y Evaluación en las

Disciplinas (dentro de la línea STEM), así como en grupos internacionales, como Inspire y Freeform Classroom. Sus intereses de investigación tienen que ver con aproximación a retos tecnológicos en la cotidianidad, aprendizaje basado en colaboración, integración STEM, desarrollo de habilidades de ingeniería, evaluación formativa y metodologías de investigación mixta y fenomenográfica.

Correo electrónico: m-tafur@uniandes.edu.co

### **Adriana María Soto Zuluaga**

Licenciada en Biología y Química de la Universidad de Antioquia, magíster en Ciencias-Química de la Universidad Nacional de Colombia y doctora en Educación de la Universidad de Antioquia. Cuenta con experiencia docente en educación básica, media y universitaria. Se ha desempeñado en cargos administrativos, como coordinadora de la Maestría en Ciencias: Innovación en Educación, de la Facultad de Ciencias Exactas y Aplicadas del Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín. Su investigación se centra en el desarrollo y la asesoría de proyectos relacionados con los procesos educativos concernientes a la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias naturales, sobre todo en lo que tiene que ver con lo pedagógico, lo educativo, lo didáctico y lo curricular, con el propósito de contribuir a la transformación del ejercicio pedagógico.

Correo electrónico: adrianasoto@itm.edu.co

### **Autores compilados**

#### **Mónica Marcela Alarcón Rodríguez**

Licenciada en Física de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, magíster en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Colombia. Ha sido docente de Física por dieciséis años, parte de su formación como docente se dio durante los seis años que trabajó en la Escuela Pedagógica Experimental. Desde el 2015 trabaja en la I. E. D. Escuela Nacional de Comercio, localidad Candelaria. Actualmente lidera un grupo de estudio interdisciplinar en la Corporación Escuela Pedagógica Experimental sobre la relación entre las perspectivas de pensamiento sistémico, dinámica de sistemas y complejidad con la enseñanza.

Correo electrónico: mmalarconr@educacionbogota.edu.co

**Martha Elizabeth Arias Villamizar**

Nació en San Carlos, Antioquia, en 1976. Vivió sus primeros cuatro años en el Jordán, corregimiento de San Carlos. Debido a las actividades laborales de su padre, se radicó junto con su familia en el municipio de Marinilla, Antioquia. Realizó sus estudios de primaria y secundaria en la Escuela Normal de Marinilla. Sus estudios de pregrado y posgrado los realizó en la Universidad Pontificia Bolivariana y en la Universidad de Antioquia. En estas instituciones universitarias obtuvo los títulos de licenciada en Ciencias Naturales y Educación Ambiental; tecnóloga en Alimentos; especialista en Educación Ambiental, y magíster en Educación. Tiene veintiséis años de experiencia docente: veinte años en el sector privado y seis años en el sector público. Su experiencia docente la ha desarrollado con estudiantes de educación básica secundaria, media y universitaria. Actualmente vive y trabaja en el municipio de Rionegro, Antioquia. Sus temas de interés son la enseñanza y la didáctica de las ciencias naturales. Ama acompañar e intenta transformar la vida de sus estudiantes a través del conocimiento de las ciencias naturales. Para ella, “Nuestra vocación de docentes es de amor y mucha pasión”.

Correo electrónico: elizarias@27@hotmail.com

**Alexander Bonilla Castro**

Docente de la Universidad del Valle, en la modalidad hora cátedra. Es licenciado en Matemáticas y Física (Universidad del Valle, 2008); magíster en Educación con énfasis en Enseñanza de las Ciencias (Universidad del Valle, 2013), y doctor en Educación (Universidad del Valle, 2017). Es docente del magisterio y tutor del programa Todos a Aprender. Obtuvo un reconocimiento de la Secretaría de Educación Distrital de Cali por diseñar y desarrollar sesiones de liderazgo pedagógico con rectores y coordinadores de colegios públicos del Valle del Cauca. Expuso una ponencia titulada *Effects of studying a refutational expository text on the force-motion student models, in a curriculum integrating language and physics subjects*, en The International Conference on Physics Education, evento desarrollado del 5 al 9 de agosto 2013 (Praga, República Checa). Es autor del artículo “Modelo explicativo del origen y evolución de las representaciones mentales de los sujetos”, publicado en la *Revista Nueva Jornada*.

Correo electrónico: alexfiscus@gmail.com

**Fabián Ernesto Bravo Reyes**

Es psicólogo de la Universidad del Valle y doctor en Psicología Clínica y de la Salud de la Universidad de Barcelona. Se ha desempeñado durante más de veinte años como docente universitario de pregrado y posgrado en el campo de la Psicología. Asimismo, ha sido investigador en temas relacionados con la salud y la calidad de vida, principalmente con población joven. Su principal aporte investigativo se relaciona con el estudio del comportamiento desde la perspectiva longitudinal y con la formación investigativa de sus estudiantes al interior de asignaturas metodológicas y seminarios.

Correo electrónico: [fbravo@javerianacali.edu.co](mailto:fbravo@javerianacali.edu.co)

**Carlos Andrés Colorado Henao**

Nació en Itagüí, Antioquia, en 1979. A los 19 años ingresó a la Universidad de Antioquia para realizar sus estudios profesionales. En el 2006 se graduó como biólogo, e inmediatamente comenzó su experiencia laboral como docente, que continua hasta hoy. En el 2018 se graduó como magíster en Educación con Profundización en Ciencias de la misma universidad. En sus dieciséis años como docente, las diferentes personalidades con las que se ha relacionado en la enseñanza de las ciencias naturales le han aportado humildad, sencillez, paciencia y, sobre todo, la satisfacción de ser maestro al ver que aquellos que fueron sus estudiantes son personas profesionales con calidad humana.

Correo electrónico: [carloscolorado@yahoo.com.mx](mailto:carloscolorado@yahoo.com.mx)

**Wilberg Córdoba Rentería**

Es licenciado en Matemáticas y Física de la Universidad Tecnológica del Chocó Diego Luis Córdoba. Cuenta con una maestría en Enseñanza de las Matemáticas de la Universidad de Antioquia. Tiene catorce años experiencia en educación. Actualmente es docente de educación media en la Institución Educativa Alfonso López de Apartadó, Antioquia.

Correo electrónico: [thebaldor3112@gmail.com](mailto:thebaldor3112@gmail.com)

**Dora Magaly García Ibarra**

Docente de aula por seis años. Además de ser licenciada en Ciencias Naturales (Física, Química y Biología), es magíster en Educación, en el área de profundización

en Docencia e Investigación Universitaria de la Universidad Surcolombiana. En la actualidad, es estudiante del Doctorado Interinstitucional en Educación de la Universidad del Valle, en la cual se encuentra becada por parte del Ministerio de Educación Nacional. Tuvo la oportunidad de representar la Universidad Surcolombiana como joven investigadora en tres congresos consecutivos de educación y aprendizaje desarrollados en Madrid, Milán y Atenas. Además, se desempeña como docente e investigadora en el programa de Licenciatura en Ciencias Naturales y Ciencias Sociales de su *alma mater*. Es docente del sector oficial en la Secretaría de Educación de Huila y desarrolla estudios enfocados en la didáctica en las ciencias naturales, en especial la enseñanza-aprendizaje de la biología, la química y la física. Su pasión es la educación y desea seguir contribuyendo a la formación en la sociedad en general.

Correo electrónico: [dora.garcia@usco.edu.co](mailto:dora.garcia@usco.edu.co)

### **Nelcy Giraldo Buitrago**

Nació en El Retiro, Antioquia, en 1976. A los 19 años ingresó a la Universidad de Antioquia para estudiar Química y en el año 2006 recibió su título. Antes de graduarse se desempeñó como docente desde el 2004, actividad que realiza hasta hoy. En 2018 recibió su título como magíster en Educación, profundización en Ciencias Naturales de la misma universidad. En su experiencia docente en Ciencias Naturales ha aprendido la importancia de la disciplina, la humildad, la paciencia y la comprensión, además del orgullo de ser docente al compartir con sus estudiantes la pasión y el respeto por las ciencias.

Correo electrónico: [nelcygiraldo@gmail.com](mailto:nelcygiraldo@gmail.com)

### **Andrés Fernando Mosquera Díaz**

Es licenciado en Matemáticas y Física de la Universidad Tecnológica del Chocó Diego Luis Córdoba, cuenta con una maestría en Enseñanza de las Matemáticas de la Universidad de Antioquia. Tiene experiencia de diez años en educación. En la actualidad es docente de educación media en la Institución Educativa Santa Fe de Turbo, Antioquia. Sus temas de interés son la educación matemática y la etnomatemática. Considera que su principal aporte como docente es facilitar el conocimiento matemático por medio de la didáctica.

Correo electrónico: [fernandomosqueradiaz@gmail.com](mailto:fernandomosqueradiaz@gmail.com)

**Beatriz Eugenia Mosquera Machado**

Es licenciada en Química y Biología de la Universidad Tecnológica del Chocó Diego Luis Córdoba. Es ingeniera de Alimentos de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia y magíster en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Colombia (sede Manizales). Cuenta con estudios de especializaciones en Microbiología de la Universidad Católica de Manizales y en Pedagogía de la Recreación Ecológica de la Fundación Universitaria los Libertadores. Tiene veintiocho años de trayectoria en educación, como docente de biología, química, didáctica de las ciencias naturales y evaluación para el aprendizaje. Desarrolló siete años de experiencia en el Liceo Presbítero Jesús Antonio Serna (Quinchía, Risaralda); siete años en la Institución Educativa Gonzalo Mejía Echeverri (Pereira, Risaralda), y catorce años en la Escuela Normal Superior El Jardín de Risaralda, en la ciudad de Pereira, donde labora actualmente. Su principal aporte a esta última institución consiste en haber logrado el reconocimiento como Colegio Innovador y Transformador, en el Premio Latinoamericano a la Innovación en Educación Superior (2019). Además, ha laborado en el campo de la educación superior, en la Universidad Tecnológica de Pereira, a nivel de pregrado y maestría, como también en la Universidad del Tolima, en pregrado. Su principal interés es el aprendizaje profundo de los conceptos científicos en los estudiantes y en los maestros en formación, labor que ejecuta en los procesos investigativos desarrollados y que finalizan con la presentación de ponencias en encuentros académicos nacionales e internacionales sobre la enseñanza de las ciencias.

Correo electrónico: [bemosqueram@gmail.com](mailto:bemosqueram@gmail.com); [beatrizmosquera@ensrisaralda.co](mailto:beatrizmosquera@ensrisaralda.co)

**Eduin Pacheco Méndez**

Licenciado en Biología y Química de la Universidad de Córdoba, con especialización en Investigación Aplicada a la Educación. Es magíster en Enseñanza de las Ciencias. Tiene veinticinco años de experiencia en educación. Es docente en educación secundaria y media de la Institución Educativa San Antonio Club de Leones y coordinador de investigación de la Institución Educativa Comfasucre, de la ciudad de Sincelejo. Sus intereses investigativos giran alrededor de la enseñanza, el aprendizaje y la evaluación, con énfasis en los procesos metacognitivos. Su principal aporte como docente se centra en la idea de comprender los

fenómenos educativos desde una visión investigadora e integradora, que tenga como base el pensamiento crítico y científico, el desarrollo de competencias y el trabajo en equipo.

Correo electrónico: e.pachecom@uniandes.edu.co

### **Norma Constanza Sáenz Briñez**

Nació en el municipio de Ibagué, en el departamento del Tolima, el 28 de diciembre de 1970. En 1987 recibió el título de Bachiller Pedagógico en la Escuela Normal María Inmaculada, con el cual inició a su carrera docente. Se graduó como licenciada en Matemáticas y Física de la Universidad del Tolima en 1993 y recibió el título de especialista en Física de la misma universidad en 1996. En el 2018 culminó la Maestría en Educación en la Universidad de los Andes. Como docente enamorada de su profesión ejerció su oficio en Ibagué desde los 18 años, en distintos colegios privados. En el 2005 recibió su nombramiento en propiedad, en la Institución Educativa Santa Teresa de Jesús. Su mayor satisfacción es poder enseñar a los demás, de manera sencilla y entendible, lo que resulta ser difícil. Su vida transcurre entre libros, clases y estudiantes; tiene como principal motor el amor por su familia, conformada por cuatro hijos (dedicados al arte de la música) y su esposo (amante de las artes plásticas). Una de sus grandes pasiones es la naturaleza, que trasciende a sus prácticas pedagógicas. Sus investigaciones en el aula comparten dos ejes aglutinantes: la enseñanza de la física y las experiencias en educación ambiental. Su lema “todo puede ser mejor” le permite estar en la búsqueda permanente de la excelencia.

Correo electrónico: nc.saenz@uniandes.edu.co

### **Carlos Uribe Gartner**

Profesor titular del Departamento de Física de la Universidad del Valle. Es físico de la Universidad de Antioquia, magíster en Física de la Universidad del Valle, magíster y doctor en Didáctica de las Ciencias Experimentales y las Matemáticas de la Universidad Autónoma de Barcelona. Ha publicado: *La transformación en la explicación y la comprensión del movimiento: desde la concepción aristotélica hacia la newtoniana*; *Unidades didácticas para los cursos de física fundamental I y Física I*; *Educación mentes para pensar: desarrollo del pensamiento científico en el aula*. Es el editor académico del libro *Eval-IETIC. Evaluación de la Innovación Educativa Mediada por TIC*, resultado del programa de investigación realizado

bajo su dirección (“Hacia un modelo metodológico para la evaluación de los programas que promueven la innovación educativa mediante la apropiación y uso educativo de las TIC en el contexto colombiano”). Este proyecto fue cofinanciado por el Ministerio de Educación Nacional, Colciencias, la Universidad del Valle y la Universidad Autónoma de Occidente. Pertenece al grupo de investigación interinstitucional Ciencia, Acciones y Creencia, UPN-UV.

Correo electrónico: carlos.uribe@correounivalle.edu.co

### **Adriana del Pilar Vega Pinzón**

Es licenciada en Física y Matemáticas, especialista en docencia de Ciencias Físicas y magíster en Educación con énfasis en Investigación y Didáctica de las Ciencias de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tiene veinticuatro años experiencia en educación. Es docente de la Institución Educativa Integrado Joaquín González Camargo, en el municipio de Sogamoso (Boyacá). Su interés investigativo está asociado a las propuestas didácticas de la física por investigación dirigida. Sus principales aportes como docente tienen que ver con el fomento de la cultura científica y el desarrollo de las competencias científicas en la enseñanza de la física, como también con la organización de semilleros de investigación para el desarrollo de tales habilidades.

Correo electrónico: adriana.vega@integradojgc.edu.co

### **Ruth Yalena Zuleta Torres**

Nació en La Paz, Cesar, el 13 de noviembre de 1982. Es coordinadora de una escuela de primaria en Valledupar, labor que fue exaltada en 2018 en “La Noche de la Excelencia”. Cuando no está en la escuela, disfruta el proceso de orientación de sus dos hijos en las tareas del colegio, así como llevarlos a sus rutinas deportivas por las tardes. Al mismo tiempo planea algún proyecto pedagógico para su comunidad educativa, sin dejar de lado su labor como docente, que ha ejercido en claustros universitarios desde que se graduó de la maestría en la Universidad Nacional de Colombia. Ha sido beneficiaria de Becas Bicentenario II para continuar sus estudios doctorales desde de enero del 2022. Tiene el deseo de poder aportarle a la sociedad en la construcción de conocimientos y promover en sus estudiantes un espíritu de investigación, elemento indispensable para resolver problemas de nuestra sociedad.

Correo electrónico: ruthyalenaz@gmail.com

*Conocimiento didáctico del contenido científico en clave de las prácticas educativas*  
se compuso en caracteres Kepler 11/16, en agosto del 2024.