



# El modelado y la simulación como precursores de la explicación de fenómenos en el área de ciencias naturales de básica primaria

Sergio Iván Mejía Vargas<sup>a</sup>

**Resumen:** este artículo de investigación es una iniciativa para aportar al mejoramiento de la competencia explicativa en estudiantes de grado cuarto de una institución educativa urbana de Piedecuesta, Santander. La propuesta parte del reconocimiento de las potencialidades del pensamiento sistémico, que promueve el uso de sistemas informáticos integrados a la construcción del conocimiento y el aprendizaje significativo. La metodología que guía el proceso se basa en un enfoque cualitativo con un diseño fundamentado en la investigación acción. En la experiencia que se desarrolló, en primer lugar, se identificaron las necesidades de formación en la competencia explicativa por medio de un diagnóstico apoyado en una encuesta y luego se dio paso a un proceso de contextualización tecnológica a partir de la ejecución de tres talleres investigativos en donde se promovió el uso de recursos que permitieron mejorar los procesos de construcción y reconstrucción de las explicaciones científicas por parte de los estudiantes. El modelado y la simulación con dinámica de sistemas y el modelado basado en objetos y reglas lograron una transición positiva de los estudiantes hacia niveles y grados de significancia superiores de la competencia explicación de fenómenos. Aunque dichos estudiantes aún siguen teniendo diversas posibilidades de mejora, los resultados avalan la intervención pedagógica y metodológica planteada en caso de que algún docente la desee replicar o haya continuación de un nuevo ciclo de intervención atendiendo a las necesidades del contexto.

**Palabras clave:** dinámica de sistemas; modelado y simulación; competencia de explicación de fenómenos; básica primaria, ciencias naturales, TIC

**Fecha de recepción:** 25 de julio de 2021

**Fecha de aprobación:** 2 de noviembre de 2021

**Disponible en línea:** 22 de abril de 2022

**Cómo citar:** Mejía Vargas, S. I. (2022). El modelado y la simulación como precursores de la explicación de fenómenos en el área de ciencias naturales de básica primaria. *Academia Y Virtualidad*, 15(1), 123-146. <https://doi.org/10.18359/ravi.5890>

<sup>a</sup> Magíster en Informática para la Educación. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia. Correo electrónico: [d.sergio.mejia@colpazbetulia.edu.co](mailto:d.sergio.mejia@colpazbetulia.edu.co) ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9758-2251>

## *Modeling and Simulation as Precursors to the Explanation of Phenomena in the Area of Natural Sciences in Elementary School*

**Abstract:** this research article is an initiative aimed at contributing to the improvement of explanatory competence in fourth grade students of an urban educational institution in Piedecuesta, Santander. The proposal is based on the recognition of the potential of systemic thinking, which promotes the use of computer systems integrated to the construction of knowledge and meaningful learning. The methodology guiding the process is based on a qualitative approach with a design based on action research. In the experience that was developed, initially the training needs in explanatory competence were identified by means of a diagnosis supported by a survey and then a process of technological contextualization was carried out through the execution of three fact-finding workshops where the use of resources that allowed improvement of the processes of construction and reconstruction of scientific explanations by the students was promoted. Modeling and simulation with system dynamics and modeling based on objects and rules achieved a positive transition of students towards higher levels and degrees of significance in the competence of explanation of phenomena. Although these students still have several possibilities for improvement, the results support the pedagogical and methodological intervention proposed in the event that any teacher wishes to replicate it or to continue with a new cycle of intervention according to the needs of the context.

**Keywords:** system dynamics; modeling and simulation; competence in explaining phenomena; elementary school; natural sciences; ICT

## *O modelo e a simulação como precursores da explicação de fenômenos na área de ciências naturais do ensino fundamental*

**Resumo:** este artigo de pesquisa é uma iniciativa para contribuir para a melhoria da competência explicativa em alunos da quarta série de uma instituição de ensino urbana em Piedecuesta, Santander. A proposta baseia-se no reconhecimento do potencial do pensamento sistêmico, que promove o uso de sistemas computacionais integrados para a construção do conhecimento e aprendizagem significativa. A metodologia que orienta o processo baseia-se numa abordagem qualitativa com um desenho baseado na pesquisa-ação. Na experiência desenvolvida, em primeiro lugar, as necessidades de formação na competência explicativa foram identificadas através de um diagnóstico apoiado por um inquérito e, em seguida, deu-se um processo de contextualização tecnológica através da realização de três oficinas investigativas, que permitiu melhorar os processos de construção e reconstrução de explicações científicas por parte dos alunos. A modelagem e simulação com dinâmica de sistemas e modelagem baseada em objetos e regras obtiveram uma transição positiva dos alunos para níveis e graus de significância mais elevados da competência de explicação de fenômenos. Embora estes alunos tenham ainda várias possibilidades de melhoria, os resultados corroboram a intervenção pedagógica e metodológica proposta caso um docente pretenda replicá-la ou se dê a continuação de um novo ciclo de intervenção de acordo com as necessidades do contexto.

**Palavras chave:** dinâmica de sistemas; modelagem e simulação; fenômenos de competência explicativa; noções básicas; ciências naturais; TIC

## Introducción

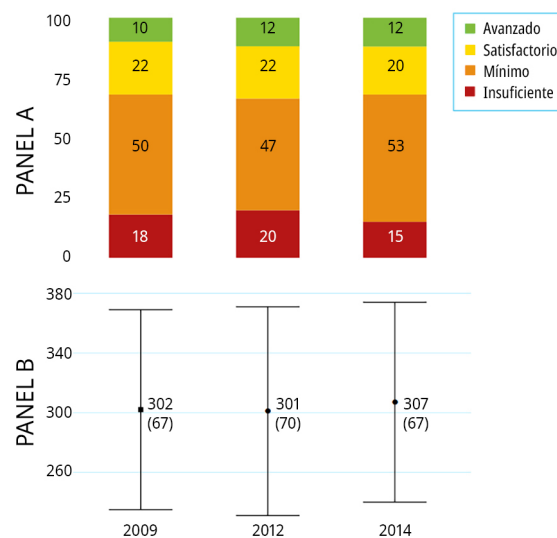
El presente artículo es producto de la investigación titulada “Propuesta para el mejoramiento de la competencia explicativa en estudiantes de grado cuarto mediante el modelado y la simulación de fenómenos naturales”, que permitió promover el pensamiento sistémico (ps) mediante el uso de la informática como un recurso integrador fundamentado en el enfoque pedagógico del aprendizaje significativo.

El ps surge a partir del concepto de complejidad que se atribuye como resultado de las diferentes interrelaciones entre los seres humanos y el sistema social en el que ocurren. De acuerdo con los planteamientos de Senge (1994), “los seres humanos vivimos en un mundo ‘real’, pero no operamos directa e inmediatamente sobre ese mundo, sino que actuamos dentro de él usando ‘mapas’, ‘representaciones’, ‘modelos’ o ‘interpretaciones codificadas de esa realidad’”. En este sentido, los niños y las organizaciones sociales como el colegio son complejas por naturaleza, pues dependen de la interpretación que cada individuo perciba a través de sus sentidos.

La propuesta surge con el ánimo de atender una problemática nacional relacionada con el proceso de enseñanza aprendizaje de las ciencias naturales en la educación básica primaria. Dicha problemática evidencia cómo los estudiantes de este nivel tienen debilidades en la explicación de fenómenos naturales. Por esto, se postula una propuesta pedagógica basada en la contextualización tecnológica que, apoyada en lenguajes como la dinámica de sistemas (ds) y el modelado basado en objetos y reglas (MBOR), aportan al desarrollo de esta competencia.

En el *Informe Nacional saber 3.º, 5.º y 9.º* (Icfes, 2016) publicado por el Ministerio de Educación Nacional y el Icfes, se hizo un análisis de los resultados obtenidos en las pruebas en el periodo 2009-2014, incluyendo datos de lenguaje, matemáticas y ciencias naturales. De los resultados en el área de ciencias naturales en el grado quinto (figura 1), se puede interpretar que no existen cambios sustanciales en los años analizados, lo cual supone que no hubo un mejoramiento en el desempeño de los estudiantes en un periodo de cinco años en cuanto

a las competencias propias del área (uso del conocimiento científico, explicación de fenómenos e indagación). Además, se observa que en los rangos de mínimo e insuficiente se encuentran más del 60 % de los estudiantes, lo cual expresa que la mayor parte de los estudiantes de grado quinto están en los niveles más bajos en dicha prueba (figura 1).



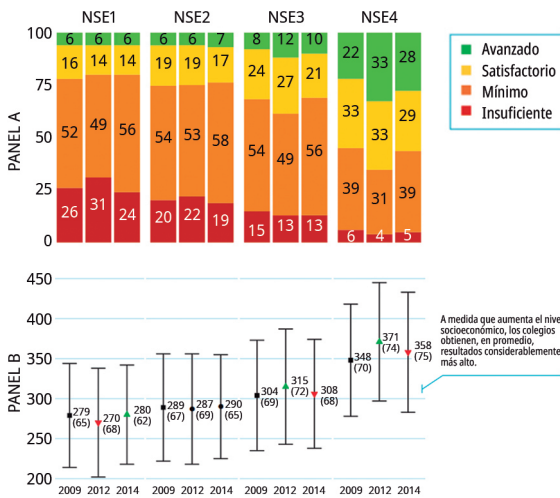
**Figura 1.** Resultados nacionales en saber 5.º, área de ciencias naturales

Fuente: tomado de Icfes (2016).

En particular, en la institución en la cual se realizó la experiencia asociada a este proyecto, se presentó una diferencia significativa en los resultados de la prueba de ciencias naturales en cuanto a los niveles avanzado y satisfactorio de los resultados nacionales. Según el informe anterior se establece una relación entre el nivel socio económico (NSE)<sup>1</sup> y los resultados. En la figura 2, se puede apreciar que el porcentaje de los estudiantes pertenecientes al nivel socioeconómico 4 se ubica en los niveles avanzado y satisfactorio; aunque en el año 2012 llegó a alcanzar el 66 % se evidencia una baja con

1 El estatus o nivel socioeconómico (NSE) es una medida total que combina la parte económica y sociológica de la preparación laboral de una persona y de la posición económica y social individual o familiar en relación con otras personas (Romero, 2013).

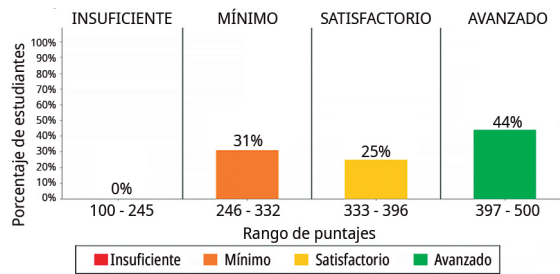
respecto al año 2014, en donde el 57 % de los estudiantes se encuentran en estos niveles.



**Figura 2.** Distribución de estudiantes según los niveles de desempeño del establecimiento educativo en el área de ciencias naturales en grado quinto por niveles socioeconómicos

Fuente: tomado de Icfes (2016).

El último reporte del Icfes del 2016 indica que los estudiantes de grado quinto de la institución educativa tienen un buen desempeño en el área de ciencias naturales. Según la figura 3, el 69 % de los estudiantes evaluados se encuentran entre los niveles avanzado y satisfactorio, lo cual supera los resultados analizados en el informe anterior.

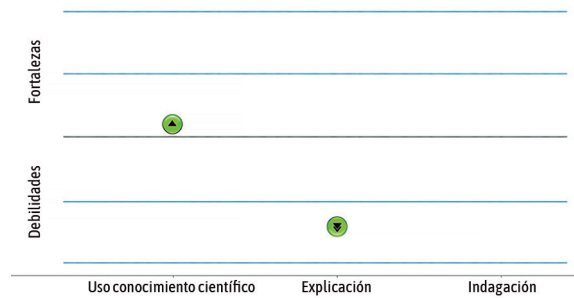


**Figura 3.** Distribución de estudiantes según los niveles de desempeño del establecimiento educativo en el área de ciencias naturales en grado quinto

Fuente: tomado de Icfes (2016).

No obstante, a pesar de tener unos resultados buenos en la prueba de acuerdo con las competencias del área, al ser contrastadas con respecto

a instituciones que obtuvieron resultados similares arrojan algunas debilidades. Se puede apreciar que la competencia de explicación fenómenos naturales se encuentra muy débil, caso opuesto con el uso del conocimiento científico (figura 4). Lo anterior permitió delimitar el problema a partir del diagnóstico que permitió evaluar el nivel de desarrollo de dicha competencia y obtener información actualizada de la problemática. Para tales fines, se diseñó una encuesta en la que se tuvo como referencia la Prueba Saber de quinto; a partir de los enunciados, se formularon preguntas abiertas de acuerdo con el contexto y se adaptaron al grado cuarto de la institución educativa.



**Figura 4.** Competencias de ciencias naturales evaluadas en grado quinto con respecto instituciones con promedio similar

Fuente: tomado de Icfes (2016).

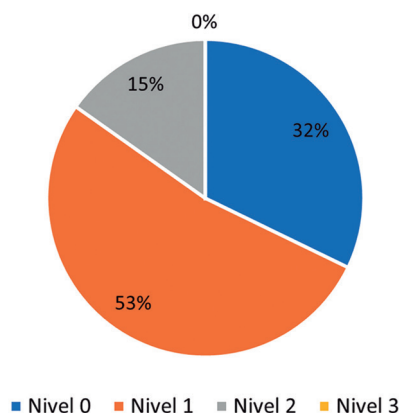
Para evaluar las habilidades para describir, explicar y predecir fenómenos naturales, se usó una escala de acuerdo con tres criterios generales expuestos por Pedro Cañal (2012) para medir el grado de significancia de la competencia explicación de fenómenos. En la tabla 1 se observan los criterios tenidos en cuenta para analizar las preguntas realizadas.

**Tabla 1.** Niveles y grados de significancia de la competencia explicativa

Niveles y grados de significancia	Descriptor
Nivel 0 (muy bajo)	No alcanza a desarrollar el descriptor del nivel 1. (Nivel repitiendo)
Nivel 1 (bajo)	Saber exponer lo aprendido utilizando palabras propias.
Nivel 2 (medio)	Exponer ejemplos personales pertinentes, relativos a lo aprendido.

Nivel 3 (alto)	Saber emplear el conocimiento personal en relación con el nuevo contenido, contexto o experiencia.
----------------	--

Fuente: elaboración propia.



**Figura 5.** Porcentaje de estudiantes en los niveles y grados de significancia en la prueba diagnóstica

Fuente: elaboración propia.

Según el análisis realizado en la prueba diagnóstica, el 53 % de los estudiantes responde a las preguntas con un nivel 1, lo cual refleja que ellos se encuentran en un grado bajo de significancia de los aprendizajes; el 32 % presenta un nivel 0, lo cual es bastante preocupante porque se trata de respuestas que no abordan la pregunta planteada, es decir, este porcentaje de estudiantes no entienden la pregunta. El 15 % de los estudiantes tuvo respuestas con un nivel 2, esto permite observar que la cantidad de estudiantes con un grado de significancia medio en la prueba es bastante baja. Finalmente, ningún estudiante tuvo respuestas con nivel 3.

Esta situación no es ajena a las debilidades encontradas durante las observaciones realizadas a cada una de las sesiones de clase. En primera instancia, las clases observadas en el proceso diagnóstico al docente de ciencias naturales llevaban un hilo conductor que centraba su ritmo e intenciones en los contenidos de aprendizaje, las sesiones eran bastante organizadas, con preguntas puntuales y los estudiantes no interrumpían el discurso del profesor, solo hacían intervenciones cuando el profesor los nombraba, generalmente las intervenciones eran de tipo descriptivo, no había preguntas

complejas, se trataba de preguntas cerradas o en las que tuviesen que mencionar características.

Un aspecto final es el relacionado con el componente tecnológico. Aunque durante las sesiones de clase observadas había gran diversidad de recursos para los estudiantes, como la plataforma de Santillana, la plataforma de evaluación pleno, el medio de comunicación sincrónica a través de Teams, una conectividad buena y los equipos de cómputo pertinentes, las actividades y los ejercicios ejecutados eran bastante parecidos a los que se podrían realizar en el aula de clase, la intención o propósito de formación no cambiaba de manera trascendental. En conclusión, los recursos tecnológicos tenían las mismas funciones de presentar información, no había grandes cambios en la utilización de los recursos y seguían siendo mediadores del aprendizaje.

De acuerdo con la problemática descrita anteriormente, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿cómo desarrollar una propuesta que permita mejorar el desempeño en la competencia explicativa en estudiantes de grado cuarto, mediante el modelado y la simulación de fenómenos naturales?<sup>2</sup>.

Además, esta investigación será apoyada por la búsqueda de respuestas a las siguientes preguntas directrices:

- ¿Cuáles son las dificultades que tienen los estudiantes de grado cuarto para el desarrollo de la competencia explicativa?
- ¿Cómo el pensamiento dinámico sistémico aporta al desarrollo del proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias naturales?
- ¿De qué manera el modelado y la simulación aportan al desarrollo de la competencia explicativa?

## Marco teórico y conceptual

El marco teórico y conceptual se direcciona a partir de la problemática descrita en los apartados anteriores. Desde esta perspectiva, para atender al

- 2 Las experiencias asociadas a esta investigación se realizarán en el Colegio Masculino Aspaen Sucará en Piedecuesta, Santander, con la autorización de la dirección de esta.

objetivo de esta investigación que plantea “desarrollar una propuesta que permita mejorar el desempeño en la competencia explicativa en estudiantes de grado cuarto, mediante el modelado y la simulación de fenómenos naturales”, fue necesario, en primera instancia, entender el concepto de explicación de acuerdo con algunos referentes y autores que lo han venido desarrollando ampliamente.

## La explicación, la explicación científica y la explicación de fenómenos en ciencias naturales

La explicación es una respuesta al porqué de los eventos o situaciones que ocurren en nuestra vida cotidiana; sin embargo, esta no es una respuesta sencilla. La respuesta al porqué realmente es una explicación científica; los niños suelen plantearse este tipo de interrogantes en sus primeros años de vida: ¿por qué el cielo es azul?, ¿por qué la luna me persigue? Estas son algunas de las preguntas que suelen hacerse.

Las explicaciones son proposiciones presentadas como reformulaciones de experiencias que son aceptadas como tales por un interlocutor en respuesta a una pregunta que requiere una explicación. En otras palabras, si la reformulación propuesta es aceptada por la persona que plantea la pregunta, se considera una explicación, por tanto, la pregunta, así como el deseo de preguntar, desaparecen (Maturana, 1998).

Sin embargo, no todas las explicaciones que se dan en estos términos son explicaciones científicas, para ello es necesario responder a ciertos criterios de validez de las explicaciones científicas. En la tabla 2 se muestran algunos de estos criterios.

**Tabla 2.** Criterios de validez de las explicaciones científicas

Criterio de Validez	Descriptor
La descripción de la experiencia.	El fenómeno para explicar en términos de lo que un observador estándar debe hacer en su ámbito de experiencias.

La reformulación de la experiencia (mecanismo generativo).	Fenómeno a explicar en la forma de un mecanismo generador que, si es realizado por un observador estándar en su ámbito de experiencias, le permitirá, como resultado o consecuencia de su operación, tener en su ámbito de experiencias la experiencia a explicar, como se expuso en el punto 1.
La deducción, a partir del funcionamiento del mecanismo generador propuesto en 2.	A partir de todas las coherencias operacionales del ámbito de experiencias de un observador estándar vinculadas con este, de otras experiencias que un observador estándar debería realizar a través de la aplicación de esas coherencias operacionales, y de las operaciones que debe realizar en su ámbito de experiencias para tenerlas.
La experiencia, por un observador estándar, de las experiencias (realización).	Deducidas en tres a través de la realización en su ámbito de experiencias de las operaciones deducidas también en dos, entonces es una explicación científica.

Fuente: tomado de Maturana (1998, p. 167).

Teniendo en cuenta los criterios de la tabla 1, se establece una diferencia entre las explicaciones en general, como reformulaciones de experiencias aceptadas como tales por un observador, y las explicaciones científicas realizadas por observadores estándar individuales, y son válidas en una comunidad de observadores y miembros de la comunidad de científicos (Maturana, 1998).

Según Maturana (2002), “las explicaciones científicas no explican un mundo independiente del observador; explican el vivir experiencial del observador” (p. 86), es decir, que la explicación no puede estar ajena al contexto experimental del observador mismo y debe cobrar sentido experiencial. Así mismo, “el explicar científico tiene que ver con la vida cotidiana, no es un explicar especial” (Maturana, 2002); en este sentido, cualquier individuo puede hacer explicación científica con ayuda de un mecanismo generativo.

Las ciencias naturales permiten desarrollar en las personas ciertas habilidades o competencias dentro de las cuales se encuentra la competencia explicación de fenómenos naturales. A continuación, se

describe la definición contemplada en el documento “Fundamentación conceptual área de ciencias naturales” del Icfes (2007, p. 18): “La explicación de fenómenos naturales es la capacidad para construir explicaciones y comprender argumentos y modelos que den razón a los fenómenos”. En este sentido, las ciencias ofrecen explicaciones que se construyen dentro del marco de sistemas como conceptos, principios, leyes, teorías y convenciones acogidos por la comunidad científica (Icfes, 2007, p. 21). Esta competencia fomenta en el estudiante una visión comprensiva y analítica que le permite establecer la validez o coherencia de una afirmación.

## El aporte de los lenguajes de la dinámica de sistemas (DS) y el modelado basado en objetos y reglas (MBOR) a la competencia explicativa

El modelado y la simulación con el apoyo de lenguajes como la dinámica de sistemas (DS) y el modelado basado en objetos y reglas (MBOR) facilitan la construcción de explicaciones científicas y la experimentación en términos de simulación, debido a que permiten representar el fenómeno con base en un modelo que tiene ciertos elementos y las relaciones que hacen parte de su sistema (Andrade, Maestre y Gómez, 2009, p. 34).

La DS fue una iniciativa de Jay W. Forrester (1992) en el MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts), actualmente hace parte del programa K14<sup>3</sup> y nace como respuesta a la naturaleza frag-

mentaria de la educación, se basa en un paradigma asociado con el pensamiento dinámico sistémico, que tiene una visión holista. En términos de Andrade, Maestre y Gómez (2009), es “una búsqueda de la unidad en la diversidad”, por lo tanto, los fenómenos son en su contexto natural o en su devenir con el medio, de manera que, deben explicarse como sistemas. Según Davisen (1990):

Es un método para el estudio de sistemas complejos y dinámicos. Sus cualidades pedagógicas están bajo investigación en varios países... nuestra meta final es dar a nuestro estudiante una manera efectiva para pensar sobre sistemas complejos y dinámicos. De este modo, queremos cambiar su estilo cognoscitivo.

Como complemento al lenguaje de la DS, se adoptó también el lenguaje del MBOR. Este modelado se soporta en aplicación de la teoría de autómatas celulares que consiste en el manejo simultáneo del tiempo en una visión orientada a objetos, que permite que los objetos de una misma clase se comporten e interactúen siguiendo las mismas normas (Andrade, Maestre y Gómez, 2009, p. 118).

El MBOR es un conjunto de reglas que permiten estructurar un sistema modelo en una totalidad dinámica. Esto implica, entre otras cosas, que representan explicaciones sobre cómo y por qué suceden fenómenos en donde los objetos que intervienen simulan tener vida. “Es un lenguaje de modelado matemático basado en la construcción de explicaciones de diferente naturaleza, como sistemas dinámicos” (Andrade *et al.*, 2009, p. 118).

Los lenguajes definidos anteriormente fueron implementados en la propuesta gracias a los *softwares* Homos y Evolution, desarrollados por el grupo de investigación Simon<sup>4</sup>. Estos programas permitieron diseñar los modelos, simulaciones y experiencias que posibilitaron potenciar habilidades relacionadas con el pensamiento

3 Es un programa del MIT que representa una visión en la que todos los estudiantes participan en los conceptos y prácticas de las ciencias de la computación. Comenzando en los primeros grados y continuando hasta el grado 12, los estudiantes desarrollarán una base de conocimiento de las ciencias de la computación y aprenderán nuevos enfoques para la resolución de problemas que aprovechan el poder del pensamiento computacional para convertirse en usuarios y creadores de la tecnología de las ciencias de la computación.

4 Es un grupo de investigación en modelamiento y simulación de la Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática de la Universidad Industrial de Santander. Propicia la investigación acerca del pensamiento sistémico y en especial en dinámica de sistemas (Simon, 2017).

computacional y, desde luego, apuntar al mejoramiento de la competencia explicativa.

## Aprendizaje significativo según Ausubel

El enfoque pedagógico asumido por esta propuesta concibe en su desarrollo la idea de aprendizaje significativo, porque funda su proceso en una estructura cognitiva preexistente en los estudiantes; por tanto, así como lo indica Ausubel (1983, citado por Torres, 2003), “el factor más importante que incluye el aprendizaje es lo que el alumno ya sabe. Averígüese esto y enséñese consecuentemente” (p. 6). En este sentido, se evalúa un estado inicial de la competencia explicativa y, en consecuencia, se formula una intervención apoyada en estas bases valiosas que relacionan los dos aprendizajes.

Los planteamientos de esta propuesta promueven una metodología en la cual las representaciones, los conceptos, proposiciones y demás aprendizajes cobren significado; es decir, no se trata de la recepción de información, sino de un aprendizaje por descubrimiento, de tal manera que el saber no se presente en su estado final, más bien provenga de una construcción entre los involucrados. “El aprendizaje por descubrimiento involucra que el alumno debe reordenar la información, integrarla con la estructura cognitiva y reorganizar o transformar la combinación integrada de manera que se produzca el aprendizaje deseado” (Ausubel, 1983).

El aprendizaje significativo contempla a la asimilación como un proceso en el cual el nuevo conocimiento adquiere un vínculo con los saberes previos. Este concepto encaja con algunas de las aptitudes y comportamientos desarrollados por el pensamiento dinámico sistémico, porque propicia al estudiante la disposición para examinar y cambiar sus propias apreciaciones y conclusiones (actitud reflexiva).

## Metodología

El enfoque de la investigación es cualitativo, cuyo diseño siguió la metodología de la investigación

acción, basado en el modelo de Lewin y Corey (1946). Se tuvieron en cuenta las fases de planificación, acción, observación y reflexión. La estrategia de intervención pedagógica titulada “El modelado y la simulación como precursores de la noción de explicación...” se estructuró en varias secuencias didácticas orientadas a promover el mejoramiento de la competencia de explicación de fenómenos en el área de ciencias naturales en los procesos de enseñanza aprendizaje. Se usaron técnicas e instrumentos para recopilación y análisis de la información, entre las cuales se identifican la observación (diarios de campo), las encuestas (pre y postest), los talleres de investigación (secuencias didácticas), el análisis documental (evidencias) y las grabaciones en video.

La fase de planeación consistió en la identificación de un problema, tema o propósito sobre el cual indagar; el plan incluyó la revisión o diagnóstico del problema o idea central de la investigación (Latorre, 2003, p. 40). De acuerdo con los autores, esta planeación aflora del buen diagnóstico de la población objeto de estudio; en la presente investigación, se vincula con la competencia explicación de fenómenos, propia de las ciencias naturales, en la cual los estudiantes presentan serias dificultades.

La fase de acción respondió a los tres propósitos principales, que fueron: 1) ofrecer la información necesaria para caracterizar las dificultades del desarrollo de la competencia explicación de fenómenos; 2) la aplicación de talleres investigativos que, basados en el modelado y la simulación de enfoque estructural y con dinámica de sistemas, pueden aportar al desarrollo de la competencia explicación de fenómenos; y 3) producir información que permita medir el impacto de las clases integradas con dinámica de sistemas y su aporte a las clases de ciencias naturales.

Los talleres aplicados se diseñaron a partir de secuencias didácticas con momentos como la exploración, la construcción teórica, el modelado y simulación, y la experimentación. En la tabla 3 se aprecia la definición de cada uno los momentos y su descripción.



**Tabla 3.** Momentos de la secuencia de aprendizaje

Momentos de aprendizaje	Descripción de los momentos
Exploración	Se formula la pregunta guía, consiste en una pregunta abierta que cubre un tema para estudio e investigación y a la vez delimita y orienta la secuencia. En este momento se pretende explorar con algún juego o actividad vivencial o simulada que motive al estudiante a la comprensión del fenómeno a explicar.
Construcción teórica	Se ofrecerán algún tipo de fuente de información (lectura, organizador textual, video, proyección, internet, etc.). Esto con el ánimo de establecer un acercamiento al fenómeno, con el fin de que el estudiante aprenda más sobre el mismo, logrando la reformulación del modelo mental y que, con esto, desarrolle un proceso dirigido de aprendizaje.
Modelado y simulación	El proceso implicará en primera medida la construcción conjunta del modelo entre docente-estudiantes, pasando después a la simulación del fenómeno, modificando ciertas variables y observando y consignando los cambios que ocurren en la modificación de las variables. En la construcción conjunta del modelo se intentará dar respuesta al porqué, que es el fundamento de la explicación científica y en la simulación se plantean cuestiones hipotéticas relacionadas con las variables y el fenómeno a explicar.
Experimentación	En este espacio se harán comparaciones entre el experimento real y las simulaciones (representaciones hechas en el programa), promoviendo la contextualización y la validación de algunos saberes construidos anteriormente. Esto con el fin de complementar las explicaciones y el planteamiento de nuevos interrogantes que posibiliten una mejor comprensión del suceso.

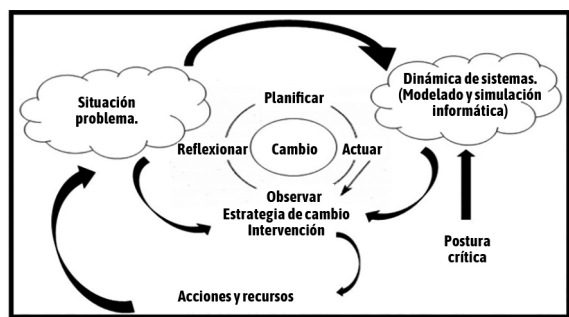
Fuente: tomado de: Andrade y Gómez (2009, p. 200).

Teniendo en cuenta los elementos, momentos y modelos que hicieron parte de la fase de acción, se continuó con la fase de observación de la acción. En esta fase se observaron las evidencias y grabaciones en video que venían siendo parte de la aplicación de los talleres y se iban estableciendo algunos puntos de análisis. La última fase correspondió a la reflexión, en esta se trató de extraer los aportes fundamentales, lo cual permitió retornar sobre la experiencia para identificar los aprendizajes principales que serán esenciales en un nuevo ciclo de investigación.

A manera de resumen, en la figura 6 se presenta el modelo de investigación acción adaptado y modificado según la propuesta dinámica sistémica (DS) en la escuela.

Las cuatro fases anteriormente descritas están conformadas a su vez por varias etapas y acciones

que se ejecutan sistemáticamente, dando lugar al ciclo de la investigación acción (figura 1). Para resumir las distintas fases del proceso y detallar las etapas y acciones por ejecutar, se condensa la información en la tabla 4.



**Figura 6.** Dinámica de la investigación acción con la DS en la escuela

Fuente: tomado de Andrade y Gómez (2009, p. 210).

**Tabla 4.** Descripción de las fases de la investigación con sus etapas y acciones

Fases	Etapas y técnicas	Acciones e instrumentos
Fase planeación	Etapa 1. Diagnóstico a través de las técnicas de observación participante y la encuesta a estudiantes sobre las nociones y el desarrollo de la competencia explicación de fenómenos.	Acción 1. Observación e identificación de las dificultades en las clases de ciencias naturales. Acción 2. Aplicación de la encuesta diagnóstica para con base en los hallazgos realizados por medio de la observación caracterizar las dificultades encontradas en la competencia explicación de fenómenos.
	Etapa 2. Diseño de los talleres de investigación, de acuerdo con los fenómenos a estudiar en clases de ciencias naturales y las metas o propósitos de las clases.	Acción 1. Meta: Comprende que la diferencia de temperatura y otros factores influyen en los cambios de estado del agua. Acción 2. Meta: Explica fenómenos que involucran a la fuerza, el trabajo y el movimiento en situaciones que ocurren en la vida cotidiana. Acción 3. Meta: Analiza y comprende los mecanismos de supervivencia de los seres vivos dentro de un ecosistema y las alteraciones de estos por factores externos.
Fase de acción	Etapa 1. Aplicación de los talleres de investigación.	Ejecución de las secuencias didácticas, teniendo en cuenta los momentos de la clase.
Fase de observación	Etapa 1. Observación participante.	Reestructuración de las unidades didácticas siguientes a partir de situaciones evidenciadas a través de la observación.
	Etapa 2. Análisis documental.	Toma de evidencias presentes en los diarios de los estudiantes, los cuadernos, las guías de laboratorio o ejercicios de la clase.
	Etapa 3. Grabación de video.	Las grabaciones de las clases permitirán un flujo importante de información y datos que luego deberán ser analizados.
Fase de reflexión	Etapa 1. Se cierra el ciclo de intervención y se da paso a la elaboración del informe con los resultados obtenidos a partir de los datos recopilados en las fases anteriores	Acción 1. Reestructuración de las unidades didácticas a partir de situaciones evidenciadas a través de la observación, puesto que la reflexión no es solo al final sino durante todo el proceso.

Fuente: elaboración propia.

## Contextualización de la experiencia

### Población

La población participante fueron 23 estudiantes varones de grado cuarto que pertenecen a dos cursos (4A y 4B) de una institución educativa de Piedecuesta, Santander. Los estudiantes se encuentran en edades de los 9 a los 11 años, la mayoría de las familias pertenecen a un nivel sociodemográfico grado 4 o superior. Son una población con

buenas posibilidades de conexión, recursos tecnológicos apropiados que posibilitan la aplicación de esta propuesta bajo la modalidad remota.

### Procedimiento de recolección y análisis

La intervención pedagógica consta de tres talleres investigativos; durante el primer taller se realizaron tres sesiones con cada curso de grado cuarto (4-A Y 4-B); en el segundo taller hubo dos sesiones por curso, y el tercer taller tuvo una sesión con cada curso de este. Todas las sesiones fueron grabadas con

ayuda de la plataforma Teams<sup>5</sup>, lo cual permitió tener la información completa de los momentos de las clases, actividades, procesos realizados, interacción entre docente y estudiantes y demás factores que forman parte de las clases virtuales.

Se realizó un análisis cualitativo de la información recopilada durante las clases, a partir de la transcripción completa de las sesiones grabadas con ayuda del programa Amberscript<sup>6</sup>, después se realizó un análisis categorial haciendo uso del programa Atlas Ti Cloud<sup>7</sup>. La información fue organizada por párrafos y codificada de acuerdo con tres niveles: codificación abierta (superficial), codificación axial (más teórica) y codificación selectiva (categorías centrales).

## Resultados

A continuación, se presentan el análisis de los hallazgos a partir de las dificultades encontradas en la prueba diagnóstica descritas en la introducción y los productos desarrollados en la propuesta pedagógica. La propuesta se compone de las clases integradas con DS, MBOR y los modelos elaborados bajo estos lenguajes, mientras que los resultados provienen del análisis categorial.

En primera instancia, se mostrará la estructura de las clases integradas. Las clases con DS y MBOR en el marco de esta propuesta se integraron las ciencias de naturaleza y la informática con el objetivo de desarrollar habilidades del pensamiento necesarias para mejorar la competencia explicación de fenómenos. Ello implica que los recursos informáticos usados se asumen como un recurso para la construcción de conocimiento y no como un medio que facilita la presentación de los temas.

La construcción y planeación de las clases se hizo a partir de talleres investigativos que disponían de esquemas que incluyeron los siguientes

elementos de acuerdo con el tema u objeto de estudio del taller:

- Estándares de competencia del área que fundamentan y dan soporte bibliográfico.
- La meta de aprendizaje.
- Secuencia de aprendizaje que se compone de:
  - » Los momentos de aprendizaje.
  - » Estrategia de enseñanza aprendizaje.
  - » Evaluación.
- Un modelo o micromundo de simulación sobre el tema o el *software* para su desarrollo.
- Materiales y recursos.
- Fuentes de información alrededor del asunto.

Dentro de los elementos que forman parte de los talleres, se hace referencia a un modelo o micromundo de simulación. En esta propuesta, los modelos fueron diseñados a partir de una experiencia particular. Es propicio aclarar que son modificables y susceptibles de mejora o adaptación a diferentes contextos. En esta ocasión, surgen de la planeación de los talleres y las metas de aprendizaje planteadas para grado cuarto de primaria.

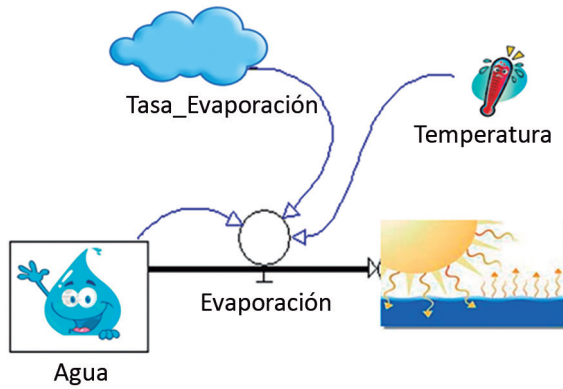
En el primer taller se diseñaron tres modelos elaborados en Evolution<sup>8</sup>, que fueron elaborados con el fin de comprender los factores que influyen en los cambios de temperatura del agua. Consistía en modelar tres situaciones que pueden ocurrir cuando se pone a calentar agua en la cocina: en primer lugar, con un recipiente completamente tapado; en segunda instancia, con el recipiente completamente sellado; y, por último, con una pérdida de vapor constante (figuras 7, 8 y 9).

5 Es una plataforma de comunicación sincrónica que fue usada en la grabación de las sesiones de clase.

6 Programa que permite las transcripciones de grabaciones en línea.

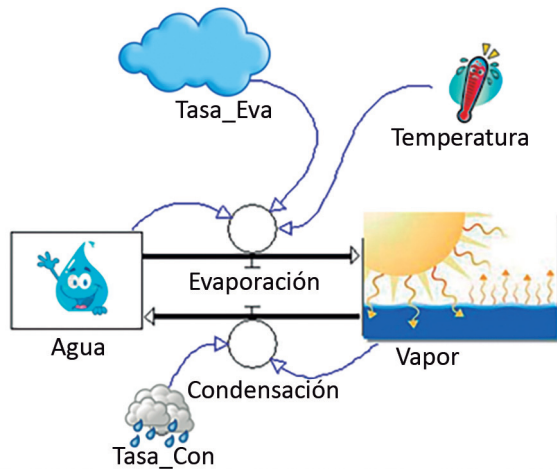
7 Programa para el tratamiento de datos cualitativos.

8 Es una herramienta para la dinámica de sistemas, la cual presta una ayuda en la construcción de modelos por medio de la implementación de diagramas de flujo-nivel. Permite recrear simulaciones de dichos modelos para entender y comprender el comportamiento de distintos fenómenos.



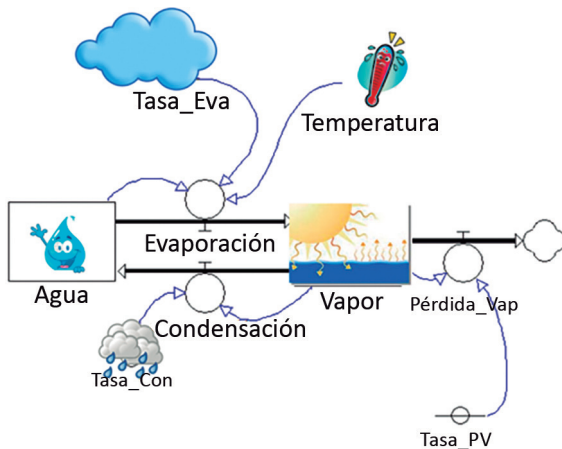
**Figura 7.** Modelo 1. Olla destapada

Fuente: elaboración propia.



**Figura 8.** Modelo 2. Olla tapada

Fuente: elaboración propia.



**Figura 9.** Modelo 3. Olla tapada con escape de vapor

Fuente: elaboración propia.

Las simulaciones realizadas para el segundo taller investigativo, que estuvo relacionado con la fuerza y el movimiento, provienen de un proyecto de simulaciones interactivas de PhET<sup>9</sup>. El objetivo era acceder al enlace desde el ordenador y a partir del escenario propuesto en la simulación explicar fenómenos que involucran a la fuerza, el trabajo y el movimiento en situaciones que ocurren en la vida cotidiana (figura 10).

En el último taller aplicado denominado “Factores que afectan a las poblaciones”, se implementó un modelo diseñado en Homos<sup>10</sup>, que recrea la relación entre el agua, los árboles y la proliferación de conejos. Ello permitió simular escenarios en los cuales se lograron evaluar algunas de las causas por las cuales puede desaparecer una especie y permitir contrastar estas conclusiones en otras problemáticas que pueden vivenciar otras especies (figura 11).

Para llevar a cabo el análisis e interpretación de los datos recopilados a lo largo de la propuesta descrita anteriormente, se presentan los resultados obtenidos de acuerdo con las técnicas e instrumentos descritos en cada fase de investigación. El análisis se sustenta en diferentes niveles, categorías conceptuales y observaciones que permitieron examinar las actividades integradas con DS, la competencia explicación de fenómenos, así como el modelado y la simulación. Estas categorías conceptuales se relacionan con la mediación pedagógica y la interacción de los estudiantes, posibilitando la transición positiva en los niveles y grados de significancia de los aprendizajes de los educandos.

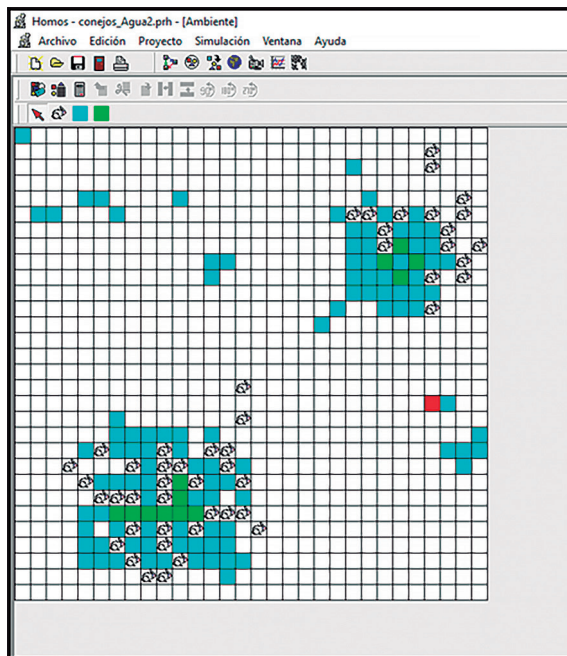
9 Su sigla traducida del inglés significa “Tecnología para la Educación de la Física”. Es un proyecto de simulaciones interactivas creado por el ganador del premio nobel Carl Wieman. Las simulaciones de PhET se basan en investigación educativa extensiva e involucran a los estudiantes mediante un ambiente intuitivo y similar a un juego, en donde aprenden explorando y descubriendo (PhET, 2021).

10 Es un *software* que permite definir las clases de objetos que intervendrán en la simulación, las reglas de comportamiento de cada objeto y las reglas de interacción que regirán el comportamiento grupal entre ellos (Simón, 2017).



**Figura 10.** Simulación. Escenario de fricción

Fuente: elaboración propia.

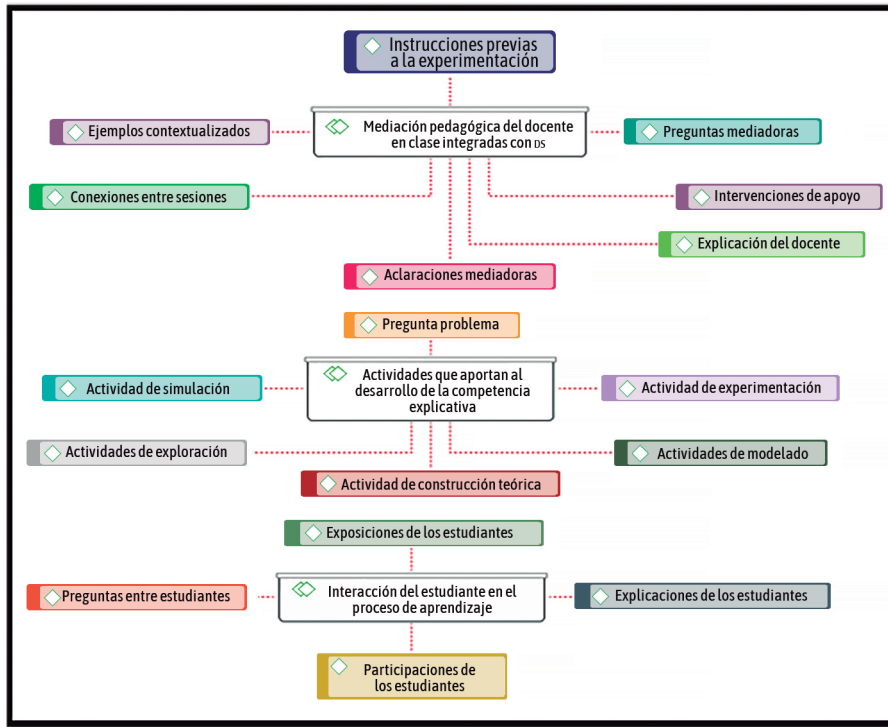


**Figura 11.** Simulación del modelo conejos, agua y árboles

Fuente: elaboración propia.

## Análisis de las grabaciones a los talleres investigativos

En este apartado se usan convenciones para proteger el anonimato de los participantes (ejemplo: E: estudiantes, DI: docente investigador). De este análisis se lograron construir tres categorías centrales que se presentarán a continuación.



**Figura 12.** Red semántica de las categorías centrales

Fuente: elaboración propia.

## Mediación pedagógica del docente en clases integradas con DS

Durante el análisis de las sesiones se pudo observar una fuerte tendencia del profesor como guía u orientador del aprendizaje, una función más centrada en la producción de ideas por parte de los estudiantes, enfocado en descubrir las ideas previas que subyacen y que permiten construir conocimiento tanto al aprendiz como al mismo profesor. En este sentido, el rol del docente no era ofrecer las respuestas sino tratar de establecer un constructo a partir de las opiniones de los estudiantes. Uno de los códigos que se hizo predominante fueron las preguntas mediadoras<sup>11</sup>: DI: “Si, me dices que me hablas del calor, ¿tú crees que la temperatura es lo

mismo que el calor?”. DI: “¿Qué pasa cuando, digamos, se vuelve a enfriar el alcohol? ¿Qué creen que pasa? ¿Ustedes qué creen que pasa después de ser un gas? ¿En qué se convertirá si se empieza a enfriar nuevamente?”.

Los ejemplos anteriores intentan generar controversia e incentivan la participación por parte de los educandos. También hubo espacios de explicación en los cuales se debía tomar voz y explicar algunos conceptos teóricos para tratar de hacer ese conocimiento asequible a los estudiantes, pero era una explicación más conversada evitando el discurso extenso y estableciendo relaciones con los presaberes de los estudiantes. La siguiente explicación del profesor es bastante representativa:

DI: Bueno, puede ser, sí. Digamos que el... ¿El carro tiene cierto peso, cierto? Y ese peso pues influye en el movimiento también. Pero también puede haber una, como dijo. Como dijo el estudiante 1, que puede ser entre el suelo y la llanta, que es la fuerza

11 La descripción realizada durante el análisis corresponde a la observación de sí mismo a partir de la grabación.

de fricción. Ciertamente que hace que el carro se vaya frenando. Si yo no lo estoy acelerando, el carro se va a ir frenando, ¿cierto? Porque ahí está el roce con el suelo y si no le sigo aplicando, digamos, la fuerza del movimiento, entonces él se va a frenar irremediablemente. Sí, o también podríamos hablar de los frenos del carro. En esa imagen también hay fuerzas a distancia. ¿Quién me explica la fuerza de distancia y cómo funciona?

En el texto anterior se puede apreciar cómo se pone en contexto al grupo con la opinión dada por un estudiante para explicar el concepto de fricción, y se finaliza planteando una pregunta que genera un análisis más profundo y complejo del fenómeno a estudiar.

## Actividades que aportan al desarrollo de la competencia explicativa

Esta categoría contempla códigos de segundo nivel que estuvieron presentes durante las sesiones de clase y justifican la importancia de estas actividades en el mejoramiento de la competencia explicativa (ver figura 12). De este modo, una de las actividades que permitía hacer conexión entre los presaberes o concepciones alternativas de los estudiantes fueron las de exploración. En el siguiente apartado se presenta una actividad de adivinanza con un objeto, cuyo objetivo es describirlo haciendo uso de algunas de las propiedades de la materia:

DI: Vamos a ver qué tan conectados estamos. Entonces voy a empezar el color. El color de ese objeto que yo tengo o que estoy pensando. Bueno, el color es blanco, su forma, su forma cilíndrica. Aunque él tiene, digamos, un espacio en su interior, sí, pero es cilíndrico. El olor. Algunos tipos de estos tienen olor y otros no. No, si depende de la marca. Textura es una textura suave. Es necesariamente suave porque si no puede irritar la piel dureza. No presenta tanta dureza.

Otra de las actividades que hicieron parte del proceso de aprendizaje en las sesiones de clase fueron aquellas en las cuales se revisaron fuentes de información y se procedió a realizar construcción teórica con los estudiantes; ello permitió que

algunos de ellos mencionasen postulados para participar de algunos ejercicios. Así se puede notar en la siguiente expresión: “E: Según la ley de Newton, si un objeto está quieto, en cuando algo está en movimiento lo toca, se empieza a mover...”, el estudiante cita un autor visto anteriormente en un video, para darle rigor a su argumentación y tratar de explicar lo que está sucediendo en un ejemplo expuesto por el profesor.

Las actividades de experimentación fueron un espacio bastante enriquecedor en el proceso, en donde tenían que manipular materiales, tomar registros, hacer observaciones y practicar los conceptos vistos anteriormente. Además de ser un espacio motivante, hace parte del método científico y brinda elementos fundamentales para la explicación. Uno de los experimentos realizados fue poner a calentar agua bajo las mismas condiciones de temperatura, cantidad del líquido y tomar registros del tiempo de demora en la evaporación completa aplicando una variante; en primera instancia, el recipiente debía estar sin tapa, y después realizar el mismo proceso con el recipiente tapado. Como conclusiones, varios estudiantes notaron una diferencia entre los tiempos e hicieron aportes como el que se describe a continuación:

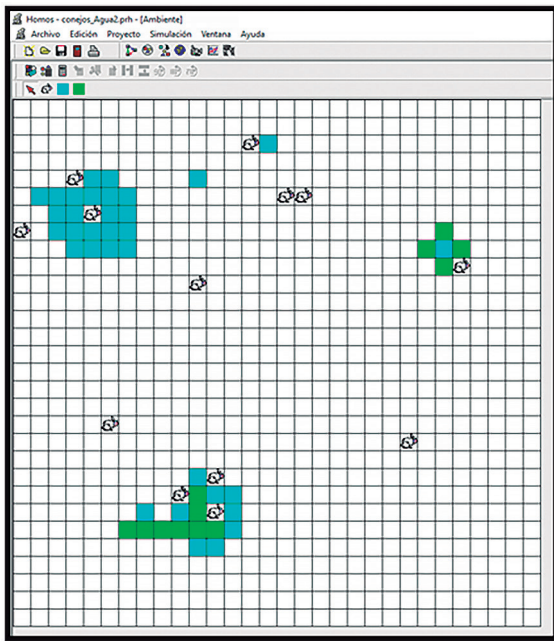
E: Porque al estar tapada se concentra más, porque al estar tapada el calor se concentra más. Pues el calor subió en el agua y la transformó en gas. Entonces al hallarla eso se pegó a la tapa y me quemé y me quemé. Entonces pues ahí se quedó el calor y el calor siguió subiendo sin parar. Y cuando la abrí pues salió todo el calor disparado para arriba.

El estudiante concluye que el recipiente tapado se demoró más porque el vapor se concentraba en la tapa. Otro, por el contrario, menciona que el recipiente tapado se demoró menos tiempo en la evaporación, a lo que uno de los compañeros formula la siguiente posible explicación:

E: También puede ser porque a veces fue, pues no sé. Pero en mi casa hay diferentes tamaños, ningún fogón repite el tamaño. También puede ser por eso porque a uno le llegó más fuego, *más calor*. Entonces, *pues se evaporó al contacto*, entonces pudo haberse evaporado más rápido de lo que se hubiera demorado en el mismo fogón.

El estudiante contempla que la intensidad del fuego en los distintos fogones de la estufa puede variar y por eso los resultados obtenidos se pudieran haber visto alterados. Los modelos experimentales proporcionaron ideas, contrastaron hipótesis, permitieron soportar con la experiencia aquellos conceptos vistos y complementaron el saber junto con la explicación.

Finalmente, las actividades de modelado y simulación que tuvieron relación con los modelos aplicados en la experimentación y las actividades anteriores permitieron que el engranaje reflejara vivencias significativas. A los estudiantes en el taller “Factores que afectan las poblaciones” se les presentó un modelo de simulación por medio del *software* Homos, en el cual se representaba una población de conejos observando su comportamiento, teniendo en cuenta su relación con el agua y los árboles disponibles en su entorno (ver figura 13).



**Figura 13.** Actividad de simulación

Fuente: elaboración propia con base en el *software* Homos.

Se hicieron algunas modificaciones para evidenciar lo que sucedía cuando había escasez de árboles o de agua y también cuando alguno de estos factores aumentaba de forma representativa. Luego se

continuó planteando algunas situaciones hipotéticas con los estudiantes, como la que se sostiene en la siguiente conversación con los estudiantes:

DI: Y bueno. Bueno, el hecho de que las plantas, bueno, que tumben los árboles, ¿en qué afecta, digamos, a las especies?

E: Depende de qué especie hablemos, a los monos sí les afectaría bastante. Y además la deforestación y los árboles sin junglas hacen que se inunden, entonces afecta a todos los animales por igual.

DI: Ok. Y en, digamos, en los monos, ¿en qué les puede afectar que no haya, que no haya, por ejemplo, árboles?

E: O sea, ellos prácticamente viven los árboles. Entonces se quedarían sin su hábitat.

DI: ¿Y en ese hábitat se encuentran también? ¿Qué más pueden encontrar? Bueno, además de ser su lugar donde ellos están. ¿Qué más pueden encontrar ahí?

E: También pueden ahí defenderse de los depredadores que no pueden escalar árboles.

DI: Exacto. Les sirve como un medio de protección.

E: Por eso ellos como no son carnívoros, ellos se alimentan de las frutas de los árboles.

DI: Sacamos el alimento. Sería otro factor ahí que incide, digamos en ese.

El modelo simulado presentado previamente les hace tener una visión global de la problemática y las posibles circunstancias que puede acarrear el hecho de la deforestación en todo el ecosistema y las especies que lo conforman.

## Interacción del estudiante en el proceso de aprendizaje

El estudiante y todas sus formas de interactuar en el proceso de aprendizaje se convirtieron en una categoría central de análisis, debido a que la metodología implementada se fundamenta o tiene prelación sobre este actor educativo. Sus participaciones durante las clases fueron un elemento reiterativo que posibilitó una cantidad de información representativa.



La información recolectada en esta categoría, además de ser amplia, arrojó datos interesantes sobre sus preguntas, opiniones, presaberes, ideas, explicaciones, entre otras interacciones. En una de las sesiones de clase se socializó un experimento realizado con algunas preguntas guía; las preguntas se basaban en una pregunta problema que decía lo siguiente: DI: “¿La temperatura influye en los cambios de Estado? ¿Por qué?”, algunos estudiantes respondieron a la pregunta con sus argumentos; sin embargo, faltaban algunas ideas o aportes sobre la comprensión del fenómeno. Uno de los estudiantes mencionó: E: “Yo supongo que con lo que se dijo, pero hay un dato que no escuché que dijeran que era que la sustancia no... nunca cambiaba, era siempre la misma sustancia, agua”. El aporte del estudiante denota claridad conceptual en cuanto a que el fenómeno que se describe en la pregunta es un cambio físico y sirve de apoyo para sus compañeros, además de complementar lo mencionado anteriormente.

Además de encontrar comentarios donde los estudiantes pusieron de manifiesto el dominio del tema, también se lograron observar diferentes explicaciones durante los tres talleres ejecutados en la intervención sobre los ejes temáticos abordados durante la experiencia.

En el primer taller relacionado con la materia, sus propiedades y cambios de estado se evidenció un avance progresivo en la explicación, así se puede notar en las siguientes intervenciones:

E: La temperatura si influye en los cambios de Estado

DI: Bueno, y ¿Por qué?

EI: Porque digamos, cuando el agua se la ponen a una temperatura más caliente de lo que estaba, se evapora, se evapora y si es frío se vuelve sólido.

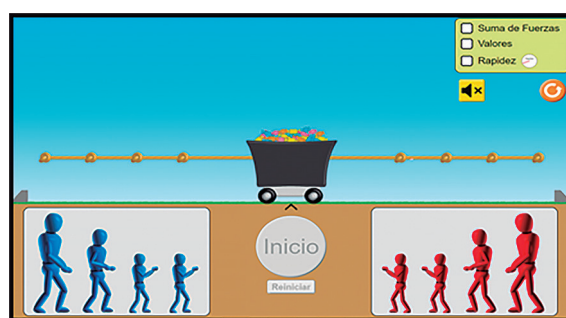
La explicación anterior la hace el estudiante al inicio del primer taller. La misma pregunta es realizada después de haber pasado por los diferentes momentos de la secuencia y se observa la siguiente explicación:

E: La temperatura influye en los cambios de estado porque a los cambios de estado se producen por el aumento de temperatura y el bajo también de temperatura. El aumento de temperatura puede estar de

por ahí de 30 a 40 grados y en el bajo de temperatura puede estar el de menos 10 a menos 20 grados.

Aunque la explicación aún tiene posibilidades de mejora, se observan algunos elementos adicionales que el estudiante incluye, como tratar de relacionar el cambio de estado con las escalas de temperatura y su incremento.

En el transcurso de proceso, los estudiantes pasaron de tener un rol pasivo a uno más activo en la construcción del conocimiento, en una de las actividades de simulación los estudiantes interactuaron con una página en línea que les permitía realizar experimentos con el concepto de fuerza neta (ver figura 14).



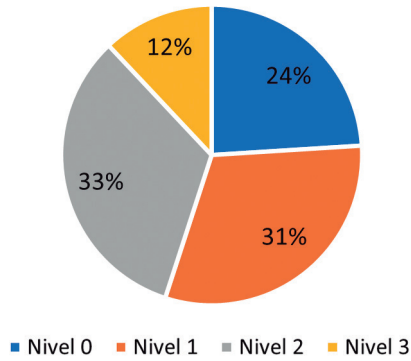
**Figura 14.** Actividad de simulación

Fuente: Podolefsky, 2019.

Mientras se interactuaba con el simulador, un estudiante preguntó, E: “Profesor, ¿qué pasaría si pusiera esa misma, pero en el azul, ponga dos pequeños?”. La pregunta realizada por el estudiante es hipotética e intenta variar las instrucciones dadas por profesor en un comienzo, lo que indica un grado de interés importante en el descubrimiento y exploración del saber.

## Análisis de la prueba final

Con el fin de contrastar el análisis inicial y evaluar el nivel de avance que se tuvo después de la fase de acción (aplicación de los talleres), se realizó una prueba final relacionando los ejes temáticos abordados y manteniendo la estructura general de las preguntas saber para grado cuarto. La prueba constaba de 5 preguntas que fueron interpretadas haciendo uso de los niveles y grados de significancia para la competencia explicativa (Cañal, 2012) (ver tabla 1).



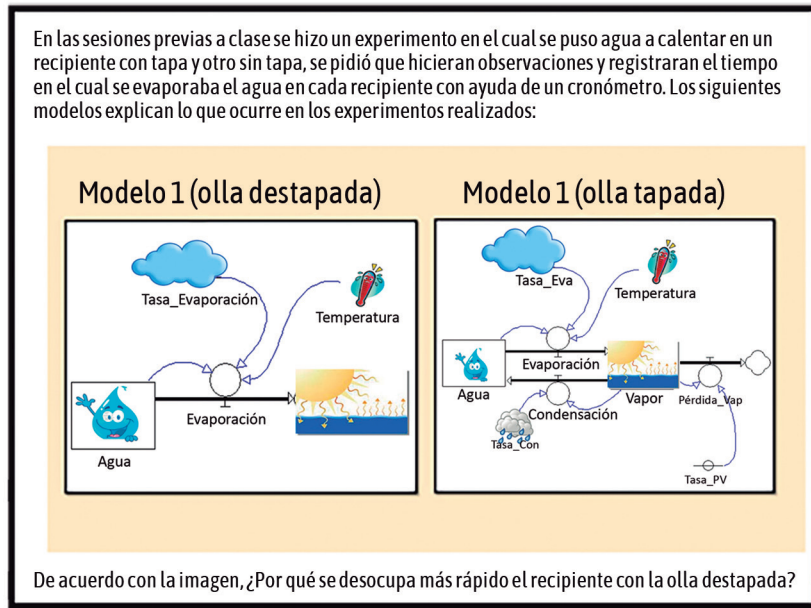
**Figura 15.** Porcentaje de estudiantes en los niveles y grados de significancia en la prueba final

Fuente: elaboración propia.

En la figura 15, se puede observar una mejora sustancial en todos los niveles y grados de significancia de la competencia explicativa con respecto a la prueba diagnóstica. El nivel 0 tiene una leve

mejora, pasando a tener a 32 % de sus estudiantes a tener un 24 %; por tratarse del nivel más bajo, se redujo la cantidad de estudiantes que generalmente no entendían la pregunta o no sabían expresar sus conocimientos aprendidos para tratar de darle respuesta con su explicación al fenómeno planteado. El nivel 1, que representa a aquellos con un grado de significancia bajo en la competencia, pasó de tener un 53 % a un 31 %, lo cual indica que este nivel ya no representa el porcentaje con más estudiantes y hubo una transición hacia los siguientes niveles.

El nivel 2, que representa un grado de significancia medio en la competencia explicativa pasó a ser el nivel con más porcentaje de estudiantes con 33 % (antes este nivel tenía al 15 %). En este nivel el estudiante, además de utilizar sus saberes aprendidos previamente, es capaz de expresar ejemplos personales para argumentar su explicación; esto se pudo observar en la pregunta 1 de la prueba final (ver figura 16).



**Figura 16.** Pregunta 1. Prueba final

Fuente: elaboración propia.

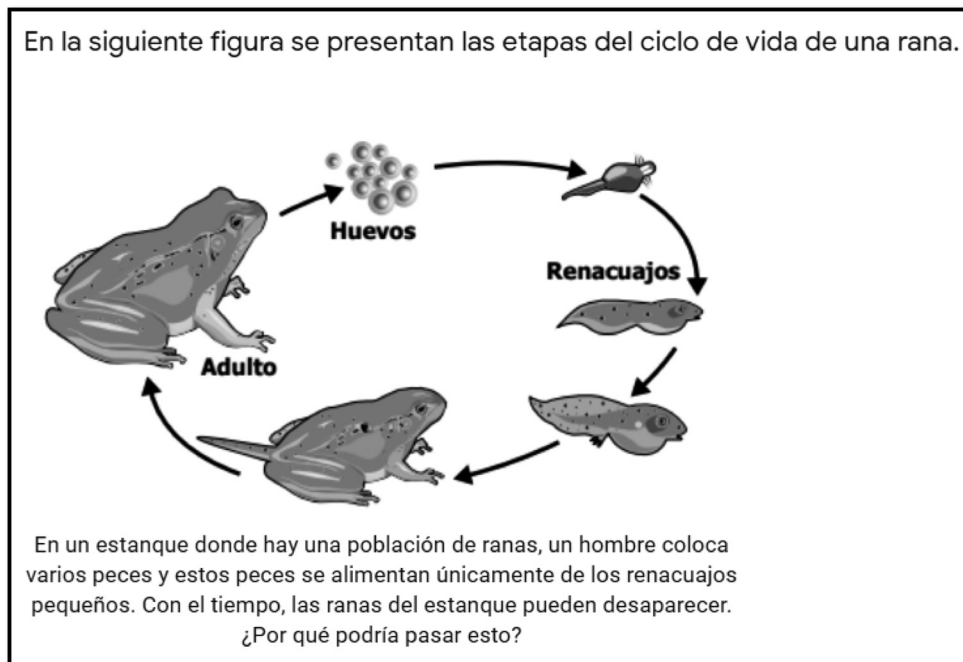
Algunas de las respuestas pertenecientes al nivel descrito anteriormente fueron:

E: “Porque las partículas de vapor se esparcen más rápido ya que salen del recipiente que tiene la olla

destapada”, E: “Porque la pérdida de vapor es mínima, entonces el agua se demorará más en evaporar, la otra que no tiene tapa perdía más vapor entonces fue más rápido el proceso”.

Por último, en el nivel 3, que determina un grado alto de significancia de la competencia explicativa, aunque fueron escasas aquellas respuestas que alcanzaban este estándar, en la pregunta 5 (ver

figura 17) se pueden apreciar las siguientes explicaciones: E: “Porque como los peces se alimentan de renacuajos no podrán crecer y colocar más huevos e irán muriendo poco a poco hasta que no queden sapos en el estanque”, E: “Por qué si se comen los renacuajos con el tiempo no quedarán más renacuajos y cuando las ranas adultas mueran la población de ranas desaparece”.



**Figura 17.** Pregunta 5. Prueba final

Fuente: elaboración propia.

## Discusión

Este proyecto se planteó mejorar el desempeño de la competencia explicación de fenómenos haciendo uso del modelado y la simulación de fenómenos naturales apoyados en los lenguajes de la DS y el MBOR. Para este fin se plantearon algunos objetivos específicos, el primero buscaba identificar las dificultades que existen en los estudiantes de cuarto grado para desarrollar dicha competencia, los instrumentos que permitieron empezar a detectar esas dificultades fueron la observación no

participante de las clases previas del docente registradas en el diario de campo y el diagnóstico con las preguntas abiertas que permitió definir un estado inicial de los estudiantes de grado cuarto de acuerdo con los niveles y grados de significancia de la competencia.

Las dificultades, más que enunciarlas y estigmatizarlas, representan la conexión de esta propuesta, por lo tanto, si los estudiantes tenían dificultades en su participación, se debían propiciar actividades y momentos que permitieran este tipo de intercambios. Continuando con esta idea, el pensamiento

dinámico sistémico que sustenta el lenguaje y metodología usada también promueve la construcción de conocimiento en comunicación con otros; así lo disponen Andrade y Gómez (2009, p. 211) cuando enuncian las siguientes aptitudes y comportamientos propios del proceso de aprendizaje y de práctica: “Disponibilidad para trabajar en equipo en la búsqueda de soluciones a problemas del mundo”, “Reconoce el modelo mental del otro, así esté en desacuerdo”. De acuerdo con estos autores, es importante generar controversia para enriquecer los aportes y promover el diálogo, situación que se logró observar en sesiones de clase.

El segundo objetivo específico estuvo enfocado en caracterizar las formas en que el pensamiento dinámico sistémico aporta al desarrollo del proceso de enseñanza aprendizaje de las ciencias naturales. Es pertinente aclarar que el proceso de enseñanza aprendizaje involucra dos actores y a su vez categorías de análisis que fueron producto del análisis categorial realizado a las grabaciones de las sesiones de clase.

La primera categoría central que emergió de este análisis fue la mediación pedagógica del docente en las clases integradas con DS entendida como el rol que cumple el profesor en la intervención pedagógica, caracterizado como un docente guía u orientador del proceso metodológico, pero a su vez crítico de la praxis, que ejecuta acciones que promuevan la construcción del conocimiento científico. Ello se relaciona con lo mencionado por Andrade y Gómez en los aportes para el profesor y la escuela del pensamiento dinámico sistémico: “Diseñará actividades que le permitirán a los estudiantes construir sus propios conocimientos. Comprenderá que el profesor es un guía, las actividades escolares estarán centradas en el aprendizaje y orientadas en beneficio del aprendizaje de estudiantes y profesores” (2009, p. 212).

En la mediación del profesor la dinámica de los fenómenos fue cambiante, por lo que los modelos y actividades no podían estar terminadas, porque la misma curiosidad y planteamientos de los estudiantes modificaban sus hallazgos, esto a su vez significa que “los profesores como los estudiantes siempre estarán aprendiendo de los problemas, los fenómenos y las disciplinas e igualmente siempre

estarán aprendiendo a aprender y aprendiendo DS” (Andrade y Gómez, 2009, p. 213).

Otra categoría central involucrada con el proceso de enseñanza aprendizaje y los aportes del pensamiento dinámico sistémico es la interacción del estudiante en el proceso de aprendizaje; el estudiante dejó de cumplir un rol pasivo en el proceso pasando a contribuir con explicaciones, opiniones, ideas, propuestas, preguntas (entre compañeros y al profesor) fijando una postura y asumiendo un rol significativo en el proceso. Así se pone de manifiesto en la siguiente expresión:

E: Por ejemplo, algo está en movimiento y por ejemplo lo que le pasó, que el carro estaba en movimiento y frenó porque el conductor frenó y eso como que hizo parar el carro y el bus hizo una fuerza y hizo una fuerza para que se pudieran ir para adelante, porque si no hubiera la fuerza no se pudieran caer ni nada.

Dentro de su explicación, el estudiante soporta su argumento con un ejemplo, hace aproximaciones al fenómeno e intenta plantear hipótesis; su expresión representa el pensamiento científico en donde el estudiante comprende que todos los modelos contemplan y operan con hipótesis que son construidas, probadas y refinadas rigurosamente (Andrade y Gómez, 2009, p. 211).

La pregunta siempre estará relacionada con la promoción del conocimiento. Si hay una pregunta es posible que haya un interés o curiosidad por aprender algo nuevo; sin embargo, las preguntas por parte de los estudiantes no eran comunes en las clases, las actividades con dinámica de sistemas y su orientación pedagógica permitieron que se brindaran espacios para la reflexión y afloraron algunas como: “Profe, en ocasiones de que el vapor no haya salido de la olla, ¿ha estallado?”. Esta pregunta es valiosa porque el estudiante, basado en un modelo, predice una circunstancia que no se enuncia en el modelo y que puede ser un riesgo para las personas que operen en una situación de este tipo, hace referencia al pensamiento en términos de causalidad, en donde “comprende la idea de influencia para contemplar tanto lo que se puede definir como causa, así como las condiciones necesarias para que se dé cierta dinámica de

comportamiento del fenómeno” (Andrade y Gómez, 2009, p. 211).

Una habilidad que se hizo manifiesta fue el pensamiento dinámico, en donde el estudiante “identifica patrones de comportamiento y observa patrones de cambio en el tiempo, más que eventos aislados (Andrade y Gómez, 2009, p. 210)”. En la interacción con los modelos, algunos de los siguientes diálogos representan este pensamiento:

*D1: Pero cuando el agua llegue a 100 grados, fíjense qué pasa con el agua.*

*E1: Empieza a bajar y el vapor comienza a... y el vapor comienza a subir.*

*E2: Claro, el vapor empieza a crecer también, porque como el agua está disminuyendo el vapor está aumentando.*

Los estudiantes entienden que los estados se comportan de manera inversa y comprenden esta relación que hace que mientras uno aumenta el otro disminuya, o viceversa.

El tercer objetivo fue proponer actividades que, basadas en el modelado y la simulación con dinámica de sistemas, aportaran al desarrollo de la competencia explicación de fenómenos. Este objetivo coincide con la segunda categoría de análisis y sustenta el modelo y secuencia de aprendizaje diseñada en las clases con dinámica de sistemas.

El segundo momento, denominado construcción teórica, cumplió un papel fundamental dentro de las sesiones porque fue un espacio de consulta, producción, obteniendo aprendizajes, mejorando el lenguaje científico y haciendo uso de las fuentes de información. Este espacio busca ampliar las posibilidades de comprensión y respuesta, pero debe ser alimentado con ejercicios simples de conceptualización, organizando información y haciendo lecturas reflexivas.

No obstante, estas actividades pueden no ser suficientes, así lo exponen Andrade y Navas (2002), para quienes “no siempre la interacción con el fenómeno y con las fuentes de información es suficiente para respondernos la pregunta de investigación con un nivel de comprensión y aprendizaje profundo”; por ello se complementaron con otras actividades adicionales, como el modelado, la simulación y la experimentación.

Las actividades de modelado y simulación tuvieron una inclinación por un enfoque estructural en donde, como lo afirma Gómez y Andrade, “el usuario consciente del modelo experimenta con conocimiento del modelo desarrolla simulaciones tipo caja transparente que le permiten una experiencia de aprendizaje guiada por el conocimiento que la explica” (2009, p. 219). En estos modelos, los estudiantes respondieron al porqué; en términos de la explicación científica, sus comentarios reflejaron apropiación del fenómeno enunciando elementos y contrastando ideas con las variables, denotando una comprensión más profunda, planteando nuevos interrogantes y buscando otras posibles explicaciones o comparándolas con sus compañeros.

En las simulaciones, los estudiantes pudieron plantearse sus propios problemas bajo sus intereses particulares y haciendo uso del pensamiento hipotético, modificando algunas de las variables y contestándose la pregunta “¿qué pasaría si?”. La explicación científica en este sentido cobra valor, porque el estudiante es capaz de plantearse diferentes escenarios reconociendo que el conocimiento es útil y lo puede usar para explicar los fenómenos que le ocurren a diario. Lo anterior permite evidenciar lo dicho por Gómez Aida (2017), en la importancia que cobra el docente en la implementación de los recursos tecnológicos, puesto que “le permitirán enriquecer el trabajo en clase, para ofrecerle al estudiante espacios de interacción y reflexión que le posibiliten la toma de decisiones y la construcción de conocimientos” (p. 50).

La prueba final permite evaluar que hubo una progresión representativa en todos los niveles y grados de significancia de la competencia explicación de fenómenos. Aunque este análisis general da visto positivo, quedan innumerables aspectos de mejora, las explicaciones científicas y sus habilidades siempre podrán potenciarse, las explicaciones, así como la ciencia, son cambiantes y admiten evolución que puede potenciarse consecutivamente.

Los hallazgos finales recogidos en cada uno de los instrumentos reafirman que la DS y el MBOR, así como algunos recursos de simulación, proveen escenarios que contribuyen a la mejora de la competencia explicación de fenómenos, permitiendo que los estudiantes desarrollen habilidades de

pensamiento en un ambiente de aprendizaje del cual se sienten partícipes y, por tanto, generadores de conocimiento.

## Conclusiones

En este apartado se presentan las conclusiones obtenidas a partir de todo el proceso investigativo conforme a la propuesta para el mejoramiento de la explicación de fenómenos propia del área de ciencias naturales en grado cuarto. Dichas conclusiones son producto de la aplicación de la propuesta y giran en torno a los resultados obtenidos de acuerdo con las estrategias y actividades desarrolladas.

El modelado y la simulación con dinámica de sistemas promovió la apropiación de los fenómenos estudiados desarrollando habilidades que identifican a diferentes tipos de pensamiento, entre los cuales se enuncian el pensamiento científico (modelado que sustenta la explicación del fenómeno), el pensamiento dinámico (significado de las gráficas), el pensamiento en términos de causalidad (causas profundas, efectos en el espacio-tiempo), ayudando a que los estudiantes tuviesen una visión más global de las problemáticas y dotando de significado sus aprendizajes.

La experimentación y el conocimiento empírico fueron indispensables para complementar los saberes, brindándole un campo de acción al fenómeno de estudio, haciendo uso del método científico en la construcción de explicaciones, que adicionalmente se soportaban en la experiencia.

La concepción del rol del profesor en el pensamiento dinámico sistémico asume a un docente comprometido con la mediación y la transformación del quehacer pedagógico, lo cual influye positivamente en el proceso de enseñanza aprendizaje del maestro porque, además de cumplir el papel de guía y orientador, es un aprendiz más de una dinámica cambiante.

Los estudiantes pasaron de tener una actitud pasiva en las sesiones, a participar, interactuar, preguntar, sustentar y debatir con aportes diversos. Tales acciones condujeron a definir un rol dinámico y activo en la construcción del conocimiento, aporte que fue producto de una nueva metodología y dinámica de pensamiento.

La metodología de investigación acción facilitó el proceso de construcción, aplicación y evaluación de la propuesta “El modelado y la simulación como precursores de la noción de explicación”, identificando aportes y señalando las posibilidades de mejoramiento en la medida que se continúe con otros ciclos de investigación acción, por el autor de la presente propuesta y por los que la asuman en su práctica docente.

## Agradecimientos

A todo el colectivo del grupo de investigación Simon y a la Universidad Industrial de Santander por motivarme a la culminación de esta meta.

A mi director de trabajo de grado, Hugo Andrade Sosa, por su acompañamiento y apoyo incondicional en el desarrollo del proyecto y todos sus consejos y recomendaciones.

Al proyecto “La investigación en la escuela y el maestro investigador en Colombia” del MEN, realizado por Uniandes-UNAB-IDEP, y a los asesores Nelly Milady López Rodríguez y Juan Sebastián Castañeda Suárez, por su acompañamiento en la elaboración del artículo.

## Referencias

- Andrade, H. H., Navas, X., Maestre, G. y López, G. (2014). *El modelado y la simulación en la escuela. De preescolar a undécimo grado construyendo explicaciones científicas*. Bucaramanga, Colombia: Ediciones Universidad Industrial de Santander.
- Andrade, H., Dyner, I., Espinosa, A., López, H. y Sotaquirá, R. (2001). *Pensamiento sistémico: diversidad en búsqueda de unidad*. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- Andrade, S. H. y Gómez, L. (2009). *Tecnología informática en la escuela*. 4.ª ed. Bucaramanga, Colombia: Ediciones UIS.
- Andrade, S. H. y Góngora, G. P. M. (2009). Una experiencia escolar con modelado y simulación para la comprensión de un fenómeno: el caso de la influenza A (H1N1). *Nodos y Nudos*, 3(27), 91-104.
- Blanco-Anaya, P. y de Bustamante, J. D. (2017). Análisis del nivel de desempeño para la explicación de fenómenos de forma científica en una actividad de modelización. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de*

- las Ciencias*, 14(3), 505-520. [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2017.v14.i3.01](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i3.01)
- Castiblanco Jiménez, I. A., Cruz González, J. P. y Ruiz Cruz, C. R. (2021). Desarrollo del pensamiento sistémico con ludificación a través del uso de sistemas de invención: caso de estudio de una línea de ensamblaje de aviones. *Academia y Virtualidad*, 14(1), 23-40. <https://doi.org/10.18359/ravi.4888>
- Colombia, Ministerio de educación nacional. (1994, 8 febrero). Ley 115 de febrero 8 de 1994. [https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-85906\\_archivo\\_pdf.pdf](https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-85906_archivo_pdf.pdf)
- Colombia, Ministerio de Educación Nacional. (1998, 7 junio). Lineamientos curriculares en ciencias naturales. [www.mineducacion.gov.co](http://www.mineducacion.gov.co). [https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-89869\\_archivo\\_pdf5.pdf](https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-89869_archivo_pdf5.pdf)
- Colombia, Ministerio de educación nacional. (2004, julio). Estándares básicos de competencia en ciencias naturales y ciencias sociales. [https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-81033\\_archivo\\_pdf.pdf](https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-81033_archivo_pdf.pdf)
- Colombia, Ministerio de Educación Nacional. (2016). Plan Nacional Decenal de Educación 2016-2026. [www.plandecenal.edu.co](http://www.plandecenal.edu.co). [http://www.plandecenal.edu.co/cms/media/herramientas/PNDE%20FINAL\\_ISBN%20web.pdf](http://www.plandecenal.edu.co/cms/media/herramientas/PNDE%20FINAL_ISBN%20web.pdf)
- Colombia, Ministerio de Educación Nacional. (2016a). Derechos básicos de aprendizaje de las ciencias naturales. [www.colombiaprende.edu.co](http://www.colombiaprende.edu.co). [https://aprende.colombiaprende.edu.co/sites/default/files/naspublic/DBA\\_C.Naturales.pdf](https://aprende.colombiaprende.edu.co/sites/default/files/naspublic/DBA_C.Naturales.pdf)
- Colombia, Ministerio de Educación Nacional. (2016c, junio 24). Mallas de aprendizaje, ciencias naturales y educación ambiental. [www.colombiaprende.edu.co](http://www.colombiaprende.edu.co). [http://aprende.colombiaprende.edu.co/ckfinder/userfiles/files/NATURALES-GRADO-4\\_.pdf](http://aprende.colombiaprende.edu.co/ckfinder/userfiles/files/NATURALES-GRADO-4_.pdf)
- Feo, R. (2010). Orientaciones básicas para el diseño de estrategias didácticas. *Tendencias Pedagógicas*, 16, 220-236. [http://www.tendenciaspedagogicas.com/Articulos/2010\\_16\\_13.pdf](http://www.tendenciaspedagogicas.com/Articulos/2010_16_13.pdf)
- Forrester, J. (1992). *La dinámica de sistemas y el aprendizaje del alumno en la educación escolar*. Proyecto Educativo Dinámica de Sistemas. Grupo de Dinámica de Sistemas Escuela de Administración Massachusetts Institute of Technology.
- Gómez, B. R. (2003). Aportes de la investigación-acción educativa a la hipótesis del maestro investigador: evidencias y obstáculos. *Educación y Educadores*, 6, 91-104.
- Gómez, R. R. (2013). Enseñanza de las ciencias naturales para el desarrollo de competencias científicas. *Amazonia Investiga*, 2(3), 30-53.
- Gómez-Suárez, A. M. (2017). La importancia del guion instruccional en el diseño de ambientes virtuales de aprendizaje. *Academia y Virtualidad*, 10(2), 47-60. <https://doi.org/10.18359/ravi.286>
- Hernández Sampieri, R. (2010). *Metodología de la investigación*. 5.ª ed.
- Icfes. (2007). Fundamentación Conceptual Área de Ciencias Naturales. [http://paidagogos.co/pdf/fundamentacion\\_ciencias.pdf](http://paidagogos.co/pdf/fundamentacion_ciencias.pdf)
- Icfes. (2016). Distribución de estudiantes según los niveles de desempeño del establecimiento educativo. <http://www2.icfesinteractivo.gov.co/ReportesSaber359/consultaReporteSedeJornada.jsp>
- Icfes. (2016). Resultados nacionales en saber 5º. Área de ciencias naturales. <http://18.213.195.57:8081/documents/20143/180323/Informe%20nacional%20saber%20569%202012%202017.pdf>
- K-12. (2016). Marco de las ciencias de la computación. <http://www.k12cs.org>.
- Latorre, A. (2003). *Investigación acción*. Barcelona: Graó.
- Lobo, L., Góngora, G. y Sosa, H. (2011). *Mediateca de modelado y simulación con dinámica de sistemas como herramienta de apoyo de las prácticas docentes en las Escuelas*. (Tesis de pregrado no publicada). Universidad Industrial de Santander.
- Maturana Romesín, H. (2002). *Formación humana y capacitación*. 4.ª ed. Santiago de Chile: Dolmen Ediciones S. A.
- Maturana, H. (1998). *La ciencia y la vida cotidiana: la ontología de las explicaciones científicas. El ojo del observado*.
- McKernan, J. (1999). *Investigación-acción y currículum: métodos y recursos para profesionales reflexivos*. Madrid: Ediciones Morata.
- PhET. (2021). Simulaciones interactivas. <https://phet.colorado.edu/es/>
- Podolefsky, N. (2019, 28 octubre). Fuerzas y movimiento: Intro. PhET. <https://phet.colorado.edu/es/simulation/forces-and-motion-basics>
- Romero, O. E. V. y Romero, F. M. V. (2013). Evaluación del nivel socioeconómico: presentación de una escala adaptada en una población de Lambayeque. *Revista del Cuerpo Médico Hospital Nacional Almanzor Aguinaga Asenjo*, 6(1), 41-45.
- Senge, P. (1990). *La quinta disciplina*. Barcelona: Editorial Vergara Granica.
- Simon. (2017). Grupo Simon de investigaciones en modelamiento y simulación. <http://simon.uis.edu.co/simon/historia/>

- Sosa, H. H. A. y Garnica, X. M. N. (2002). Ingeniería de sistemas-realidad virtual y aprendizaje. *Revista UIS Ingenierías*, 1(1), 3-9.
- Torres, T. V. (2003). El aprendizaje verbal significativo de Ausubel. Algunas consideraciones desde el enfoque histórico cultural. *Universidades*, (26), 37-43.